



SLOVENSKÝ
VODOHOSPODÁRSKY
PODNIK, štátny podnik



Slovenský priehradný výbor

ZBORNÍK PRÍSPEVKOV

XXXVIII. PRIEHRADNÉ DNI 2024

pod záštitou Ministerstva životného prostredia SR

24. - 26. 9. 2024

HORNÝ SMOKOVEC - VYSOKÉ TATRY

GRAND HOTEL BELLEVUE ****

XXXVIII. PRIEHRADNÉ DNI 2024

pod záštitou Ministerstva životného prostredia SR



MINISTERSTVO
ŽIVOTNÉHO PROSTREDIA
SLOVENSKEJ REPUBLIKY



SLOVENSKÝ
VODOHOSPODÁRSKY
PODNIK, štátny podnik



Slovenský priehradný výbor



Vodohospodárska
výstavba



VODOHOSPODÁRI

Hlavní partneri:

M3M-GROUP



Partner:

Euroter

Mediálny partneri:



**vodní
hospodářství**



VODA PORTAL
www.voda-portal.sk



Organizátori konferencie:

- **SLOVENSKÝ VODOHOSPODÁRSKY PODNIK, štátny podnik,**
Povodie dolného Váhu, OZ a Povodie horného Váhu, OZ
- **Slovenský priehradný výbor**
- **VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA, štátny podnik**
- **Občianske združenie Vodohospodári**

Odborný garant:

- **prof. Ing. Emília Bednárová, PhD.** - Slovenský priehradný výbor

Prípravný výbor:

- **Ing. Vladimír Novák** - Ministerstvo životného prostredia SR
- **Ing. Jozef Moravčík** - SLOVENSKÝ VODOHOSPODÁRSKY PODNIK, š.p.
- **prof. Ing. Emília Bednárová, PhD.** - Slovenský priehradný výbor
- **Ing. Andrej Kasana, PhD.** - VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA, š.p.
- **Ing. Peter Panenka** - Občianske združenie Vodohospodári

Organizačný výbor:

- **Ing. Jaroslav Madera, Ing. Štefan Repa, Ing. Marián Bocák**
Podporné činnosti: Viera Sunegová, Tomáš Januš

Editori:

- **Ing. Juraj Škvarka, PhD**
- **prof. Ing. Emília Bednárová, PhD.**

Recenzenti:

- **prof. Ing. Emília Bednárová, PhD.**
- **prof. Ing. Andrej Šoltész, PhD.**
- **Ing. Roman Ivančo, PhD.**
- **Ing. Andrej Kasana, PhD.**
- **Ing. Marián Minárik, PhD.**

ISBN: 978-80-570-6140-3

Zborník neprešiel jazykovou úpravou

© 2024 SLOVENSKÝ VODOHOSPODÁRSKY PODNIK, štátny podnik

OBSAH

TBD - BEZPEČNOSŤ VODNÝCH STAVIEB	9
50 ROKOV OD SANÁCIE VEĽKOMARSKÉHO ZOSUVU	10
Miloslav Kopecký, Martin Brček, Martin Ondrášik	
BATYMETRIA A DTM A APLIKÁCIA PRE NÁDRŽ MALÁ DOMAŠA, MOŽNOSTI VYUŽITIA ŠTÁTNEHO DMR.....	16
Igor Gacko, Martin Prvý, Juraj Kalivoda, Božena Písečná, Alena Miščíková	
DIGITÁLNI DVOJČE VD BYSTRÍČKA.....	23
Petr Vymlátil, Michal Mrózek, Jiří Hodák, Tomáš Kantor	
ECTPROFMET-KA; NOVÁ APLIKÁCIA NA VYHODNOTENIE RÝCHLOSTÍ HORIZONTÁLNYCH PRÚDENÍ PODZEMNÝCH VÔD	29
Erik Andrassy, Lenka Kubišová	
HISTORICKÁ VODNÁ STAVBA DOLNÁ HODRUŠSKÁ – STANOVENIE MEDZNÝCH A KRITICKÝCH HODNÔT	34
Tibor Mészáros, Peter Gužík, Michal Červeň	
POSÚDENIE BEZPEČNOSTI VS HRIŇOVÁ POČAS EXTRÉMNEHO POVODŇOVÉHO ZAŤAŽENIA.....	40
Filip Brindza, Martin Bakeš, Jakub Mydla	
POSÚDENIE BEZPEČNOSTI VS POČAS EXTRÉMNEHO POVODŇOVÉHO ZAŤAŽENIA	46
Tibor Mészáros, Adam Filo, Ján Hakáč, Martin Kvetko	
POZNATKY Z APLIKACÍ ASFALTOBETONOVÝCH PLÁŠŤŮ NA VODNÍCH DÍLECH V EVROPĚ.....	52
Jaromír Říha, Miroslav Špano	
STANOVENIE MEDZNÝCH A KRITICKÝCH HODNÔT NA VODNEJ STAVBE VN KUNOV	58
Marek Mrva, Petr Dušek, Janka Svitekova, Tibor Mészáros	
ŠPECIÁLNE METÓDY MERANIA FILTRAČNÝCH RÝCHLOSTÍ V POZOROVACÍCH OBJEKTOCH HRÁDZI A ICH ČASOVÝ VÝVOJ	64
Juraj Škvarka	
VODNÍ DÍLO HORKA – SEISMICKÁ ANALÝZA	70
Miroslav Brouček, Petra Suchopárková, Ondřej Švarc	
VYUŽITIE GEOFYZIKÁLNYCH METÓD PRI KONTROLE BEZPEČNOSTI VD BUKOVÁ.....	76
Monika Súľovská, Emília Bednárová, Albert Közseghy	

STARNUTIE VODNÝCH STAVIEB, REKONŠTRUKCIE A SANÁCIE 82

INJEKTÁŽNÍ PRÁCE NA PŘEHRADĚ HARCOV	83
David Richtř	
INOVÁCIA A MODERNIZÁCIA PLAVEBNÝCH KOMÔR STUPŇA GABČÍKOVO .	89
Ondrej Paštrnák, Karol Bakos	
ODPORÚČANIA K POSTUPU UTESŇOVANIA DILATAČNÝCH ŠKÁR VTKOVEJ DOSKY VEG	94
Martin Bakeš, Marian Minárik, Tibor Mészáros, Marek Mrva	
REALIZOVANÉ A PŘIPRAVOVANÉ REKONSTRUKCE KORUN PŘEHRADNÍCH HRÁZÍ VE SPRÁVĚ POVODÍ LABE, STÁTNÍ PODNIK	100
Pavel Křivka, Ivan Beran Jana Shánělová, Irena Kvapilová, Ing. Jitka Hofmeisterová	
REALIZÁCIA SANAČNÝCH PRÁČ NA DERIVAČNÝCH KANÁLOCH HYDROENERGETICKEJ SÚSTAVY VODNÝCH STAVIEB KRPEĽANY - SUČANY - LIPOVEC	108
Marián Caban, Ivan Voštinár	
REKONSTRUKCE UZÁVĚRŮ SPODNÍCH VÝPUSTÍ NA VODNÍCH DÍLECH POVODÍ VLTAVY	114
Martin Král, Michal Butkai, Pavel Wolf	
REKONSTRUKCE VODNÍHO DÍLA JEZEŘÍ.....	119
Blahoslav Kluc	
STABILIZÁCIA JUHOVÝCHODNEJ HRÁDZE VODNEJ STAVBY VIHORLAT (ZEMPLÍNSKA ŠÍRAVA)	125
Peter Pončák, Alena Šoltisová, Jaroslav Vaľo, Alena Miščiková	
VD JOSEFŮV DŮL – ASPEKTY STÁRNUTÍ, ODHAD BUDOUCÍHO VÝVOJE A MOŽNOSTI ZACHOVÁNÍ TĚSNÍCÍ FUNKCE NÁVODNÍHO ASFALTOBETONOVÉHO PLÁŠTĚ	131
Jaromír Pešava, Ondřej Švarc, Jan Kurka	
VD LETOVICE, REKONSTRUKCE VD	137
David Rožnovský	
VODÁRENSKÁ NÁDRŽ KLENOVEC - 50 ROKOV PREVÁDZKY	143
Ján Pervan, Miloš Trocha	
VODNÁ NÁDRŽ TAJCH – REKONŠTRUKCIA	149
Magdaléna Janíková, Jakub Kedrovič, Ester Ďurianová	

VODNÁ STAVBA NOVÁKY - VODNÁ NÁDRŽ NITRIANSKE RUDNO 70. ROKOV
PREVÁDZKY..... 155

Jozef Molnár

VODNÁ STAVBA RUŽINÁ, OPRAVA OBJEKTOV 161

Gabriel Angyal, Tomáš Ič

VODNÍ DÍLO HARCOV – ZKUŠENOSTI PROVOZOVATELE A PRACOVNÍKŮ
TECHNICKOBEZPEČNOSTNÍHO DOHLEDU Z PROBÍHAJÍCÍ REKONSTRUKCE 167

Pavel Svatoš, Jiří Kremsa, Tomáš Klemša

VODNÍ DÍLO MORÁVKA – REKOSTRUKCE PŘEHRADY 174

Pavel Golík, Radomír Drochytka, Tomáš Skokan

VS ORAVA, VS NOSICE - REKONŠTRUKCIA KORUNY BETÓNOVEJ PRIEHRADY
..... 181

Miloš Okál, Miloš Šerý

VODNÉ NÁDRŽE V SPEKTRE KLIMATICKÝCH ZMIEN, POSTAVENIE VODNÝCH NÁDRŽÍ PRI HOSPODÁRENÍ S VODOU 189

AKO EFEKTÍVNE SA UKÁZALI VODOHOSPODÁRSKE OPATRENIA PRI
ZVLÁDANÍ EXTRÉMNYCH POVODNÍ V SLOVINSKU V ROKU 2023..... 190

Nina Humar, Andrej Kryžanowski

MALÉ VODNÉ NÁDRŽE V ÚZEMNEJ POSOBNOSTI POVODIA SLANEJ - ICH
VPLYV A PRÍNOS NA HYDRICKÝ REŽIM V DANOM ÚZEMÍ – POTREBA,
ZHODNOTENIE A BUDÚCNOSŤ 199

Miloš Trocha

POSÚDENIE POVODŇOVÝCH ŠKÔD V OBLASTI PIRAN V DÔSLEDKU STÚPANIA
HLADINY MORA..... 204

Mark Bryan Alivio, Simon Rusjan, Andrej Vidmar, Andrej Kryžanowski

PROPOJENÍ ZBYTKOVÉ JÁMY LIBOUŠ S VODNÍM DÍLEM NECHRANICE..... 211

Petra Suchopárková, Petr Smrž, Ondřej Švarc

VD ORLÍK – ZABEZPEČENÍ VD PŘED ÚČINKY VELKÝCH VOD..... 217

Ondřej Hrazdira, Tomáš Beržinský

VD ROZKOŠ JAKO NÁSTROJ PRO SNÍŽENÍ DOPADŮ SUCHA A ZAJIŠTĚNÍ
PRŮMYSLVÝCH I ZEMĚDĚLSKÝCH ODBĚRŮ NA STŘEDNÍM LABI 223

Jiří Petr, Tomáš Kacálek

VODNÍ NÁDRŽE V PODMÍNKÁCH ZMĚNY KLIMATU	229
Václav Rára, Jana Bernsteinová, Milan Fischer, Evžen Zeman, Maxim Bernstein, Petr Štěpánek, Miroslav Trnka, Pavel Tachecí, Vanda Tomšovičová	
VYHODNOTENIE POVODŇOVEJ SITUÁCIE NA OHRADZOVANÝCH VODNÝCH TOKOCH V POVODÍ BODROGU NA PRELOME ROKOV 2023/2024.....	235
Alena Šoltisová, Ľuboslav Chvostaľ, Vladimír Vereb, Samuel Farkaš, Ľubomír Uhorščák	
KLIMATICKÉ ZMENY A POTREBA BUDOVANIA NOVÝCH VODNÝCH NÁDRŽÍ	241
DÍLČÍ PROBLÉMY PŘI TECHNICKÉM ŘEŠENÍ VODNÍHO DÍLA NOVÉ HEŘMINOVY	242
Jaromír Říha	
POLDER ČECHY.....	248
Helena Ficeková, Jozef Hudec	
RAKOVNICKO – PŘÍPRAVA OPATŘENÍ NA ZMÍRNĚNÍ DOPADŮ SUCHA	254
Jiří Endlicher, David Mareček	
STRATEGICKÝ VÝZNAM VN STARINA PRI ZÁSOBOVANÍ VÝCHODOSLOVENSKEHO REGIÓNU PITNOU VODOU V KONTEXTE NIELEN KLIMATICKÝCH ZMIEN	260
Božena Písečná, Martina Stančíková, Emília Bednárová, Ingrid Mydlová	
TECHNICKÉ ŘEŠENÍ VODNÍHO DÍLA NOVÉ HEŘMINOVY.....	266
Marek Čejda, Lucie Salingerová, Jiří Švancara	
VD KRYRY – NÁVRH KONCEPCE HRÁZE	274
Markéta Ryšavá, Ivo Hladík, Jiří Švancara	
VD VLACHOVICE – PŘÍPRAVA VÝSTAVBY VODÁRENSKÉ NÁDRŽE VE 21. STOLETÍ.....	282
Prokop Galatík , Dita Vávrová, Martin Havlík	
VD VLACHOVICE – PROJEKČNÍ PŘÍPRAVA.....	288
Daniel Brázda, Jiří Švancara	
VODNÍ NÁDRŽ NOVÉ HEŘMINOVY NA ŘECE OPAVĚ	298
Břetislav Tureček	

RÔZNE – PRÍSPEVKY SÚVISIACE S PROBLEMATIKOU VS 304

DEŠTRUKCIA KACHOVSKÉJ PRIEHRADY NA RIEKE DNÍPRO –
HYDRODYNAMICKÉ MODELOVANIE PRE RÝCHLE HODNOTENIE VPLYVOV NA
ŽIVOTNÉ PROSTREDIE 305

Stanislav Grand, Martin Mišík, Jozef Stoklasa, Juraj Bajčan, Marián Kučera

FLOODUZH – HYDRODYNAMICKÉ MODELOVANIE V POVODÍ RIEKY UH 311

Juraj Bajčan, Stanislav Grand, Martin Mišík, Marián Kučera, Dušan Mydla,
Ingrid Frühaufová

NÁVRH INOVATÍVNYCH USMERŇOVACÍCH STAVIEB V ZDRŽI HRUŠOV 317

Martin Mišík, Marián Kučera, Vanda Dubová, Ján Kováčik, Peter Glaus, Henrieta Farkas

NOVÉ POSTUPY PŘI NÁVRHU A REALIZACI PROTIABRAZNÍCH OPATŘENÍ
S FUNKCÍ PODPORY DIVERZITY STANOVIŠŤ A ODOLNOSTI VODNÍCH
EKOSYSTÉMŮ 323

Jaroslav Vrzák, Martin Hladík, Jakub Borovec, Felipe Bretón, Jan Pixa, Jaroslav Zvánovec,
Pavel Krejcar

ONLINE KALKULAČKA PRO NAVRHOVÁNÍ VODNÍCH NÁDRŽÍ 328

Adam Hromada, Martin Horský

POVODEŇ NA MORAVE Z ROKU 1941, PROBLÉMY SO STANOVENÍM VÝŠKY
HRÁDZE A PRIPOMIENKY K HYDRAULICKÉMU VÝPOČTU Z GENERÁLNEHO
PROJEKTU 334

Vladimír Slaninka

PŘÍSPĚVEK K HYDRAULICE PIANOVÝCH PŘELIVŮ 340

Miroslav Brouček, Martin Králík

RIZIKOVÁ ANALÝZA ČÁSTÍ POVODÍ - ÚČINNÝ NÁSTROJ PRO CÍLENĚJŠÍ
OCHRANU ZDROJŮ PITNÉ VODY 346

Lucie Jašíková, Hana Prchalová, Zbyněk Hrkal, Petr Vyskoč, Tomáš Fojtík, Hana Nováková,
Jiří Dlabal, Aleš Zbořil, Silvie Semerádová, Václava Mařašovská, Jiří Pícek

VODOHOSPODÁRSKE RIEŠENIE ZLEPŠENIA STAVU MOKRADE NPR
KLÁTOVSKÉ RAMENO 350

Andrej Šoltész, Martin Orfánus, Dana Baroková, Jakub Mydla, Roman Mikuš, Juraj
Kľučinec, Monika Supeková

VYUŽITÍ CFD PRO TRANSFORMACI VODNÍ ELEKTRÁRNY ORLÍK NA
PŘEČERPÁVACÍ VODNÍ ELEKTRÁRNU 357

Jiří Souček, Petr Nowak

VYUŽITÍ HYDRODEMOLICE PŘI REKONSTRUKCÍCH V PŘEHRADNÍM
STAVITELSTVÍ 363

Radek Veselý, Petra Suchopárková, Jakub Neděla

TBD - BEZPEČNOSTĚ VODNÝCH STAVIEB

50 ROKOV OD SANÁCIE VEĽKOMARSKÉHO ZOSUVU

50 YEARS SINCE THE MITIGATION OF THE VEĽKOMARSKY LANDSLIDE

Miloslav Kopecký¹, Martin Brček², Martin Ondrášik³

Abstrakt: Pri projektovaní vodnej stavby Liptovská Mara bola veľká pozornosť venovaná existencii zosuvov na pravých svahoch v oblasti medzi Vlaškami a Liptovskou Marou. Išlo predovšetkým o Veľkomarský na návodnej strane a Malý Vlaštiansky zosuv na vzdušnej strane pravostranného zaviazania zemnej hrádze VS. Prítomnosť uvedených zosuvov zásadnou mierou ovplyvnila situovanie samotného priehradného profilu a vyvolala realizáciu značného množstva prieskumných, sanačných a monitorovacích prác na zabezpečenie stability tejto časti VS. Sanačné práce na Veľkomarskom zosuve prebiehali v rokoch 1974-1978. Účinky sanačných opatrení sú monitorované na vybudovanej monitorovacej sieti. Výsledky monitoringu a návrhy na jeho doplnenie sú predmetom predkladaného príspevku.

Abstrakt: When designing the Liptovská Mara hydraulic structure, great attention was paid to the existence of landslides on the right-side slopes in the area between Vlašky and Liptovská Mara. It was primarily the Veľkomarský landslide on the water side of the dam and the Malý Vlaštiansky landslide on the air side of the right-side binding of the earth dam of the hydraulic structure. The presence of the mentioned landslides significantly affected the situation of the dam profile and caused the implementation of a considerable amount of exploration, rehabilitation and monitoring works to ensure the stability of this part of the dam. Rehabilitation works on the Veľkomarský landslide took place in 1974-1978. The effects of remedial measures are monitored on the established monitoring network. The results of the monitoring and proposals for its upgrade are the subject of the submitted paper.

1 ÚVOD

Na pravostrannom zaviazaní zemnej hrádze VS Liptovská Mara sa nachádzajú 2 zosuvy. Na návodnej strane je to Veľkomarský zosuv a na vzdušnej strane Malý Vlaštiansky zosuv (obr.1).



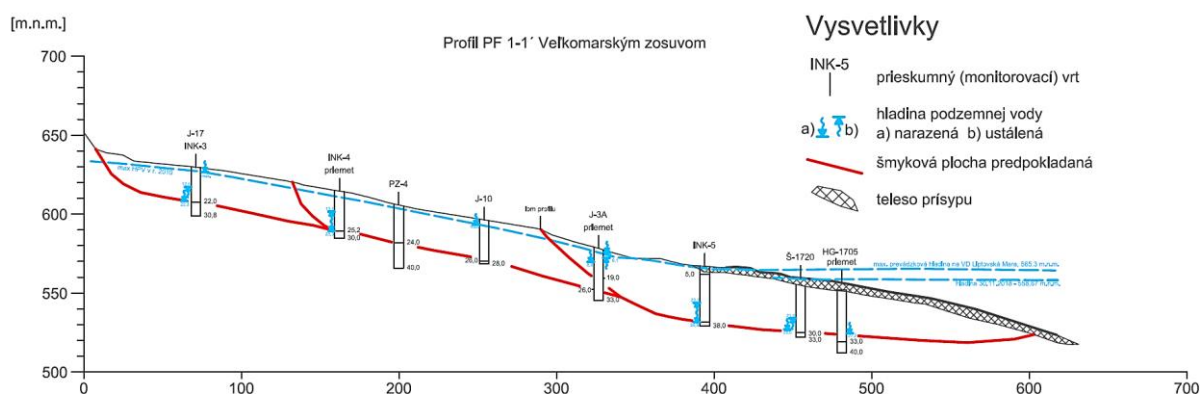
Obr. 1 Situovanie priehradného profilu VS Liptovská Mara medzi Veľkomarský a Malý Vlaštiansky zosuv (situácia – Google Earth)

Obidva zosuvy vznikli v území budovanom paleogénom Liptovskej kotliny. Územie Veľkomarského zosuvu dosahuje dĺžku 900m, šírky 550m a maximálna hrúbka zosunutých hmôt v akumuláčnej oblasti presahuje 30m. Tvorí ho viacero dielčích zosuvov prúdových a plošných rôzneho veku. Predpokladaná kubatúra zosunutých materiálov dosahuje 5 mil. m³ [1].

Už predbežné výpočty stability zosuvného územia pred výstavbou poukazovali na jeho nízku stabilitu a predpokladali, že po vybudovaní vodného diela následkom nadľahčenia akumuláčnej časti zosuvu vplyvom vody z nádrže môže dôjsť k výraznej nestabilite zosuvných svahov.

Keď v rokoch 1974-75 došlo k čiastkovým poruchám (nevhodné umiestnenie injekčnej centrály na zosuvnom území) na území Veľkomarského zosuvu, boli realizované sanačné práce na zabezpečenie jeho stability, ktoré pozostávali zo :

- 1) zriaďovania stabilizačných protiabrázných prísypov zo štrkopieskov na čelo zosuvu (1974-75) - hrúbka prísypu 7-8m – obr. 2,
- 2) realizácie horizontálnych odvodňovacích vrtov (4 etapy v r. 1974-77),
- 3) vyhotovenia systému povrchových odvodňovacích rigolov (1976-1978),
- 4) vytvorenia dvoch štrkových stien (1975).



Obr. 2 Inžinierskogeologický profil PF-1 zosuvom

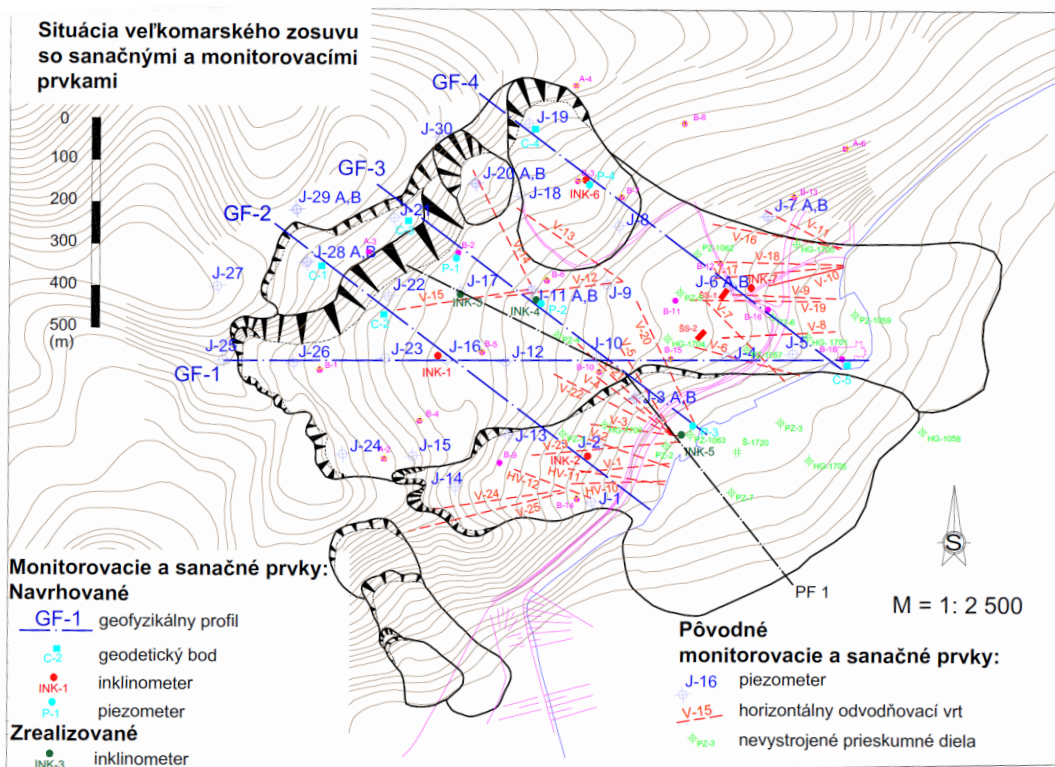
2 STAV MONITOROVACEJ SIETE V ROKU 2010

Účinnosť sanačných opatrení sa od ich realizácie monitoruje prvkami monitorovacej siete (obr.3), ktorú tvoria hlavne:

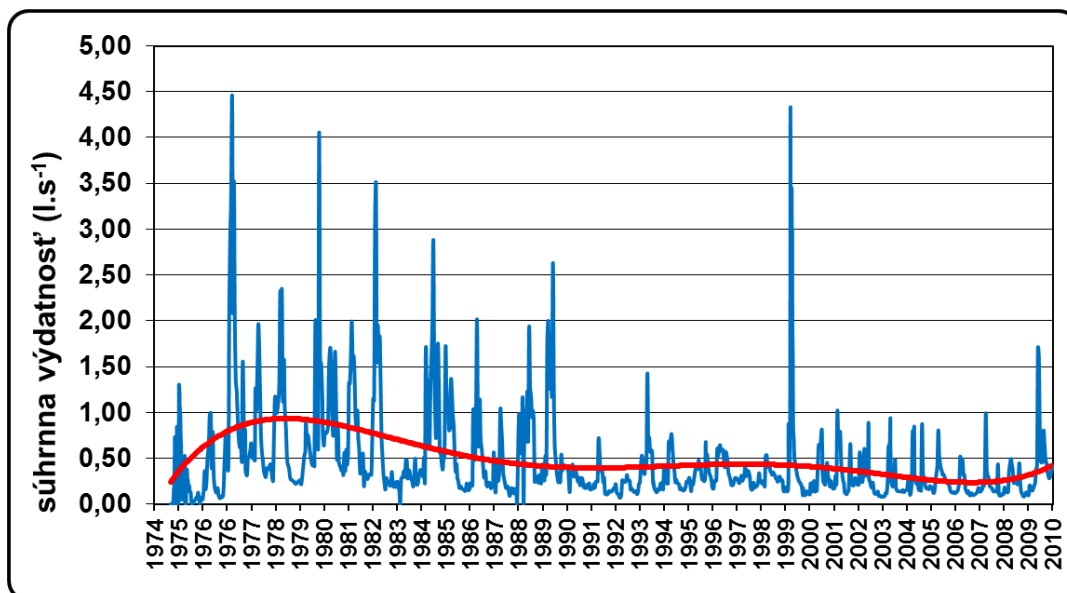
- [1] pozorovacie objekty hladín podzemných vôd (piezometre - 30ks),
- [2] 28 horizontálnych odvodňovacích vrtov (ďalej HOV) o celkovej dĺžke 3800m.

Po 35 rokoch prevádzky boli monitorovacie prvky v rôznom stave. Viaceré piezometre od svojho zabudovania boli zničené, prípadne sa stali nefunkčnými z hľadiska ich upchania a zanesenia jemným kalom v spodnej časti vrtu.

U HOV bolo možné z dlhodobého hľadiska sledovať pokles množstva vody odvádzanej zo zosuvu od r. 1974 (obr. 4). Uvedený globálny pokles však nemusel hrať úlohu pre zníženie lokálnej stability svahu, pokiaľ by v dôsledku poklesu výdatnosti HOV nedochádzalo k vzostupu HPV v okolitých piezometroch. Úplne zrejmy bol uvedený negatívny vplyv poklesu výdatnosti HOV V-12 až V-15 situovaných v odľučnej oblasti zosuvu, kde dlhodobo dochádza k vzostupu HPV v piezometroch J-16, J-17 (obr.5), J-18, J-11B ale aj v J-11A.

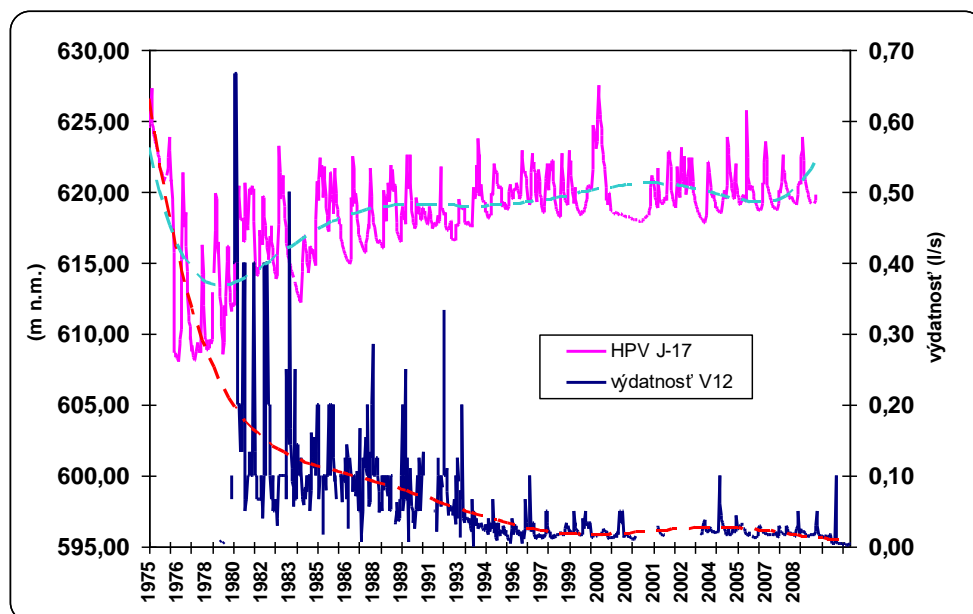


Obr. 3 Monitorovacia sieť (existujúca a aj navrhovaná) na Veľkomarskom zosuve s vyznačeným profilom PF-1



Obr. 4 Trend znižovania sumárnej výdatnosti HOV na Veľkomarskom zosuve v rokoch 1974-2010

Na horizontálnych odvodňovacích vrtoch sa pracovníkmi TBD vykonala ich inšpekcia kamerou, pričom najväčšia priechodnosť bola zistená iba do 30m (v 2 vrtoch), vo väčšine bolo možné zaviesť kameru iba do vzdialenosti niekoľko m od ústia. Z uvedeného vyplývalo, že je nutné nefunkčné HOV vrty buď prečistiť, prípadne zrealizovať nové HOV.



Obr. 5 Znižovanie funkčnosti HOV V-12 a postupný vzostup HPV v piezometri J-17

3 NÁVRH BUDOVANIA A ÚDRŽBY MONITOROVACIEJ SIETE NA ZOSUVE

V roku 2010 bol vypracovaný návrh dobudovania a údržby monitorovacích prvkov na Veľkomarskom zosuve [2]. Navrhované práce boli rozdelené do 3. etáp – obr. 3 a tab 1. Dôraz bol kladený predovšetkým na vybudovanie inklinometrických vrtov a prebudovanie geodetickej siete. Nevyhnutné bolo aj prečistenie existujúcich HOV.

Tab. 1 Navrhované práce na Veľkomarskom zosuve v 3. etapách

Navrhované práce	Účel a výstup prác
1. etapa - upresnenie a získanie doplňujúcich informácií o zosuvnom území	
a) Geodetické zameranie zosuvného územia.	Vytvorenie reprezentatívneho modelu zosuvu
b) Geofyzikálne merania – 4 profily o celkovej dĺžke 2380m	Určenie plošného a hĺbkového rozsahu zosuvného územia + upresnenie situovania nových inklinometrov
2. etapa – vybudovanie nových prvkov monitorovacej siete	
a) Vybudovanie inklinometrických vrtov – spolu 7 ks - 200bm	Pozorovanie pohybov v hĺbke masívu. Stanovenie reziduálnych parametrov šmykovej pevnosti zemín.
b) vybudovanie nových piezometrov - spolu 4ks - 100bm	Meranie HPV v blízkosti inklinometrických vrtov + osadenie automatických meračov HPV
c) nové geodetické body – 5ks	Meranie pohybov povrchu zosuvného územia - pohyb blokov v hornej časti zosuvného územia
3. etapa - rekonštrukcia súčasnej siete monitorovacích prvkov	
a) geodetické body – prebudovanie všetkých 22ks	Zabudovať na pôvodných miestach geodetické body a upraviť ich okolie pre meranie metódami VPN a GPS
b) piezometre – rekonštrukcia cca 11ks – 265bm	Rekonštruovať nefunkčné vrty
c) horizontálne odvodňovacie vrty – cca 2000bm	Prečistenie HOV, v prípade neúčinného prečistenia bude nutné vybudovať nové HOV.

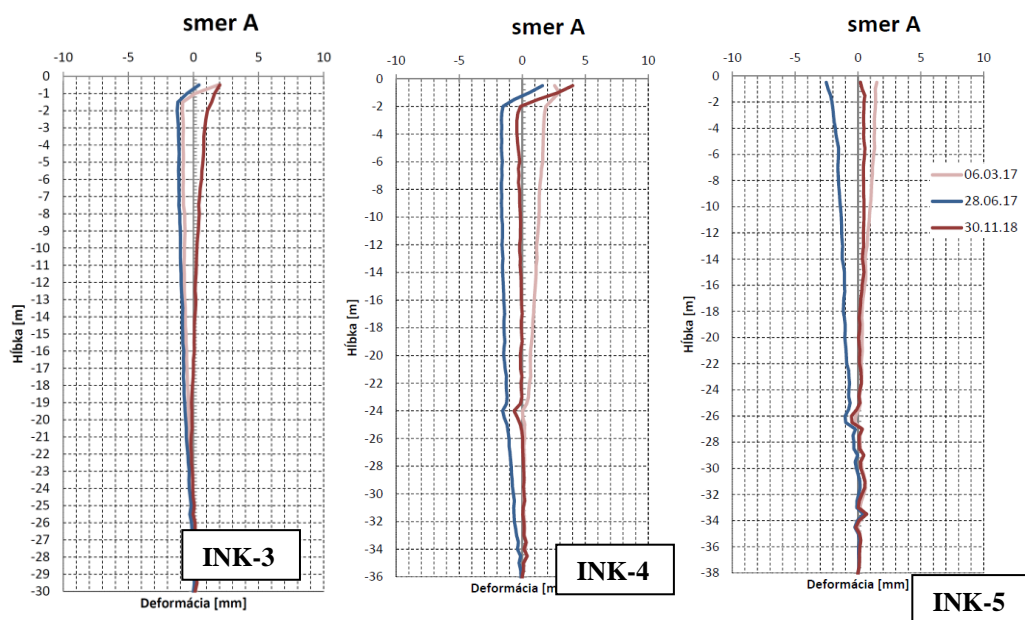
4 ÚPRAVA A DOPLNENIE MONITOROVACEJ SIETE (2011-2016)

Ako dôležitá údržba monitorovacích a sanačných prvkov a tým aj zvýšenie stability na zosuvnom svahu bolo realizované prečistenie samotných horizontálnych vrtoŧ tlakovou vodou viacerých etapách [3]. V 1. etape v lete 1995 bolo na zosuve prečistených 9 horizontálnych vrtoŧ. Jednalo sa o vrty, ktoré dlhodobo vykazovali nízku výdatnosť. Po 15 rokoch sa prečisťovanie ukázalo ako veľmi úspešné na viacerých horizontálnych vrtoch. V ďalších 3 etapách v rokoch 2011 a 2012 sa prečistilo 14 ks HOV (takmer 50 % celkovej pôvodnej dĺžky vrtoŧ). Pri obidvoch obdobiach prečistenia (1995 a 2011 – 2012) výdatnosť HOV okamžite po prečistení vzrástla cca 10 – 12 násobne.

O skutočnej hĺbkovej aktivite na zosuvnom svahu môžu vypovedať iba inklinometrické merania. Preto bolo navrhnuté dobudovať 7 inklinometrických vrtoŧ (obr.3 – tab.1). V roku 2016 sa zrealizovali 3 inklinometrické vrty v profile PF-1 (INK-3, 4, 5 – obr.3). Na základe vyhodnotenia vrtného jadra z nich bola aj upravená hĺbka bazálnej šmykovej plochy zosuvu v tomto profile (obr.2), ktorá sa pohybuje od 22,0m (INK-3) až po 38m (INK-5).

5 AKTIVITA ZOSUVU NA ZÁKLADE INKLINOMETRICKÝCH MERANÍ

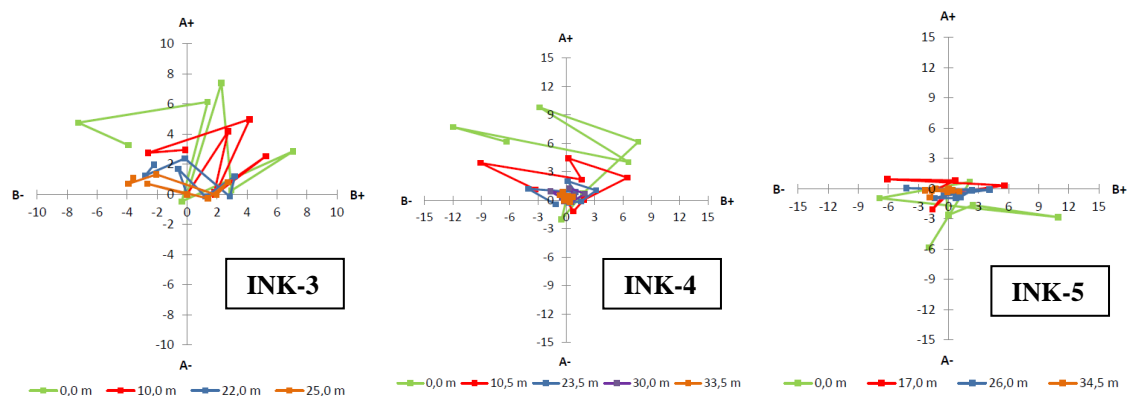
V období 2016 až 2018 vykonala no nových inklinometrických vrtoch merania na zosuve Stavebná fakulta STU Bratislava. Na obr.6 je záznam z inklinometrických meraní v tomto období.



Obr. 6 Namerané deformácie (posuny) v inklinometroch INK-3 až INK-5 v období V.2016 – XI. 2018

Z obr. 6 vyplýva, že inklinometrami bol zaznamenaný pohyb charakterizujúci vyklápanie blokov ílovcov v hĺbkach cez 20m, pričom vektor pohybu nevykazuje progresívny trend smerom do nádrže.

V období 2021 až 2023 vykonávalo merania VV š.p., Úsek technicko-bezpečnostného dohľadu Oddelenie TBD – Žilina. Pohyby v smere svahu vykazovali podobnú tendenciu ako merania v období do r. 2016. Avšak dôležitý je predovšetkým vektor pohybu (obr.7), kde nebol zaznamenaný žiadny pohyb, ktorý by vykazoval trend v smere svahu. Ide pohyby dosahujúce do 9mm, ale oscilujúce okolo jedného bodu.



Obr. 7 Znárodné vektory posunu v inklinometroch INK-3 až INK-5 v období IV.2019 – V. 2023

6 ZÁVER

Na Veľkomarskom zosuve bola je v prevádzke monitorovacia sieť už 50 rokov. Preto došlo k jej čiastočnej úprave a údržbe (prečistenie odvodňovacích vrtov) a predovšetkým k vybudovaniu inklinometrických vrtov. Doterajšie inklinometrické merania poukazujú na to, že v zosuvnom území neboli zaregistrované posuny, ktoré by naznačovali oživenie pohybov. Definitívnejšie vyjadrenie bude však možné až po dobudovaní celej monitorovacej siete a prípadne po extrémnejšom stave hladín v nádrži (vypustenie nádrže a pod.)

ZOZNAM LITERATÚRY

- [1] Kopecký, M. - Antolová, D. : Návrh komplexného monitoringu zosuvov na pravostrannom zaviazani hrádze VS Liptovská Mara. In Medzinárodná odborná konferencia o bezpečnosti vodných stavieb : Zborník prednášok I.časť.Bratislava,SR,12.-14.10.2010. Bratislava : Vodohospodárska výstavba, 2010, s.218-223.
- [2] Kopecký, M. - Antolová, D.: Návrh komplexného monitoringu na Veľkomarskom a Vlačianskom zosuve. Záverečná správa. Katedra Geotechniky. Stavebná fakulta STU. Bratislava. 2010
- [3] Kopecký, M. – Ondrášik, M. - Antolová, D.: Polstoročné skúsenosti z využívania horizontálnych odvodňovacích vrtov v zosuvných územiach na Slovensku. Geotechnika : Časopis pro zakládání staveb, mechaniku zemin a inženýrskou geologii Roč.16, č.2., s.14-20. 2013.

Príspevok je jedným z výstupov grantovej úlohy č. 1/0745/21 agentúry VEGA

AUTORI

Autor 1: prof.RNDr. Miloslav Kopecký, PhD. , SvF STU Bratislava, miloslav.kopecky@stuba.sk

Autor 2: RNDr. Martin Brček, PhD. , SvF STU Bratislava, martin.brcek@stuba.sk

Autor 3: doc. Mgr. Martin Ondrášik, PhD. , SvF STU Bratislava, martin.ondrasik@stuba.sk

BATYMETRIA A DTM A APLIKÁCIA PRE NÁDRŽ MALÁ DOMAŠA, MOŽNOSTI VYUŽITIA ŠTÁTNEHO DMR

BATHYMETRY AND DTM, APPLICATION FOR THE MALÁ DOMAŠA RESERVOIR, POSSIBILITIES OF USING THE STATE DMR

Igor Gacko¹, Martin Prvý², Juraj Kalivoda³, Božena Písečná⁴, Alena Miščíková⁵

Abstrakt: Klimatická zmena predstavuje čím ďalej viac hrozbu v mnohých aspektoch vodného hospodárstva resp. vodných stavieb. Zanášanie vodných stavieb sedimentami, spojením s konvektívnymi zrážkami predstavujú nebezpečné riziko bezpečnosti vodnej stavby a obyvateľov žijúcimi pod ňou. Moderná technológia posunula batymetriu na vyššiu úroveň a umožňuje nám v relatívne krátkom čase vytvárať trojrozmerný priestor vodných nádrží resp. riek a potokov. Jednou z vodných nádrží na ktorých bola použitá je vyrovnávacia vodná nádrž Malá Domaša. Na vytvorenie modelu vodnej nádrže sme použili jednolúčový sonar CEESCOPE LITE umiestnený na mapovanom plavidle CEE-USV. Pre dosiahnutie čo naj dôveryhodnejších výsledkov bolo potrebné vykonať polohopisné a výškopisné zameranie priľahlých brehov. V našom prípade bola použitá skenovacia technológia LiDAR, umiestnená na bezpilotnom lietadle DJI Matrice 300 RTK. Kombináciou týchto dvoch systémov sme zhotovili komplexný model v ktorom sme mohli vykonávať podrobné analýzy zanášania sedimentov, výpočet čiary objemov a zatopených plôch. Od roku 2017 sa na Slovensku vykonáva letecké laserové skenovanie, ktorého výsledkom je digitálny model reliéfu 5.0. GRID s rozlíšením 1m/pixel a absolútna výšková presnosť do 0,25 cm nám umožňovala vypočítať čiary objemov a zatopených plôch na vodnej stavbe POLDER BEŠA v presnosti postačujúcej na tento výpočet. Výsledky jednotlivých výpočtov na vodných stavbách slúžili predovšetkým na aktualizáciu manipulačného poriadku vodných stavieb.

Abstract: Climate change causes an increasing threat for many aspects of water management and water structures. Clogging of water structures with sediments, together with convective precipitation, constitute a very serious risk to the safety of the water structure and the inhabitants living under it. Modern technology has moved bathymetry to a higher level and allows us to create a three-dimensional space of water reservoirs, rivers and streams. One of the water reservoirs where the mentioned technology was used, is Malá Domaša balancing water reservoir. To create a water reservoir we used a CEESCOPE LITE single-beam sonar placed on the CEE-USV mapping vessel.

In order to achieve the most reliable results, it was necessary to carry out planimetric and altimetric mapping of the adjacent water sides. In our case, LiDAR scanning technology was used, placed on a DJI Matrice 300 RTK drone. By combing these two systems, we created a complex model in which we could carry out detailed analyses of sedimentation, calculation of volume line and flooded areas. Aerial laser scanning has been carried out in Slovakia since 2017, resulting in 5.0 digital relief model. The GRID with the resolution of 1m/pixel and absolute altitude accuracy of up to 0.25 cm allowed us to calculate the volume line and flooded areas on the POLDER (flood release reservoir) BEŠA with sufficient accuracy necessary for this calculation. The results of individual calculations on water structures were primarily used to update handling regulations of water structures.

1 ÚVOD

Moderná technológia získavania priestorových dát umožňuje vytvorenie presnej databázy údajov vodných nádrží nad aj pod hladinou vody. Skombinovaním oboch technológií získame presný 3D model vodnej nádrže, ktorý tvorí základ pre mnohé riešenia. Jedným z riešení je vypočítanie čiary objemov a čiary zatopených plôch, nevyhnutných pre aktualizáciu

manipulačného poriadku vyrovnávajúcej vodnej nádrže Malá Domaša (Slovenská Kajňa), ktorá je súčasťou vodnej stavby (v texte aj ako VS) Veľká Domaša. Druhou časťou článku je výpočet čiary objemovej krivky využitím leteckého laserového skenovania, poskytnutým úradom Geodézie, kartografie a katastra Slovenskej republiky na VS POLDER BEŠA. Predmetné vodné stavby sú situované na východnom Slovensku.

2 POPIS VODNÝCH STAVIEB

2.1 Vyrovnávacia nádrž Malá Domaša (Slovenská Kajňa)

Vyrovnávacia nádrž Malá Domaša (Slovenská Kajňa), ktorá je súčasťou VS Veľká Domaša vznikla prehradením údolia Ondavy pri obci Slovenská Kajňa, z dôvodu potreby stabilizácie odtokových pomerov na vodnom toku Ondava počas prevádzkovania vodnej elektrárne a pre ich rovnomerné vypúšťanie do toku pod vyrovnávacou nádržou, prioritne cez malú vodnú elektráreň Malá Domaša, pri minimálnom zostatkovom prietoku podľa podmienok stanovených manipulačným poriadkom.

Hlavným objektom vyrovnávacej nádrže je dvojpoľová betónová hať, na ktorú po oboch stranách nadväzuje zemná hrádza o celkovej dĺžke 443 m. Hrádza vyrovnávacej nádrže aj s haťou je časťou preložky štátnej cesty č. 557 Vranov n/Topľou – Stropkov a z tohto dôvodu aj zodpovedá požiadavkám uvedenej cesty. Hrádza je vybudovaná ako homogénna, sypaná zo zahlinených štrkopieskov. Päta vzdušného svahu je zabezpečená kamennou pätkou, ktorá má funkciu drénu a je dlažbou predĺžená na svah hrádze.

Hať vyrovnávacej nádrže slúži na reguláciu vody z nádrže a je kombinovaná s premostením Ondavy (štátna cesta Vranov n/Topľou - Stropkov). Hať má dve polia, s dvomi segmentovými uzávermi, ktoré sú zrkadlového vyhotovenia, samonosné, so šikmými ramenami. Zdvíhacie mechanizmy sú umiestnené v krajných pilieroch (jednostranný pohon). Ovládanie je diaľkové z veľina VS a miestne na elektrický pohon, ako aj mechanické ručné z miesta. Vlastná hať bola vybudovaná ako monolitický železobetónový polorám so základovou doskou s dvomi bočnými piliermi a jedným stredovým pilierom.

2.2 Vodná stavba POLDER BEŠA

Vodná stavba POLDER BEŠA je suchá nádrž vybudovaná ako súčasť komplexu vodných stavieb a zariadení na Východoslovenskej nížine na ochranu územia proti veľkým a vnútorným vodám.

Polder – suchá nádrž je vytvorená v bývalom inundačnom priestore pod obcou Beša na pravom brehu Latorice a ľavom brehu Laborca nad jeho zaústením do Latorice. Zo strany Laborca a Latorice je priestor poldra ohraničený ochrannými hrádzami týchto vodných tokov. Zo severu a východu je ohraničený rozdeľovacou hrádzou.

Účelom poldra je znížiť veľké vody Laborca pod sútokom s Uhom až o $600 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ pri prietoku Q_{100} a zabezpečiť, aby v profile železničného mosta v Strede nad Bodrogom hladina veľkej vody neprekročila výšku 100,70 m n. m., čo zodpovedá vodnému stavu 936 cm na cestnom moste v Strede nad Bodrogom.

Napúšťanie vody a vypúšťanie vody z poldra sa uskutočňuje cez náпустný objekt, vybudovaný v km 4,7 ľavobrežnej ochrannej hrádze Laborca. Náпустný objekt je z betónu, vytvorený ako hať s dvomi poľami hradenými dvojdielnymi segmentami. V pravobrežnom pilieri náпустného objektu je odtoková štôlna, ktorou možno prečerpávať vodu z poldra. V pilieri je umiestnené čerpadlo na odčerpávanie vody z poldra. Náпустný objekt slúži aj ako výпустný objekt. Po poklese hladiny v Laborci, ako náhle vznikne potrebný rozdiel hladín, je v prípade potreby možné vodu z poldra vypúšťať. Voľným odtokom cez dvojdielne segmenty možno polder vyprázdniť po kótu

prahu. Z nižšie položených miest poldra (pod touto kótou) sa voda odvádza hrádzovým výpustom v ľavobrežnej hrádzi Laborca. Pre úplné odvodnenie (vyprázdnenie) poldra sú v jeho priestore odvodňovacie kanály č. 1 a č. 3. Územie poldra je poľnohospodársky obhospodarované.

3 NADVÄZNOŠŤ NA PRÁVNE A TECHNICKÉ NORMY

Predmetné práce sme realizovali v súlade s nasledovnými právnymi a technickými predpismi:

- 1 zákon NR SR č. 215/1995 Z. z. o geodézii a kartografii v znení neskorších predpisov,
- 2 zákon NR SR č. 487/2021 Z. Z. o Komore geodetov a kartografov,
- 3 vyhláška ÚGKK SR č. 300/2009 Z. z., ktorou sa vykonáva zákon NR SR č. 215/1995 Z. z. o geodézii a kartografii, v znení neskorších predpisov (vyhláška č. 75/2011 Z. z., č. 26/2014 Z. z., č. 276/2019 Z. z.).

4 KOMPLEXNÉ POLOHOPISNÉ A VÝŠKOPISNÉ ZAMERANIE DNA A PRIAHLÉHO OKOLIA VYROVNÁVACEJ NÁDRŽE SLOVENSKÁ KAJŇA

4.1 Metodika merania

Geodetické meračské a výpočtové práce boli vykonané v polohovom súradnicovom systéme Jednotnej Trigonometrickej Siete Katastrálnej (S-JTSK) a vo výškovom systéme Balt po vyrovnaní (BpV). Pred mapovacími prácami nádrže sa vykonalo predspracovanie údajov (Pre-processing) pomocou GIS nástrojov:

- 5 import mapových podkladov,
- 6 import priečných profilov.

Samotné zameranie dna nádrže pozostávalo z dvoch etáp, ktorých kombináciou sa získalo kompletné aktuálne zameranie, resp. mračno bodov a TIN model reliéfu vodnej nádrže a jeho blízkeho okolia:

- 7 meranie dna nádrže pomocou mapovacieho zariadenia CEE-USV (USV- Unmanned survey vessel, resp. USV-bezposádkové prieskumné plavidlo so sonarom),
- 8 meranie brehov nádrže pomocou mobilného LiDAR-u Lidaretto umiestneného na UAV systéme DJI Matrice 300 (UAV – Unmanned Aerial Vehicle, resp. bezpilotný systém).

Spracovanie nameraných údajov (Post-processing) sa realizovalo opäť pomocou GIS nástrojov, za účelom získania výstupov:

- 1 vykreslenie dna nádrže,
- 2 aktualizácia objemovej čiary a čiary zatopených plôch nádrže.

2.1 Meranie dna pomocou meracieho zariadenia CEE-USV

Batymetrické meranie pod hladinou vody bolo realizované pomocou mapovacieho plavidla CEE-USV (Obr. 1), ktoré je ovládané operátorom z brehu. Meranie bolo vykonané v stanovených profiloch s rozstupmi po 50 m v priečných profiloch vyrovnávacej nádrže. Trasovanie (Obr. 2) bolo skomplikované plávajúcou vegetáciou na vodnej hladine nádrže. Dôsledkom toho je v niektorých profiloch vybočenie z plánovanej trasy. Táto skutočnosť nemá vplyv na samotný výpočet krivky objemov vyrovnávacej nádrže. Mapovacie plavidlo je vybavené echolotom, ktorý tvoria 2 sondy (vysokofrekvenčná a nízko-frekvenčná). Vysokofrekvenčná sonda vysiela frekvenciu 200 kHz, ktorá zaznamenáva vrchné časti dna, ako napr. vegetáciu a jemný sediment. Sonda s nízkou frekvenciou 33 kHz dokáže preniknúť do väčších hĺbok podložia. Ďalej plavidlo obsahuje GNSS anténu Leica GS 14 pre presnú lokalizáciu (X, Y a nadmorská výška), prepojená v online režime s riadiacou jednotkou (CEESCOPE LITE), externé batérie a ďalšie potrebné zariadenia. Pri meraní bol použitý spôsob merania RTK (real time kinematic) s pripojením na

sieť Smart Net. Plavidlom sme postupne zameriavali profily, ktoré boli pripravené vo fáze predspracovania údajov. Údaje z merania batymetrie nádrže boli zaznamenávané každých 0,15 sekundy (4 údaje o hĺbke za 1 sekundu).



Obr. 1 Mapovacie plavidlo CEE-USV



Obr. 2 Trasa plavidla na vyrovnávacej nádrži

2.2 Meranie brehov nádrže pomocou LiDAR

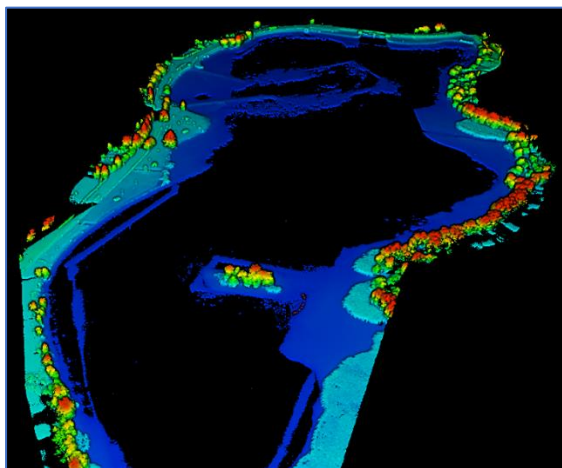
Z dôvodu, že záujmová plocha a objem vyrovnávajúcej nádrže sa nachádzal aj nad hladinou vody v čase merania a vzhľadom na okolitý terén bolo nutné domeranie svahov nádrže pomocou LiDAR-u Lidaretto umiestnenom na UAV systéme DJI Matrice 300. Bezpilotný systém bol ovládaný operátorom z brehu nádrže. Systém Lidaretto pozostáva zo samotného LiDAR skenera Velodyne a GNSS antény Novatel OEM7. LiDAR sníma body vo zvislej 360° rovine v dvoch odrazoch (prvý odraz – vegetácia, druhý odraz – zem) s hustotou 300 000 bodov za sekundu. Presnosť merania bodov je $\pm 5 - 7$ cm, v závislosti na hustote porastu.

Spracovanie dát bolo vykonané v troch krokoch:

- 3 vyrovnanie trajektórie letu (Obr. 3) v softvéri Inertial Explorer, spracovanie metódou PPK – post processing kinematic, presnosť < 1 cm,
- 4 priradenie LiDAR dát k danej trajektórii, export mračna bodov v súradnicovom systéme S-JTSK, spracované v softvéri Lidaretto Creator,



Obr. 3 Letový plán merania LiDAR-u



Obr. 4 Klasifikované mračno bodov z LiDAR-u

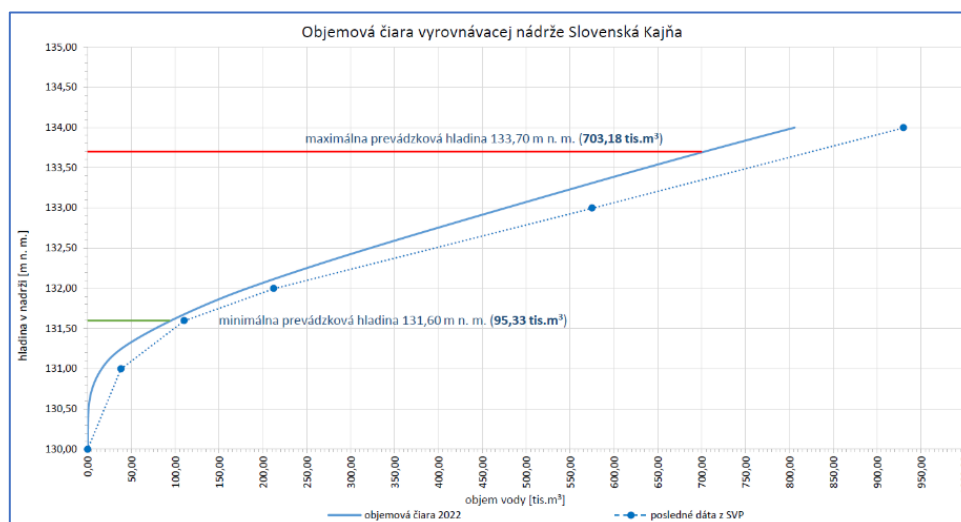
- 5 spracovanie mračna bodov v softvéri LiDAR 360, klasifikácia bodov (Obr. 4). (odstránenie vegetácie) a export vybraných dát pre ďalšie spracovanie.

5.1 Spracovanie výsledkov meraní

Pre výpočet čiary objemov a zatopených plôch sme museli stanoviť hranicu medzi vodným tokom Ondava a samotnou vyrovnávacou nádržou. Z nameraných a následne verifikovaných údajov z mapovania bol vytvorený digitálny terénny model (ďalej aj DTM) vo formáte TIN (nepravidelná trojuholníková sieť), ktorý slúžil ako podklad pre ďalšie analýzy. Maximálnu nadmorskú výšku výpočtu krivky objemu sme zadali rovnako ako v predchádzajúcom výpočte objemovej a zátopovej krivky, 134,00 m n. m. čo je o 0,30 m viac ako je maximálna prevádzková hladina. Samotný výpočet bol realizovaný v centimetrovom intervale od nadmorskej výšky 129,71 m n.m. (minimálna výška nádrže) po 134,00 m n. m.

5.2 Vyhodnotenie výsledkov meraní

Na Obr. 5 je pre porovnanie zobrazená nami stanovená objemová čiara vyrovnávacej nádrže s údajmi predposledného výpočtu krivky objemu vyrovnávacej nádrže. Tieto údaje boli poskytnuté v grafickej podobe s hodnotami uvedenými v tabuľke (pozri Tab. 1). Nakoľko bolo poskytnutých len šesť údajov v Obr. 5 sú vložené ako body.



Obr. 5 Porovnanie objemových údajov

V Tab.1 sú porovnané hodnoty objemov nádrže v nadmorských výškach 130,00 m n. m., 131,00 m n. m., 132,00 m n. m., 133,00 m n. m., maximálna a minimálna prevádzková hladina a ich rozdiel medzi rokmi 2022 a uvedenými hodnotami od SVP.

Tab. 1 Poskytnuté údaje z výpočtu objemu vyrovnávacej nádrže z SVP

Hladiny [m n. m.]	Objemy vody v nádrži [m ³]		
	Dáta z SVP [tis.m ³]	2022 [tis.m ³]	Zmena [tis.m ³]
130,00	0,00	0,03	-0,03
131,00	38,00	16,90	-21,10
131,60 (min. prevádzková hladina)	110,00	95,33	-14,67
132,00	212,00	182,26	-29,74
133,00	575,00	476,68	-98,32
133,70 (max. prevádzková hladina)	930,00	703,18	-226,82

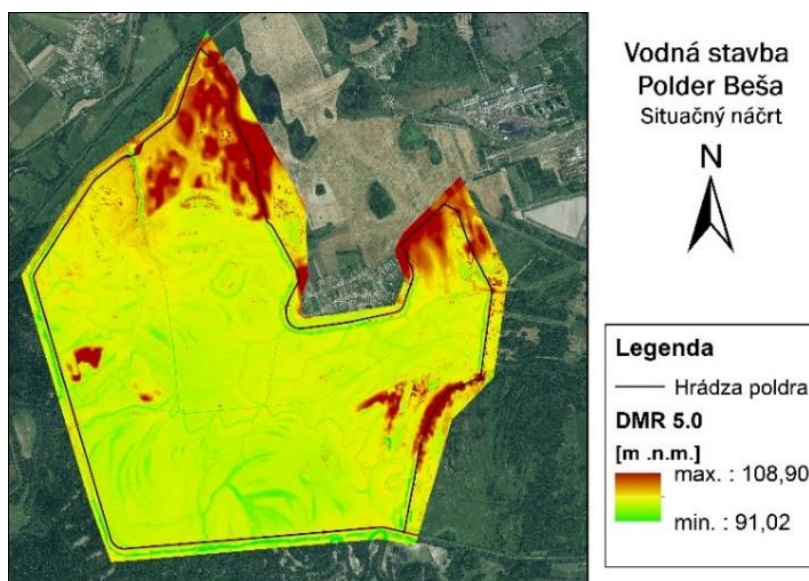
Objem vody v nádrži sa znížil pri maximálnej prevádzkovej hladine o 226822 m³ a pri minimálnej prevádzkovej hladine o 21814 m³. Na základe zamerania dna vyrovnávacej nádrže v októbri 2022 sme aktualizovali objemovú čiaru nádrže a čiaru zatopených plôch, ktoré sú

prezentované v grafickej a tabuľkovej forme. Aktualizovaný objem vo vyrovnávacej nádrži je pri maximálnej prevádzkovej hladine 703178 m³ a aktualizovaná zatopená plocha pri maximálnej prevádzkovej hladine je 339805 m². Pri minimálnej prevádzkovej hladine je aktualizovaný objem vodnej nádrže 95335 m³ a zatopená plocha má veľkosť 188504 m².

6 VÝPOČET OBJEMOVEJ KRIVKY PRE VODNÚ STAVBU POLDER BEŠA

6.1 Digitálny model reliéfu 5.0 vytvorený leteckým laserovým skenovaním (LIDAR)

Realizácia výpočtu objemovej krivky, čiary zatopených plôch a ostatných analýz boli vyhotovené z digitálneho modelu reliéfu 5.0, ktorý je tvorený maticou pravidelne rozmiestnených výškových bodov, vytvorený ako GRID s rozlíšením 1 m. Presnosť určenia polohy je cca 2-5 cm a presnosť určenia výšky cca 3-10 cm. Digitálny model reliéfu 5.0 a výpočtové práce boli vykonané v polohovom súradnicovom systéme Jednotnej Trigonometrickej Siete Katastrálnej (S-JTSK) a vo výškovom systéme Balt po vyrovnaní (Obr.6).



Obr. 6 3D pohľad na DMR poldra Beša

6.2 Spracovanie výsledkov meraní

Hodnotu maximálnej nadmorskej výšky hladiny v poldri sme zadali 101,87 m n. m. z poskytnutého manipulačného poriadku vodnej stavby z roky 2017, kedy bol manipulačný poriadok aktualizovaný. Samotný výpočet bol realizovaný v centimetrovom intervale od nadmorskej výšky 95,29 m n. m. (minimálna výška poldra) po 103,00 m n. m.

6.3 Vyhodnotenie výsledkov meraní

Manipulačný poriadok uvádza celkový objem nádrže 53 000 000 m³. Objem sa nevzťahuje na konkrétnu nadmorskú výšku preto predpokladáme veľkosť objemu poldra pri maximálnej dovolenej hladine. Nami aktualizovaný vyrátaný objem poldra pri maximálnej dovolenej hladine (101,87 m n. m.) dosiahol veľkosť 44 220 150 m³. Rozdiel týchto dvoch objemov tvorí veľkosť 8 779 850 m³. Zatopená plocha pri maximálnej dovolenej hladine je v manipulačnom poriadku uvedený o veľkosti 15 680 000 m². Pri maximálnej dovolenej hladine je nami

vypočítaná zatopená plocha menšia o 1 688 820 m². Aktualizovaný objem v POLDER BEŠA je pri maximálnej prevádzkovej hladine 44 220 150 m³ a aktualizovaná zatopená plocha pri maximálnej dovolenej hladine je 13 991 180 m².

7 ZÁVER

Do aktualizácie manipulačného poriadku v roku 2023 boli zapracované aj závery komplexného polohopisného a výškopisného zamerania dna a priľahlého okolia vyrovnávacej nádrže Malá Domaša (Slovenská Kajňa), ktoré bolo vykonané v roku 2022. Z jeho záverov vyplýva, že intenzívne sa zanáša nielen akumulácia nádrže VS Veľká Domaša, ale aj vyrovnávacia nádrž a to najmä nánosmi prinášanými Kvakovským potokom, odkiaľ bolo v 90. rokoch minulého storočia odstránených cca 90 000 m³ nánosov.

V rámci aktualizácie manipulačného poriadku v roku 2023 bola na základe digitálneho modelu reliéfu spracovaná objemová krivka poldra. Okrem spracovania objemovej krivky boli v niektorých úsekoch zistené poklesy koruny hrádze až cca 80 cm. V tejto súvislosti a tiež vzhľadom na opakujúce sa lokálne zosuvy hrádzi poldra nie sú hrádze vodnej stavby v rámci výkonu dohľadu hodnotené ako bezpečné. Preto je potrebné zabezpečiť ich komplexnú rekonštrukciu, ktorej súčasťou bude aj úprava nivelety hrádzi v zmysle záverov spracovaného digitálneho modelu reliéfu.

ZOZNAM LITERATÚRY

- [1] SVP, š. p.: Manipulačný poriadok pre VS Domaša a Vyrovnávaciu nádrž Slovenská Kajňa, SVP š. p. OZ Košice, aktualizácia 2023
- [2] SVP, š. p.: Manipulačný poriadok pre VS POLDER BEŠA, SVP š. p. OZ Košice, aktualizácia 2023
- [3] VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA, ŠTÁTNY PODNIK: Komplexné polohopisné a výškopisné zameranie dna a priľahlého okolia Vyrovnávajúcej nádrže Slovenská Kajňa, Výpočet objemovej krivky, Oddelenie geodézie 2022
- [4] VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA, ŠTÁTNY PODNIK: Výpočet objemovej krivky pre VS POLDER BEŠA, Oddelenie geodézie 2023

AUTORI

Autor 1: Ing. Igor Gacko, PhD., Vodohospodárska výstavba, štátny podnik, Oddelenie geodézie, Nobelova 7, 831 02 Bratislava, Slovenská republika, igor.gacko@vzb.sk

Autor 2: Ing. Martin Prvý, Vodohospodárska výstavba, štátny podnik, Odbor špecializovaných meraní, Nobelova 7, 831 02 Bratislava, Slovenská republika, martin.prvy@vzb.sk

Autor 3: Ing. Juraj Kalivoda, Vodohospodárska výstavba, štátny podnik, Oddelenie geodézie, Nobelova 7, 831 02 Bratislava, Slovenská republika, juraj.kalivoda@vzb.sk

Autor 4: Ing. Božena Písečná, SVP, š. p., oddelenie TBD Košice, Ďumbierska 14, 041 59 Košice, Slovenská republika, bozena.pisecna@svp.sk

Autor 5: Alena Miščiková, SVP, š. p., oddelenie TBD Košice, Ďumbierska 14, 041 59 Košice, Slovenská republika, alena.miscikova@svp.sk

DIGITÁLNÍ DVOJČE VD BYSTRÍČKA

DIGITAL TWIN OF BYSTRÍČKA DAM

Petr Vymlátíl¹, Michal Mrózek², Jiří Hodák³, Tomáš Kantor⁴

Abstrakt: Obsah příspěvku je zaměřen na vývoj demonstrační technologie digitálního dvojčete vybraného významného inženýrského díla, konkrétně VD Bystřička. Digitální dvojče (z anglického konceptu "Digital Twin") je virtuální 3D model reálného fyzického objektu navržený tak, aby věrně reprezentoval fyzikální vlastnosti své reálné předlohy a koncovému uživateli poskytoval informace na základě kontextualizace měřených dat a simulačních technologií (numerické výpočty proudění podzemní vody a napětí a přetvoření pomocí metody konečných prvků). Vytvořené digitální dvojče skrze webovou aplikaci propojuje online výsledky z monitoringu veličin technickobezpečnostního dohledu (TBD) na reálné konstrukci s predikovanými výsledky těchto veličin ze simulačního modelu této konstrukce vytvořeného v programovém prostředí ANSYS. Tato aplikace je v rámci České republiky a vodního stavitelství pilotním nástrojem propojujícím současně špičkové technologie z více průmyslových odvětví a představuje zajímavý přínos pro management bezpečnosti, a to nejen významného vodního díla.

Abstract: The content of the paper represents a summary of development activities of a digital twin demonstration technology of a selected significant hydraulic structure, specifically the Bystřička dam. A digital twin (from the English concept "Digital Twin") is a virtual 3D-model of a real physical object designed to faithfully represent the physical properties of its real-life twin and provide the end user with information based on the contextualization of measured data and simulation technologies (numerical simulations of structural displacements and stresses based on Finite Element Method). The created digital twin connects on-line results from on-line dam safety monitoring on the real structure with predicted results of these variables obtained from a simulation model of this structure created in the ANSYS software environment via a web application. This application is a pilot software tool within the Czech Republic and the water engineering industry, linking current state-of-the-art technologies from several industries and represents an interesting contribution to safety management, not only of a significant water works.

1 ÚVOD

Článek popisuje vytvoření digitálního dvojčete vybraného významného inženýrského díla. Digitální dvojče (z anglického konceptu "Digital Twin") se během posledních let dostalo do základního inventáře průmyslu digitálního věku společně s internetem věcí (IoT), analýzou velkých dat (Big Data), umělou inteligencí (AI), a to zejména její podskupinou strojového učení (Machine Learning – ML). Digitální dvojče je virtuální model reálného fyzického objektu (např. stroje, konstrukce, technologického celku apod.) navržený tak, aby věrně reprezentoval fyzikální vlastnosti své reálné předlohy a koncovému uživateli poskytoval informace na základě kontextualizace měřených dat a simulačních technologií (Obr. 1).

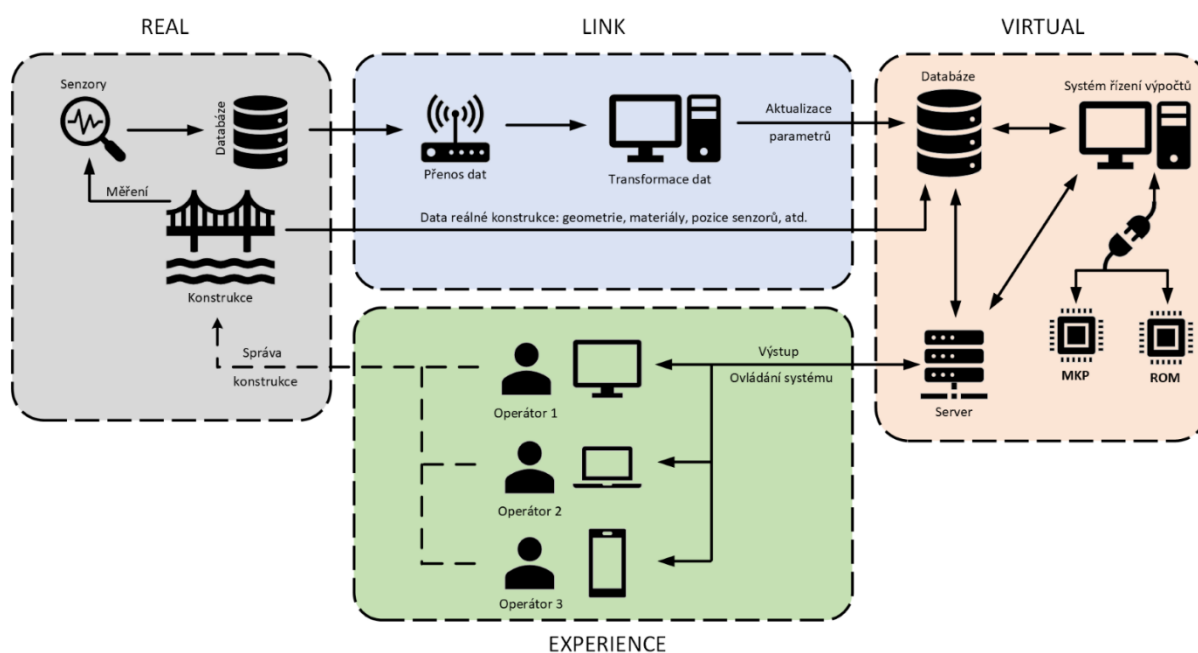
Článek shrnuje výsledky výzkumu v rámci projektu kolektivního výzkumu klastru CREA Hydro&Energy z.s. s názvem projektu „CREA Kolektivní výzkum 7“ v rámci programu OP PIK Spolupráce-Klaster, podprojekt č. 2 s názvem „Digitální dvojče přehrady“.



Obr. 1 Vizualizace principu technologie digitálního dvojčete [1]

Pro vytvoření prvního prototypu digitálního dvojčete bylo vybráno významné vodní dílo Bystřička. Vodní dílo Bystřička vytváří údolní nádrž na potoku Bystřička poblíž obce Bystřička na Valašsku, v zalesněném kopcovitém terénu asi 7 km jihovýchodně od Valašského Meziříčí. Má rozlohu 38 ha. Zděná hráz se nachází na území obce Bystřička (katastrální území Bystřička I), vodní nádrž zasahuje i do území Velké Lhoty a malým územím u počátku vzdutí též do území obce Malá Bystřice.

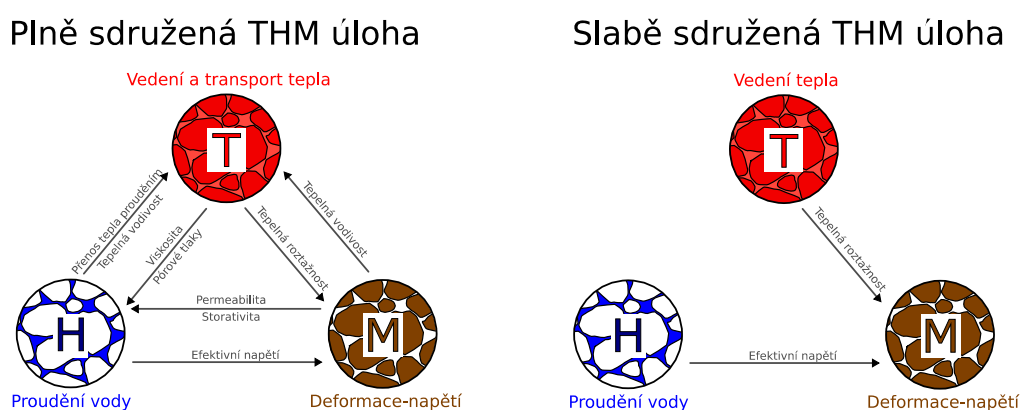
Typická architektura digitálního dvojčete je tvořena čtyřmi částmi uvedenými na Obr. 2. První část, označená jako „REAL“, reprezentuje reálnou konstrukci osazenou řadou automatických snímačů. Část „VIRTUAL“ obsahuje digitální reprezentaci reálné konstrukce. Ta může být tvořena fyzikálními numerickými modely, modely statistickými nebo modely založenými na ML. Data poskytovaná těmito modely mohou hrát zásadní roli pro posouzení bezpečnosti či životnosti reálné konstrukce. Část „LINK“ přenáší a transformuje data ze snímačů z části „REAL“ do části „VIRTUAL“. Data poskytovaná částí „VIRTUAL“ jsou prezentována a vyhodnocována v části „EXPERIENCE“. Na základě získaných informací je možné provést zásah na reálné konstrukci, za účelem prodloužení její životnosti nebo zvýšení její bezpečnosti.



Obr. 2 Typické schéma architektury digitálního dvojčete

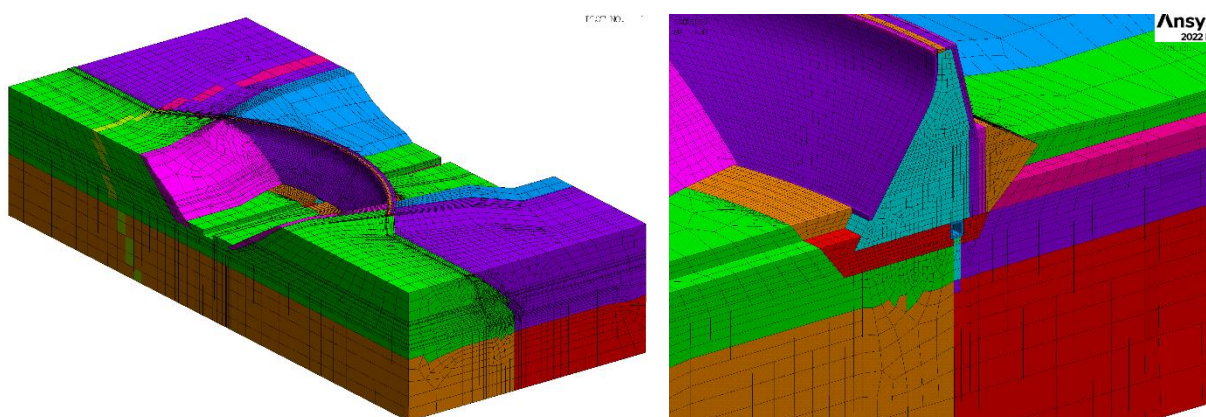
2 NÁVRH A VÝVOJ PARAMETRICKÉHO VÝPOČTOVÉHO MODELU A JEHO KALIBRACE

Simulace proudění vody a jejích účinků na vodohospodářské konstrukce lze obecně řešit jako sduženou úlohu. Jedná se o kombinaci mechanických, hydraulických a teplotních (THM) analýz, které spolu s vazebními rovnicemi mezi poli teplot, pórových tlaků a napětí-deformací, popisují fyzikální jevy v plně nebo částečně saturovaném porézním prostředí. Pokud se všechny analýzy obousměrně ovlivňují, hovoříme o tzv. plně sdužené úloze (Obr. 3 vlevo). Její řešení je velmi náročné a ve většině praktických úloh z oblasti stability a výpočtu průsakových poměrů přehrad nehrají některé vazby významnou roli. Proto se THM úloha zjednodušuje na slabě sduženou, tzn. uvažují se jednostranné vazby pomocí vazebních rovnic mezi polem teplot a polem deformace-napětí a mezi polem pórového tlaku a polem deformace-napětí (Obr. 3 vpravo).



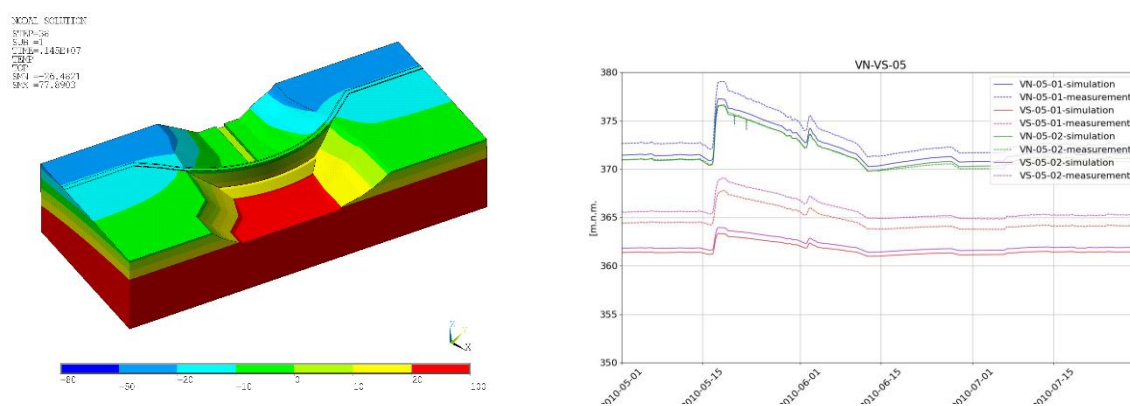
Obr. 3 Plně a slabě sdužená THM úloha

V rámci vývoje výpočtového modelu pro slabě sduženou THM úlohu byla provedena rešerše dostupných technických zpráv, výzkumných zpráv, projektové dokumentace a geodetických měření. Na základě těchto dat byl vytvořený prostorový CAD model přehrady respektující topologii jednotlivých stavebních částí přehrady i povrch terénu a jednotlivé geologické útvary v podloží. Při tvorbě prostorového geometrického modelu byly přijaty takové zjednodušující předpoklady, které umožnily technickou proveditelnost simulací a zároveň neznehodnotily validitu a hodnotu vypočtených fyzikálních veličin. Na základě CAD modelu byla provedena diskretizace modelu prostorovými konečnými prvky (Obr 4). Model byl doplněn o liniové prvky, které v hydraulické analýze zohledňují vodivost drenážních vrtů.



Obr. 4 Výpočtový model

Na základně provedené rešerše dostupných materiálů a technické dokumentace hodnotící stav přehrady byly získány potřebné materiálové vstupy pro nelineární termo-hydro-mechanické výpočty a byly zadány časově závislé okrajové podmínky (hladina vody, povrchové teploty). Pro kalibraci modelu byly využity optimalizační metody založené na metamodelování. Byl použit metamodel reprezentovaný polynomiálními funkcemi. Jako nezávislé parametry metamodelu byly uvažovány materiálové vlastnosti. Kalibrace metamodelu byla provedena pro konečný počet vzorků určených MKP simulacemi (Obr.5). Vzorkování bylo provedeno pomocí metody Latin Hypercube Sampling (LHS). Cílem optimalizace (provedené na metamodelu) bylo určit materiálové parametry, pro které je rozdíl mezi signály z měření a simulací minimální. Na základě výsledků mechanické analýzy jsou vyhodnocovány stupně bezpečnosti vůči překlopení hráze a usmýknutí hráze na základové spáře.



Obr. 5 Pole hydraulických výšek a srovnání měřených a vypočtených hodnot pórových tlaků

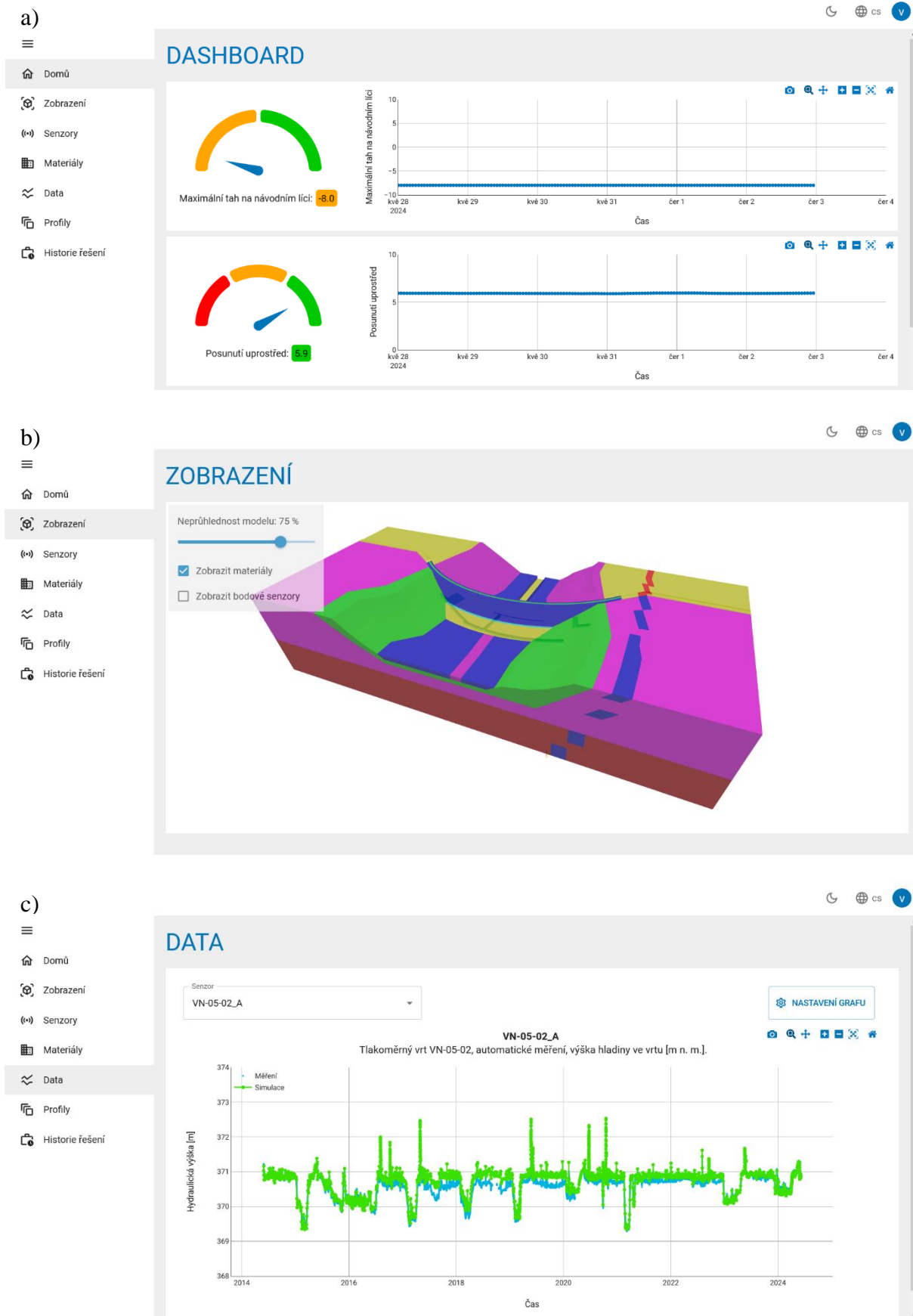
3 NÁVRH A VÝVOJ SOFTWAREVÉHO ŘEŠENÍ PRO DIGITÁLNÍ DVOJČE

Návrh softwarového řešení pro digitální dvojče vychází z typické architektury uvedené na Obr. 2. Části „VIRTUAL“ a „EXPERIENCE“ byly navrženy ve vztahu server-klient. Část „LINK“ je zajišťována externí společností (kromě transformace dat).

Serverová část (backend) obsahuje databázi uchováající data digitálního dvojčete, systém řízení výpočtů a výpočtové jádro reprezentující konkrétní model digitálního dvojčete a jeho řešič. Databáze uchovává neměnná data o konstrukci, jako např. geometrii, materiálové parametry, pozice snímačů nebo data o modelu, a také data proměnná, která jsou postupně aktualizována, jako data ze snímačů a výsledky ze simulací. Systém řízení výpočtů automaticky spouští simulace modelu a získané výsledky ukládá v databázi. Mezi systémem řízení výpočtů a výpočtovým jádrem bylo navrženo obecné rozhraní, které umožňuje začlenit do systému libovolný model s řešičem. Jako výpočtové jádro pro digitální dvojče VD Bystřička byl použit numerický model na bázi končených prvků vytvořený v softwarovém prostředí ANSYS, viz kap. 2. Pro komunikaci s klientskou aplikací bylo navrženo REST API rozhraní.

Klientská část (frontend) byla navržena jako webová aplikace, jejíž grafické uživatelské rozhraní (GUI) je uvedeno na Obr. 6. Po přihlášení do aplikace je uživateli zpřístupněn dashboard, který je rozčleněn do více částí (stránek), např.:

1. „Domů“ (Obr. 6 a), poskytuje různé stupně bezpečnosti přehrady.
2. „Zobrazení“ (Obr. 6 b), vizualizuje interaktivní 3D model přehrady. Je možné zobrazit oblasti s různými materiály a pozice snímačů na přehradě.
3. „Data“ (Obr. 6 c), ve formě grafu zobrazuje naměřené hodnoty ze snímačů (z reálné konstrukce) a výpočtové hodnoty určené simulací (z digitálního dvojčete).



Obr. 6 Webová aplikace pro digitální dvojče přehrady – a) Zobrazení, b) Dashboard, c) Data

4 ZÁVĚR

Technologie digitálního dvojčete přináší uživateli data ze simulačního modelu a dává je do kontextu s měřením a tím získává informace o aktuálním stavu bezpečnosti monitorovaného díla v dosud nedostupném rozsahu. Tato technologie umožňuje:

1. Vizualizovat vybrané hodnoty veličin TBD v reálném čase.
2. Efektivně provádět nutné zásahy vedoucí k zajištění bezpečného provozu vodního díla na základě kontextualizace měřených dat a výstupů numerické simulace.
3. Predikovat a optimalizovat postupy pro řízení režimu provozu vodního díla tak, aby byla v každém okamžiku zajištěna maximální bezpečnost a minimalizováno využití únosnosti konstrukcí.
4. Odhalit případné nežádoucí jevy v odezvě konstrukce a definovat jejich příčiny.
5. Znat informaci o aktuální statické rezervě v bezpečnosti vodního díla v reálném čase.
6. Sledovat proces stárnutí konstrukce hráze a včas připravovat potřebné stavební zásahy.

Vytvořená aplikace je v rámci vodního stavitelství pilotním nástrojem kombinujícím a propojujícím současně špičkové technologie z více průmyslových odvětví a představuje okamžitý přínos pro management bezpečnosti, a to nejen významného vodního díla, pro které byla tato aplikace vytvořena, ale stává se vzorem pro obdobná významná inženýrská díla jako např. mostní konstrukce, zdymadla, turbíny nebo výškové stavby.

PODĚKOVÁNÍ

Digitální dvojče přehrady vzniklo v rámci výzkumného projektu klastru CREA Hydro&Energy z.s. s názvem CREA Kolektivní výzkum 7, číslo projektu CZ 01.1.02/0.0/0.0/15_007/0002001, podprojekt 2 „Digitální dvojče přehrady“, projektová výzva OP PIK Spolupráce-Klastry Výzva VI.

SEZNAM LITERATURY

- [1] *M. Pregolato, S. Gunner, E. Voyagaki, R. De Risi, N. Carhart, G. Gavriel, P. Tully, T. Tryfonas, J. Macdonald, C. Taylor, Towards Civil Engineering 4.0: Concept, workflow and application of Digital Twins for existing infrastructure, Automation in Construction, Volume 141, 2022, 104421, ISSN 0926-5805*
- [2] *DOLEXPART – GEOTECHNIKA, 1.-2. Etapa řešení, Praha, květen 1999: Posouzení průsakových poměrů přehrady včetně zohlednění doplňkových IG průzkumů na základě sdružených analýz více fyzikálních polí a to mechanicko-hydraulických a mechanicko-termálních. Posouzení stabilitních poměrů přehrady.*

AUTOŘI

Autor 1: Ing. Petr Vymlátíl, Ph.D., Designtec s.r.o., Žižkova 59, 617 00 Brno, Česko, vymlatil.p@designtec.eu

Autor 2: Ing. Michal Mrózek, Designtec s.r.o., Žižkova 59, 617 00 Brno, Česko, mrozek.m@designtec.eu

Autor 3: Ing. Jiří Hodák, Ph.d., VODNÍ DÍLA – TBD a.s., Studená 909/2, 638 00 Brno, Česko, hodak@vdtbd.cz

Autor 4: Ing. Tomáš Kantor, VODNÍ DÍLA – TBD a.s., Studená 909/2, 638 00 Brno, Česko, kantor@vdtbd.cz

ECTPROFMET-KA; NOVÁ APLIKÁCIA NA VYHODNOTENIE RÝCHLOSTÍ HORIZONTÁLNYCH PRÚDENÍ PODZEMNÝCH VÔD

ECTPROFMET-KA; NEW APPLICATION FOR EVALUATING OF VELOCITY OF HORIZONTAL FLOWS OF WATER

Erik Andrassy¹, Lenka Kubišová²

Abstrakt: Poloautomatický algoritmus s grafickým rozhraním ECTProfMet-KA napísaný v programovacom jazyku MATLAB R2022a (neskôr ver. R2023b), umožňuje jednoduché spracovanie komplexných údajov z karotážnych prístrojov ECT Profile Meter dodaný Českou firmou Ekotechnika s.r.o. 21 bodový panel s ponukami a 2 tlačidlá umožňujú operátorovi neustály prehľad nad svojím pracovným postupom. Surové údaje exportované priamo z prístroja je možné okamžite naimportovať vo formáte .txt alebo .dat do programu ECTProfMet-KA. Bez nutnej znalosti matematického výpočtu je operátor schopný jednoducho a efektívne v dvoch krokoch zadefinovať vstupné parametre a realizovať výpočet z nameraných hodnôt mernej elektrickej vodivosti vo vrte. Okrem grafických indikátorov, ktoré operátora okamžite varujú v prekročení medzných a kritických rýchlostí filtračných prúdení vo vrtoch sú k dispozícii aj pomôcky ako meradlo maximálnej elektrickej vodivosti, mineralizácie, teploty a tzv. detektor. Textová oblasť „Informátor“ disponuje so schopnosťou komunikácie s operátorom a informuje ho o aktuálnych úspešných respektíve neúspešných krokoch. V záverečnej výstupnej časti sú spracované dáta uložené v jednoduchom formáte .txt a v podobe .xls, ktorý je prispôbený pre zamestnancov TBD oddelenia geológie a environmentálnych záťaží. Aplikácia umožňuje výrazné zefektívnenie a skvalitnenie pri spracovaní výsledkov.

Abstract: The semi-automatic algorithm with graphical interface ECTProfMet-KA was written in the programming language MATLAB R2022a (later ver. R2023b), it enables simple processing data from the logging devices ECT Profile Meter supplied by the Czech company Ekotechnika s.r.o. Panel menu of 21 points and 2 buttons allow the operator to constantly review of their work process. Raw data exported directly from the device can be immediately imported into the ECTProfMet-KA program in format .txt or .dat. Without the necessary knowledge of mathematical calculations, the operator is able to simply and effectively define the input parameters in two steps and perform the calculation from the measured values of specific electrical conductivity in the borehole. Graphical indicators immediately alert the operator to exceeding threshold and critical velocities of filtration flows in wells. There are also tools for maximal value of electrical conductivity, mineralization and temperature and a so-called detector. The informative text area has the ability to communicate with the operator and inform him of the current successful or unsuccessful steps. In the final export section, the processed data are exported in a simple format .txt and .xls, which is adapted for employees of TBD of the Department of Geology and Environmental Burdens. This application is resulting in a significant effectivity and quality of evaluation.

1 ÚVOD

V súčasnej dobe, kedy je práca s digitálnymi údajmi braná za samozrejmosť, je nutné disponovať aj so správnym programom. Najlepšia voľba je si takýto program vytvoriť, nakoľko autori disponujú s vedomosťami o jeho fungovaní do najmenších detailov. Takýmto programom je aj novovytvorený poloautomatický algoritmus ECTProfMet-KA s grafickým prostredím tzv. GUI (Graphical User Interface). Grafické rozhranie umožňuje prácu aj pre užívateľov, ktorí nedisponujú s programátorskými zručnosťami. Program ECTProfMet-KA umožňuje jednoduchý import dát vo formáte .txt alebo .dat v tzv. surovej podobe, náhľad týchto údajov, ich jednoduchú opravu, spracovanie, interpoláciu a export vo viacerých formátoch.

Program slúži na výpočet filtračných prúdení (vf) z nameraných hodnôt elektrickej vodivosti v jednotlivých hĺbkových úrovniach, pri použití zried'ovacej metódy, z prístroja ECT Profile Meter vyrábaný Českou firmou Ekotechnika s.r.o. V rozhraní programu je možné opraviť nameraná dáta v prítomnom čase, to znamená, že nie je nutné si opravené dáta naimportovať nanovo ale dokáže pracovať s určitými zmenami. Okrem samotného výpočtu program disponuje so zabudovaným tlačidlom s názvom „Detektor“, ktorý má za úlohu odhaliť nesprávne hodnoty elektrických vodivostí, ako sú chybné záporné hodnoty alebo hodnoty nižšie ako namerané samotné pozadie. Ďalšou funkciou je zabudovaná interpolácia, ktorá nefunguje na jednoduchom princípe aritmetického priemeru, ale je rátaná cez funkciu „spline“ v Matlabe, pri ktorom je opis koeficientov rôznych kubických polynómov riešený tridiagonálnym lineárnym systémom. Zobrazenie grafov umožňuje jednoduché grafické zobrazenie nameraných veličín ako je teplota, elektrická vodivosť alebo vypočítaných veličín filtračného prúdenia a mineralizácie.

2 SPÔSOB ZÍSKAVANIA ÚDAJOV V TERÉNE

Meranie filtračného prúdenia (vf) je možné realizovať iba v perforovanej oblasti vrtnu. Po osadení snímačov prístroja ECT Profile Meter je nutné si namerať pozadie (hodnota prirodzenej elektrickej vodivosti [$\text{mS}\cdot\text{m}^{-1}$] vody). Následne zvýšime vodivosť vody aplikáciou NaCl v celom vodnom stĺpci. Optimálna hodnota elektrickej vodivosti [$\text{ms}\cdot\text{m}^{-1}$] po solení je dvojnásobok až trojnásobok oproti pozadiu. Po tom, ako sa ustáli maximum elektrickej vodivosti vo vrte sa určí čas začiatku merania a meranie prebieha v ideálnom prípade pokiaľ hodnoty nedosiahnu pôvodne nameranú prirodzenú vodivosť vody. Pri pomalom/žiadnom prúdení vo vrte meranie prebieha, kým hodnoty neklesnú aspoň na polovicu oproti maximu. Na obrázku 1 je znázornená meracia sústava ECT Profile Meter.



Obr. 1 Prístroj ECT Profile Meter osadený vo vrte

3 PRINCÍP FUNGOVANIA PROGRAMU ECTProfMet-KA

Program je napísaný v programovacom jazyku Matlab vo verzii R2022a v grafickom prostredí app designer, ktorý je zabudovaný priamo v základnej verzii Matlabu. App designer ponúka široké spektrum možností a grafických prvkov s jednoduchou aplikáciou jednotlivých prvkov ako sú tlačidlá, tabuľky, ukazovatele a ďalšie.

Prvým krokom je import surových dát do programu pomocou na to určeného tlačidla. Užívateľ si môže naimportovať dáta vo formáte .txt alebo .dat. Po samotnom importe sa objaví dialógové okno s názvom „Vrtný denník“, do ktorého sa zadefinujú tieto parametre: názov vrtu, priemer vrtu, úroveň hladiny podzemnej vody (HPV), hĺbka dna, dátum merania, hladina v nádrži a krok snímačov. Z týchto údajov sa do výpočtu použijú iba parametre priemeru vrtu a krok snímačov. Údaje o názve vrtu, dátumu merania, úroveň HPV a hladiny v nádrži slúžia na elimináciu chyby pri exporte do konkrétnych .xls súborov. Parametre dno vrtu a krok snímačov slúžia na výpočet presnej hĺbky uloženia každej sondy. Ďalším krokom je tzv. „Surové dáta“, ktorý reálne nič neráta iba zobrazuje surové dáta nameraných elektrických vodivostí. V tomto kroku sa definuje, od ktorého snímača bude výpočet prebiehať. V prípade, ak snímač nie je situovaný vo vodnom stĺpci, tak nemeria, a týmto krokom dochádza ku eliminácii týchto snímačov. Po zobrazení grafu nameraných údajov sa odporúča otestovať balík údajov cez zabudovanú funkciu „Detektor“, ktorý keď v nameraných údajov po čase zasolenia nájde hodnotu nižšiu, ako je samotné pozadie, zasvieti na čierno a je nutné zvoliť správny interval pre výpočet, kde sa daná hodnota nenachádza. Ak sú hodnoty relevantné, tak sa výpočet spúšťa pomocou tlačidla „Hlavný výpočet“. Okrem surových údajov do výpočtu vstupuje aj samotný priemer vrtu a zadefinované riadky od času začiatku merania. Koniec merania sa určuje buď manuálne na základe grafu poklesu elektrickej vodivosti v čase na jednotlivých snímačoch alebo v prípade, že je prúdenie nevýrazné, tak sa ako koniec merania určuje posledný riadok z nameraných údajov. Rýchlosť prúdenia vody v okolitom prostredí znižovania elektrickej vodivosti vo vrte je závislá od rýchlostí a môžeme ju stanoviť na základe vzťahu:

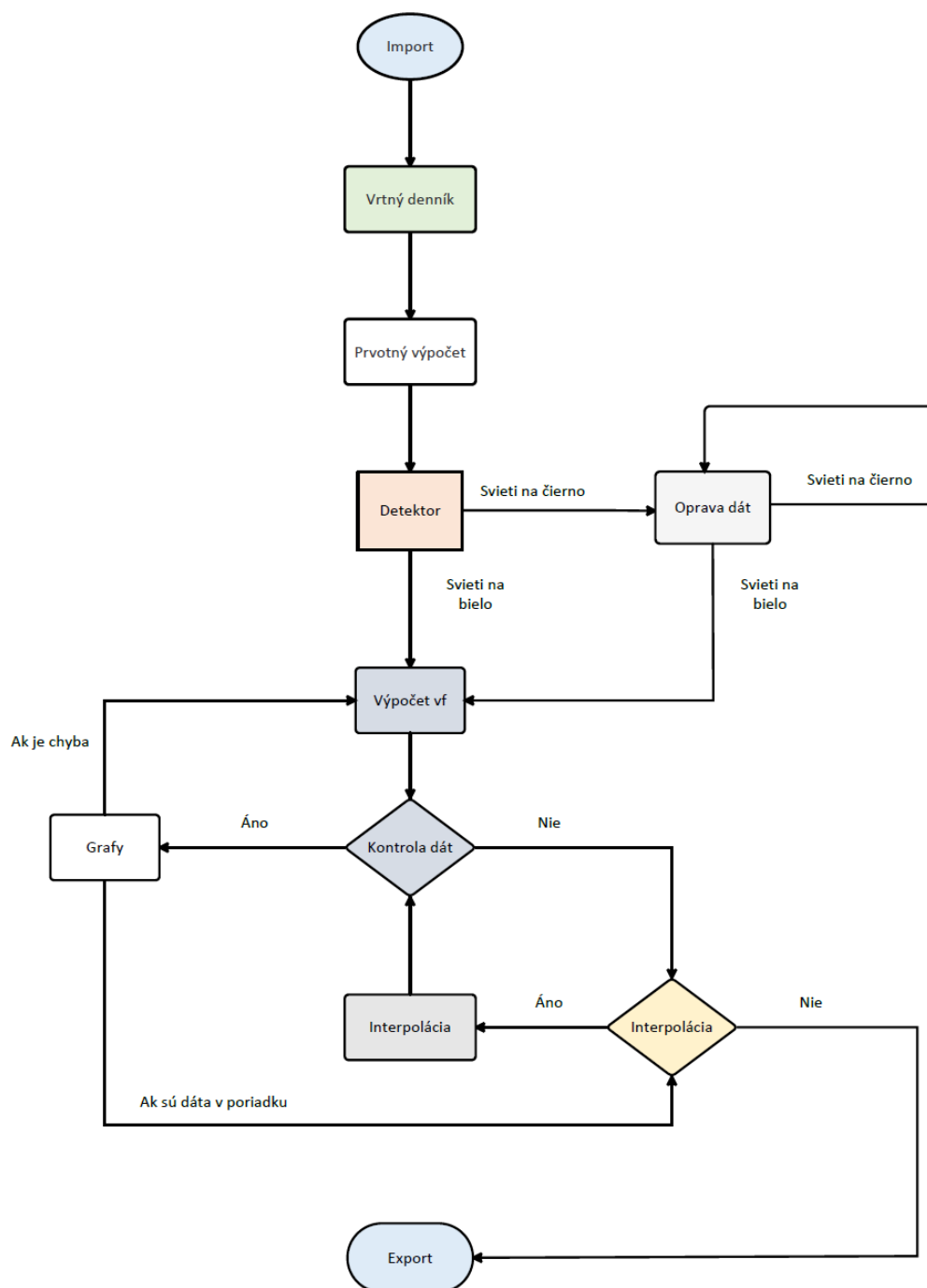
$$v_f = \frac{\pi d}{4\alpha dt} \cdot \ln \frac{c_1 - c_0}{c_2 - c_0} \quad [m \cdot s^{-1}]$$

kde

v_f (m.s ⁻¹)	- filtračná rýchlosť
d (m)	- vnútorný priemer vrtu
α	- koeficient drenážneho vplyvu vrtu
dt (s)	- časový rozdiel zodpovedajúci rôznym koncentráciám
c_0 (mg.l ⁻¹)	- hodnota prirodzenej celkovej mineralizácie vody vo vrte
c_1, c_2 (mg.l ⁻¹)	- koncentrácie v rôznych časových intervaloch

Proces samotného výpočtu v sebe obnáša aj určenie hĺbky pre každú polohu merania, pre ktorú sa okrem filtračného prúdenia určí aj elektrická vodivosť z ktorej sa vypočíta mineralizácia a prístroj ECT Profile Meter umožňuje aj meranie teploty pre všetky merané hĺbkové úrovne. Pomocou grafov si užívateľ dokáže prekontrolovať všetky definované veličiny a keď interpolácia nie je potrebná, tak záverečným krokom je export údajov. Ten prebieha v troch režimoch. Základným exportom je export údajov do samostatného .txt súboru, s ktorým je možné ďalej pracovať. Druhým režimom je export do .xls súboru, ktorý výrazne uľahčí prácu s podkladmi a posledným režimom je tzv. prípravný súbor do programu Strater od Golden Software, v ktorom sa výsledky spracovávajú graficky. Pre zjednodušenie práce s údajmi má užívateľ k dispozícii aj grafické ukazovatele základných meraných a vypočítaných veličín (obr.

3) a tlačidlo, s ktorým vyčistí celú aplikáciu od údajov a je možné opätovne začať spracovanie nameraných údajov na ďalšom vrte. Na obrázku 2 je načrtnutý vývojový diagram poloautomatickej aplikácie ECTProfMet_KA.

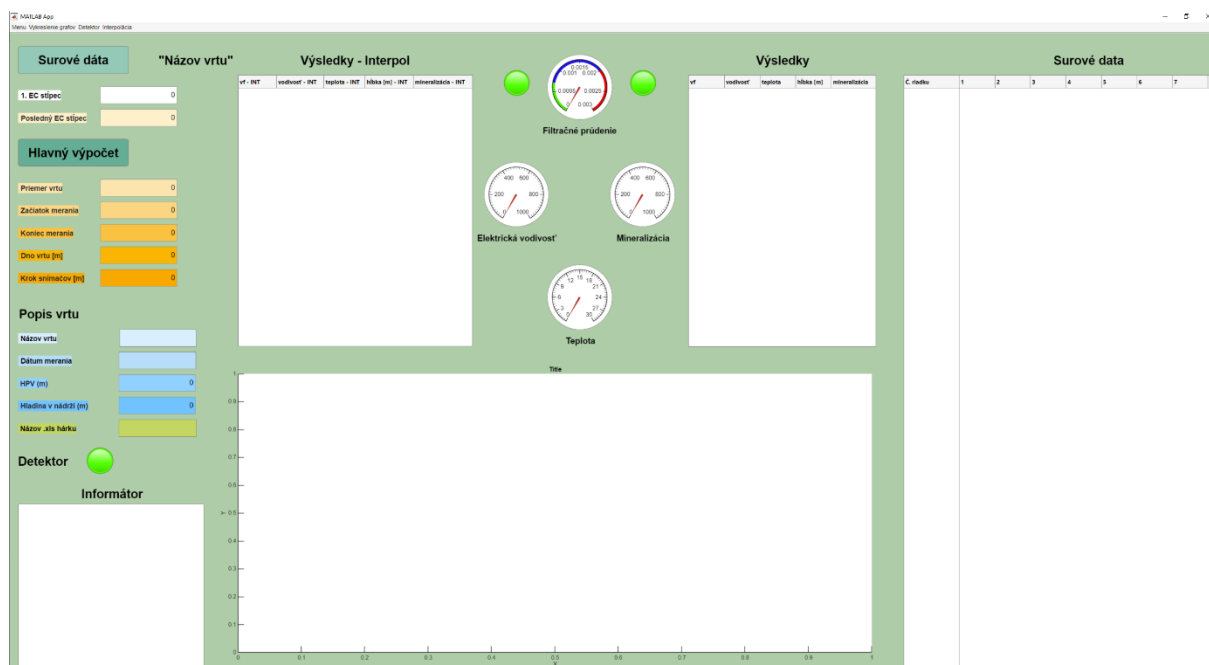


Obr. 2 Vývojový diagram poloautomatickej aplikácie ECTProfMet_KA

4 GRAFICKÉ ROZHRIANIE APLIKÁCIE ECTProfMet-KA

Cieľom pri tvorbe aplikácie ECTProfMet-KA bolo vytvoriť grafické rozhranie za účelom jednoduchého užívania. V hornej lište sú situované 4 tlačidlá. Tlačidlo „Menu“ disponuje s ďalšími možnosťami, a to import, export a premazaním aktuálnych údajov z aplikácie. Vykreslenie grafov slúži na grafický náhľad nameraných a vypočítaných hodnôt meraných

veličín a tak isto sa dajú v rámci tejto možnosti porovnať interpolované dáta s neinterpolovanými. Tlačidlo „Detektor“ je popísané vyššie a po zvolení možnosti „Interpolácie“ sa zobrazí dialógové okno, do ktorého stačí zadefinovať nový krok a po potvrdení sa nainterpolujú nové údaje. Aplikácia disponuje tromi tabuľkami, dvanástimi vyplňovacími oknami a dvoma tlačidlami na spustenie „Prvotného výpočtu“ alebo „Hlavného výpočtu“. Informátor slúži na informovanie užívateľa o aktuálnom dianí a meradlá na jednoduché znázornenie o najvyšších hodnotách meraných veličín. Na obrázku 3 je znázornené grafické rozhranie programu ECTProfMet-KA.



Obr. 3 Grafické rozhranie programu ECTProfMet-KA

5 ZÁVER

V tomto príspevku je popísaná verzia ECTProfMet-KA 3.3.3. Na jej vývoji sa neustále pracuje a v rámci aplikácie sa odstraňujú chyby, ktoré sú prítomné pri meraniach s nedostatočnou presnosťou. Novšia verzia disponuje s menším počtom tabuliek resp. možnosťou, v rámci ktorej sa dajú jednotlivé tabuľky prepínať, čím sa šetrí priestor a je možné si pridať ďalšie možnosti. Detektor je zabudovaný už do importu, čo znamená, že pri natinutí údajov sa test o kvalite dát realizuje a informuje užívateľa, či sú dáta relevantné. Verzia ECTProfMet-KA je otestovaná v praxi zamestnancami Vodohospodárskej výstavby a na jej zdokonaľovaní sú nevyhnutné ich postrehy a nápady, ktoré umožňujú prácu s aplikáciou zjednodušiť.

AUTORI

Autor 1: Mgr. Erik Andrassy, Vodohospodárska výstavba, štátny podnik, úsek TBD, Nobelova 7, 831 02 Bratislava, Slovenská republika, erik.andrassy@vzb.sk

Autor 2: Mgr. Lenka Kubišová, PhD., Vodohospodárska výstavba, štátny podnik, úsek TBD, Nobelova 7, 831 02 Bratislava, Slovenská republika, lenka.kubisova@vzb.sk

HISTORICKÁ VODNÁ STAVBA DOLNÁ HODRUŠSKÁ – STANOVENIE MEDZNÝCH A KRITICKÝCH HODNÔT

THE HISTORICAL HYDRAULIC STRUCTURE DOLNÁ HODRUŠSKÁ – DETERMINATION OF THE LIMIT AND CRITICAL THRESHOLD VALUES

Tibor Mészáros¹, Peter Gužík², Michal Červeň³

Abstrakt: Historická vodná stavba Dolná Hodrušská bola vybudovaná v prvej polovici 18. storočia v okolí Banskej Štiavnice ako súčasť unikátneho vodohospodárskeho systému, ktorý slúžil miestnym baniam. O vodnej stavbe bolo do nedávna známych iba niekoľko základných informácií. Až v rokoch 2014-2020 boli získané prvé hodnoverné údaje o zložení hrádze počas jej rekonštrukcií a opráv. V roku 2023 sme za pomoci týchto informácií o parametroch a vlastnostiach zemín telesa hrádze pristúpili ku tvorbe sérií numerických analýz čoho výsledkom bolo numerické modelovania v programe GEOSTUDIO. Na základe numerického modelovania deformácií metódou konečných prvkov sme na vodnej stavbe stanovili medzné a kritické hodnoty zvislých a vodorovných posunov na geodetických bodoch. Okrem toho bola posúdená aj stabilita vzdušného a návodného svahu hrádze na základe modelovaného napätostného stavu hrádze za pomoci metódy medznej rovnováhy metódou Morgenstern-Price.

Abstrakt: The historical hydraulic structure Dolná Hodrušská was built in the vicinity of Banská Štiavnica in the first half of 18th century as part of unique water management system for local mines. Until recent years, limited information was available about this structure. It wasn't until the period between 2014 and 2020 that the first reliable data regarding the composition of the dam were obtained during its reconstruction and repairs. In 2023, based on the newly available data about parameters and properties of the dam body, a series of numerical analyses was conducted using the finite element method in the GEOSTUDIO software. These analyses aimed to determine the limit and critical threshold values of vertical and horizontal displacements at elevation control points situated on the hydraulic structure. Additionally, the stability of the upstream and downstream slopes of the dam was assessed using the limit equilibrium method, specifically the Morgenstern-Price method, based on the modeled tension state of the dam.

1 ÚVOD

Vodná stavba Dolná Hodrušská je situovaná v chránenej krajinnej oblasti Štiavnické vrchy, v katastrálnom území Hodruša-Hámre v Hodrušskej doline. Táto historická stavba je Národnou kultúrnou pamiatkou, taktiež sa nachádza na Zozname svetového kultúrneho a prírodného dedičstva UNESCO v rámci lokality Banská Štiavnica a technických pamiatok jej okolia. Vodná stavba Dolná Hodrušská hydrologicky spadá do povodia rieky Hron.

1.1 Stručná história vodnej stavby

S výstavbou priehrady sa začalo v roku 1743 pričom na výstavbe denne pracovalo okolo 200 - 250 osôb. V roku 1744, po viac ako 7 mesiacoch prác bola hrádza dokončená s celkovou výškou približne 19,0 m. Z Dolnej Hodrušskej bola voda vypúšťaná na 23 odberov a k šachte Zipser v Hodrušskej doline [7]. Narastajúca spotreba vody mala za následok navýšenie hrádze o 3,0

m, pričom stavebné práce prebehli v roku 1786. Prvá porucha bola na VS zaznamenaná v roku 1812, keď boli obsluhou pozorované trhliny na vzdušnej strane hrádze, ktoré sa postupne zväčšovali. Ďalším problémom bolo presadnutie koruny hrádze, ktoré bolo v roku 1815 sanované dosýpaním a hutnením hlinitého materiálu. V rovnakom čase boli do hrádze nabité tri rady 4,0 m dlhých zašpicatených dubových kolov, ktoré mali zvýšiť stabilitu svahu, respektíve mali zamedziť ďalším svahovým deformáciám. S rozsiahlejšou rekonštrukciou sa začalo v júni 1823. Sypal sa nový vzdušný svah hrádze, ktorý rozšíril samotnú korunu hrádze z pôvodných 3,0 m na 5,0 m, razila sa aj murovaná štôlna dnových výpustov. Druhá rozsiahla rekonštrukcia prebiehala v období august 2013 až október 2015, kedy bola vyrazená nová štôlna dnových výpustov, do ktorej boli osadené dve oceľové potrubia DN 250. Pri budovaní štôlny dnových výpustov došlo k prepadávaniu vzdušného a návodného svahu hrádze v trase budovania štôlny a vzniku kaverien, ktoré boli následne sanované za pomoci cementovej zálievky a banskej hlušiny. Následná overovacia prevádzka však preukázala zásadné filtračné poruchy v telese hrádze, preto sa v roku 2018 pristúpilo k ďalšej sanácii samotného telesa hrádze v okolí novovyrazenej štôlny dnových výpustov. V tejto oblasti bola zrealizovaná dvojradová injekčná tesniaca clona, ktorá nebola vybudovaná v celej projektovanej dĺžke z dôvodu poruchy dnových výpustov (prieniku injekčnej zmesi do potrubí dnových výpustov). V júli 2019 sa pristúpilo k ďalšej rekonštrukcii telesa hrádze a dnových výpustov. V rámci rekonštrukcie bol realizovaný stavebný objekt SO-2 (ďalej aj SO) - utesnenie telesa hrádze vybudovaním podzemnej tesniacej steny a stavebný objekt SO-1 oprava poškodených potrubí dnových výpustov vodnej stavby. Pred uvedeným vodnej stavby do overovacej prevádzky bol vypracovaný Projekt meraní a projekt medzných a kritických hodnôt [5]. Keďže hodnoty deformácií v tomto projekte boli stanovené len orientačne a s platnosťou jedného roka, tak sme v roku 2023 pristúpili k matematickému modelovaniu telesa a podložia hrádze VS Dolná Hodrušská za účelom stanovenia medzných a kritických hodnôt deformácií na geodetických bodoch.

2 MATEMATICKÉ MODELOVANIE TELESA A PODLOŽIA HRÁDZE

Za účelom stanovenia medzných a kritických hodnôt na geodetických bodoch na VS Dolná Hodrušská sme vykonali numerické modelovanie deformácií metódou konečných prvkov (ďalej aj ako MKP) a posúdenie stability vzdušného a návodného svahu hrádze na základe modelovaného napätostného stavu hrádze a metódou medznej rovnováhy metódou Morgenstern-Price.

2.1 Séria vykonaných numerických analýz VS Dolná Hodrušská

V rámci numerického modelovania telesa hrádze vodnej stavby Dolná Hodrušská sme zohľadnili fázovanie výstavby VS. Numerické modelovanie sme vykonali v softvéri GEOSTUDIO v podobe sérií nadväzujúcich numerických analýz metódou konečných prvkov. Ako výpočtový profil sme vybrali priečny profil hrádze v mieste pozorovacích sond PS-12a, PS-14, PS-16 a PS-13a, PS-15, PS-17 na VS Dolná Hodrušská, v údolnej nive, v mieste najväčšej výšky hrádze, kde sme očakávali najväčšie hodnoty sadania. Vzhľadom na nedostatočné historické materiály sme vo výpočte nezohľadnili pôvodný profil a výšku Dolnej Hodrušskej z roku 1744, jej nadvýšenie v rokoch 1786 a 1797 a jej rozsiahlu rekonštrukciu z roku 1823. Vo výpočte je uvažovaný profil hrádze z obdobia 20. storočia, kedy boli na VS vykonané posledné úpravy, najmä vybudovanie priťažovacej lavice na vzdušnej päte hrádze. V numerickom modeli sme skutočný postup sypania zemnej hrádze, ktorý sa na predmetnej historickej VS realizoval vo vrstvách hrúbky pár centimetrov, nahradili 18 vrstvami výstavby. Do modelovania sme zahrnuli aj predpokladanú výšku sedimentov v nádrži, odhadovanú na

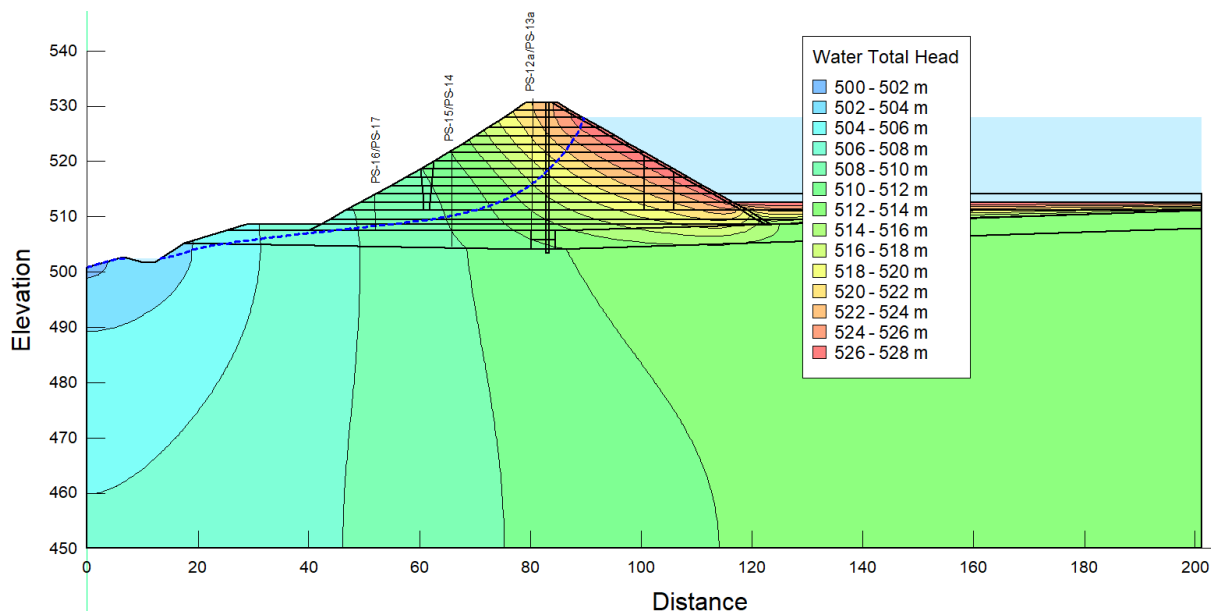
5,50 m (horný povrch sedimentov, ktorý predstavuje súčasné dno nádrže sme uvažovali na kóte cca 514,10 m n. m.). Polohu základovej škáry sme určili na základe výsledkov geologických prieskumov. Ako začiatkové podmienky pre numerické modelovanie sme uvažovali podmienky pred výstavbou priehrady. Na začiatkové podmienky nadväzujú nestacionárne, tzv. „coupled“ analýzy, ktoré predstavujú postupnú výstavbu priehrady po jednotlivých vrstvách, prvé plnenie nádrže (po maximálnu prevádzkovú hladinu, v zmysle Manipulačného poriadku z roku 2016 [3], na kótu 528,00 m n. m.), modelovanie dlhodobej prevádzky VS, modelovanie vypustenia nádrže pred rekonštrukciou v roku 2015, modelovanie sanácie kaverien (prepadávanie vzdušného a návodného svahu hrádze v trase budovania štólne dnových výpustov) za pomoci cementovej zálievky a banskej hlušiny (pričom preferované priesakové cesty, ktoré vznikli pri budovaní novej štólne dnových výpustov neboli do modelu zavádzané), modelovanie opätovného napúšťania nádrže, modelovanie prejazdu injekčnej súpravy po korune hrádze v roku 2019, modelovanie zrealizovanej podzemnej tesniacej steny z koruny hrádze do podlažia, modelovanie súčasného stavu prevádzky VS, modelovanie priťaženia koruny hrádze, napríklad pri prejazde osobného automobilu. Pre materiál telesa hrádze vodnej stavby Dolná Hodrušská sme v predkladanom výpočte použili materiálové vlastnosti v súlade s Tab. 1. Nánosy a PTS sme uvažovali, ako ideálne (lineárne) pružný materiál, pri modelovaní podlažia sme uvažovali s materiálovým modelom „Isotropic-Elastic“ (ideálne pružný, s premenným modulom pružnosti). Ostatné materiály sme uvažovali s materiálovým modulom označeným v použitom softvéri ako „Mohr-Coulumb, Hardening/Softening“.

Tab. 1 Geotechnické parametre zemín telesa a podlažia VS Dolná Hodrušská [1], [2]

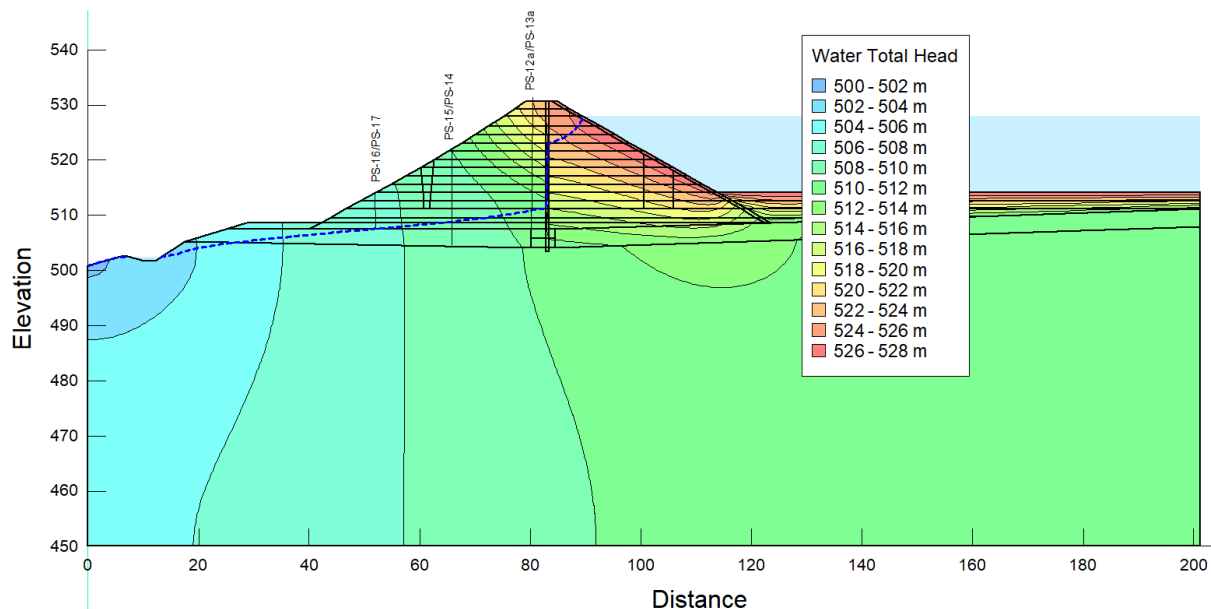
Názov sondy	Umiestnenie	hĺbka	trieda	ϕ_{ef}	cef
		(m)	-	(°)	kPa
PS-12	Koruna hrádze	5,00	CS-F4	24,2	12,2
		11,50	CS-F4	26,7	10,3
		21,00	CS-F4	26,2	10,3
PS-13	Koruna hrádze	6,50	CG-F2	34,0	4,2
		11,50	CS-F4	25,1	9,6
		21,00	CS-F4	25,1	11,7
PS-7	Vzdušný svah	2,00	CS-F4	23,1	16,1
		4,00	CG-F2	30,5	8,9
		6,50	CG-F2	27,5	6,9
		8,50	CS-F4	24,6	11,8
		10,50	CS-F4	21,3	13,4
PS-8	Vzdušný svah	3,50	CS-F4	22,8	11,4
		7,50	CG-F2	31,0	5,1
PS-3	Koruna hrádze	1,00	CS-F4	24,7	11,2
		2,00	CS-F4	27,1	5,0
		4,00	CS-F4	23,1	12,5
		5,00	CS-F4	22,6	9,6
		8,00	CS-F4	25,1	12,5
		10,00	CG-F2	29,2	5,5
		14,00	CG-F2	29,4	4,6
		16,00	CS-F4	23,7	12,9
		17,00	CS-F4	23,6	8,3
		18,00	CS-F4	26,8	14,6
		18,30	CG-F2	28,2	8,4
		18,70	CG-F2	31,6	8,3
Štôlna dnových výpustov		-	CS-F4	22,0	9,2
		-	CS-F4	25,8	8,1

2.2 Vybrané výsledky numerického modelovania

Na nasledujúcich obrázkoch prezentujeme vybrané výsledky (depresnú krivku a izoplochy piezometrických výšok) filtračných analýz vykonaných metódou konečných prvkov pri maximálnej prevádzkovej hladine 528,00 m n. m., a to jednak pre teleso hrádze spred obdobia budovania podzemnej tesniacej steny (Obr. 1) a z obdobia po vybudovaní podzemnej tesniacej steny (ďalej aj PTS) v telese hrádze (Obr. 2) zohľadňujúc profil hrádze z 20. storočia [8].

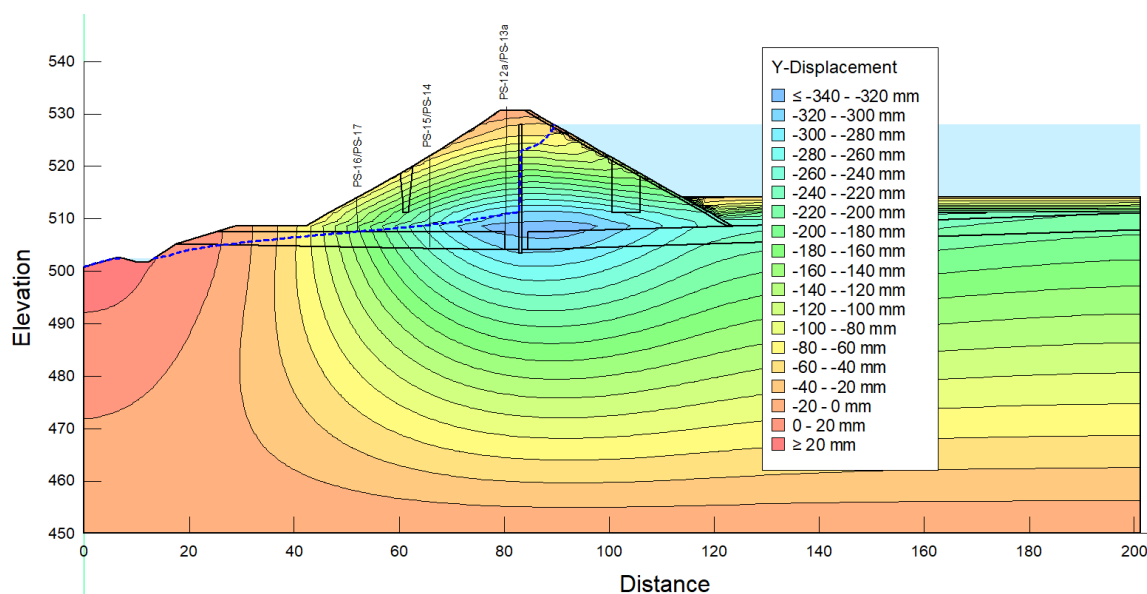


Obr. 1 Výsledky filtračnej analýzy pri max. prevádzkovej hladine pred vybudovaním PTS



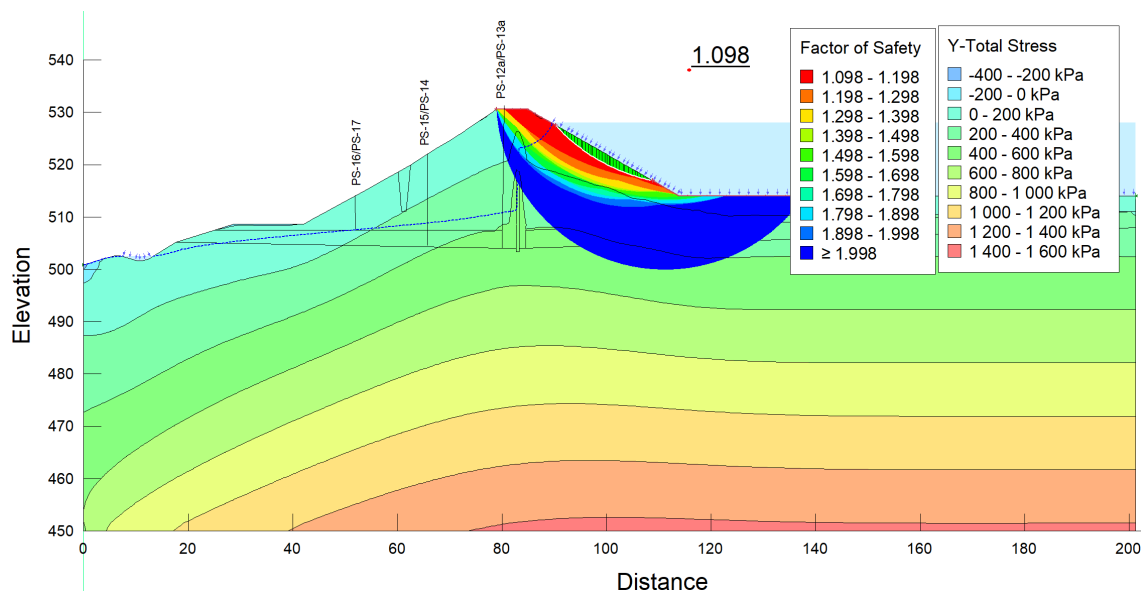
Obr. 2 Výsledky filtračnej analýzy pri max. prevádzkovej hladine po vybudovaní PTS

Ďalej uvádzame výsledky modelovania priebehu sadania na vodnej stavbe Dolná Hodrušská a to sadanie samotného telesa hrádze. Z deformačných výsledkov a analýz boli určené medzné a kritické hodnoty zvislých a vodorovných posunov na geodetických bodoch umiestených na telese hrádze VS Dolná Hodrušská (Obr. 3) [8]. Stupne stability voči ušmyknutiu svahov hrádze pri plnej nádrži sme získali na základe napätostného stavu hrádze a pre porovnanie takisto metódou medznej rovnováhy Morgenstern-Price.



Obr. 3 Izoplochy zvislých deformácií – prevádzka VS Dolná Hodrušská po vybudovaní PTS v telese hrádze pri zohľadnení priťaženia koruny bežnou dopravou

Stupeň bezpečnosti vzdušného svahu (obe použité metódy) má hodnotu $FoS_{min} = cca 1,45$, čo je menej ako normou stanovená minimálna hodnota stupňa stability svahu $m = 1,50$ (Obr. 4). Môžeme však konštatovať, že sa jedná o historickú priehradu s dlhodobou prevádzkou, ktorej výstavba nepodliehala súčasným normovým požiadavkám. Vzhľadom na tento fakt a dlhodobú bezpečnú prevádzku, v súčasnosti nepovažujeme vzdušný svah hrádze VS Dolná Hodrušská za nestabilný a ohrozujúci bezpečnosť vodnej stavby.



Obr. 4 Stabilita návodného svahu (na základe napätostného stavu telesa hrádze) pri plnej nádrži ($FoS_{min} = 1,098$)

Minimálny stupeň stability návodného svahu získaný metódou medznej rovnováhy dosahuje hodnotu $FoS_{min} = 2,548$, ktorá bezpečne spĺňa normové požiadavky ($m = 1,5$). Avšak minimálny stupeň bezpečnosti návodného svahu vychádzajúci na základe zohľadnenia modelovaného napätostného stavu telesa hrádze predstavuje hodnotu $FoS_{min} = 1,098$ (vid'. Obr.

4), čo je menej ako normou stanovená minimálna hodnota stability svahu $m = 1,10$ udávaná pre mimoriadny zaťažovací stav seizmicity. Môžeme však konštatovať, že alarmujúco nízky stupeň bezpečnosti návodného svahu, získaný zohľadnením napätostného svahu hrádze, platí len pre povrchové, relatívne plytké šmykové plochy (čo môže naznačovať napr. tzv. stečenie povrchových vrstiev, ktoré sú však v skutočnosti stabilizované betónovými dlaždicami, resp. kamennou nahádzkou). Na základe dlhodobej prevádzky VS Dolná Hodrušská a na základe doterajších výsledkov zvislých posunov pozorovaných geodetických bodoch na návodnom svahu hodnotíme návodný svah ako stabilný, avšak je potrebné v budúcnosti venovať zvýšenú pozornosť deformáciám návodného svahu hrádze Dolná Hodrušská [8].

3 ZÁVER

Medzné hodnoty zvislých a vodorovných posunov geodetických bodov umiestnených na telese hrádze sme určili ako maximálnu vertikálnu deformáciu koruny, resp. telesa hrádze, ktorú sme určili na základe deformačných výpočtov a na základe vyhodnotenia meraní zvislých a vodorovných posunov na geodetických bodoch. Medzné a kritické hodnoty posunov geodetických bodov sme určili od základného merania, a na obdobie sledovania - 10 rokov.

ZOZNAM LITERATÚRY

- [1] Masarovičová, M., Slávik, I.(2015): *Experimentálny výskum geotechnických aspektov VS Dolná Hodrušská, STU, Stavebná fakulta, katedra Geotechniky, Bratislava, 41 str.*
- [2] Masarovičová, M., Slávik, I.(2015): *Doplnenie experimentálneho výskumu geotechnických aspektov VS Dolná Hodrušská, Bratislava, 51 str.*
- [3] Babečka, J., et al.: (2016): *Manipulačný poriadok pre vodnú stavbu Dolná Hodrušská na Hodrušskom potoku r. km 10,400, Hydroconsulting, s.r.o., Bratislava, 41 str.*
- [4] Babečka, J., et al.: (2020): *Vodná stavba Dolná Hodrušská. Projekt meraní a projekt medzných a kritických hodnôt, Hydroconsulting, s. r. o., Bratislava, 39 str.*
- [5] Babečka, J., et al.: (2020): *Vodná stavba Dolná Hodrušská. Projekt meraní a projekt medzných a kritických hodnôt, Hydroconsulting, s. r. o., Bratislava, 39 str.*
- [6] Kasana, A., Červeň M.: (2021): *SES VS Dolná Hodrušská za obdobie overovacej prevádzky do roku 2021, VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA ŠTÁTNY PODNIK, Bratislava, 151 str.*
- [7] Červeň M.: (2021): *Banskoštiavnická vodohospodárska sústava, OZ Štiavnický tajch, Banská Štiavnica, 2021, ISBN: 978-80-974021-0-5, 301 str.*
- [8] Mészáros T., Červeň M.: (2023): *VS Dolná Hodrušská, stanovenie MH a KH, VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA ŠTÁTNY PODNIK, Bratislava, 58 str.*

AUTORI

Autor 1: Ing. Tibor Mészáros, PhD., Nobelova 7 Bratislava, Vodohospodárska výstavba, š. p., Slovensko tibor.meszaros@vzb.sk

Autor 2: Ing. Peter Gužík, Višňovského 4, Banská Štiavnica, Vodohospodárska výstavba, š. p., Slovensko peter.guzik@vzb.sk

Autor 3: Ing. Michal Červeň, Višňovského 4, Banská Štiavnica, Vodohospodárska výstavba, š. p., Slovensko michal.cerven@vzb.sk

POSÚDENIE BEZPEČNOSTI VS HRIŇOVÁ POČAS EXTRÉMNEHO POVODŇOVÉHO ZAŤAŽENIA

EVALUATION OF HRIŇOVÁ WATER STRUCTURE SAFETY DURING EXTREME FLOOD LOAD

Filip Brindza¹, Martin Bakes², Jakub Mydla³

Abstrakt: V predkladanom príspevku je pozornosť venovaná bezpečnosti vodnej stavby VN Hriňová v zmysle Metodického pokynu Ministerstva životného prostredia Slovenskej republiky k posudzovaniu priehrad a odkalísk počas extrémneho povodňového zaťaženia. Posúdenie bezpečnosti je realizované na základe analýzy filtračného prúdenia, výpočtu stability svahov hrádze vodnej stavby a riešením úlohy transformácie kontrolnej povodňovej vlny retenčným priestorom nádrže. Filtračný a stabilitný výpočet bol riešený pomocou programu GeoStudio vo vybranom údolnom priečnom profile, pre extrémne zaťaženie na úrovni kritickej hladiny vody v nádrži. Riešenie transformácie povodňovej vlny pre účely stanovenia medznej hladiny bolo uvažované v niekoľkých alternatívach len s využitím bezpečnostného prípadu, pri počiatkovej maximálnej prevádzkovej hladine v nádrži. Hydraulický výpočet bol riešený prostredníctvom programu HEC-RAS. Posúdenie bezpečnosti spočíva v porovnaní stanovenej kritickej hladiny a vypočítanej medznej hladiny, pri zohľadnení výšky vetrovej vlny, odporúčanej manipulácie a vybraných prevádzkových faktorov.

Abstrakt: The main topic of the contribution is the evaluation of Hriňová dam safety during the extreme flood load according to the Methodical guideline of the Ministry of Environment of the Slovak Republic. The safety assessment is based on the seepage, slope stability and flood transformation effect of reservoir retention space analyses. The stability and filtration analysis are performed in GeoStudio on the selected cross section for extreme flood load at critical water level in reservoir. The transformation of the flood wave for the intention of determining the limit level was considered in several alternatives, only with the use of an emergency spillway, at the initial, maximum operating water level in the reservoir. The task of transformation was solved using the HEC-RAS software. The safety assessment consists of a comparison of the determined critical level and the calculated limit level, considering the height of the wind wave, recommended manipulating and selected operating factors.

1 ÚVOD

Predkladaný príspevok posúdenia bezpečnosti VS počas povodňového zaťaženia je vypracovaný v zmysle Metodického pokynu generálneho riaditeľa sekcie vôd Ministerstva životného prostredia Slovenskej republiky k posudzovaniu bezpečnosti priehrad a odkalísk počas povodňového zaťaženia v rámci technicko-bezpečnostného dohľadu č. 5/2020-4 zo dňa 18.11.2020. V posudku sa hodnotí bezpečnosť hrádze, jej podložia a funkčných objektov pri maximálnom zaťažení vyvolanom prechodom kontrolnej povodňovej vlny (ďalej len KPV). Pre posúdenie sú preto nevyhnutné poznatky o technickom stave vodnej stavby a tieto sa v posudku zohľadňujú pri stanovení predpokladov a podmienok pre prepúšťanie povodňových prietokov. Výsledkom posúdenia je vzťah medzi úrovňou kritickej hladiny (ďalej len ÚKH) a medznej hladiny (ďalej len ÚMH) a odporúčané nápravné, prípadne núdzové opatrenia.

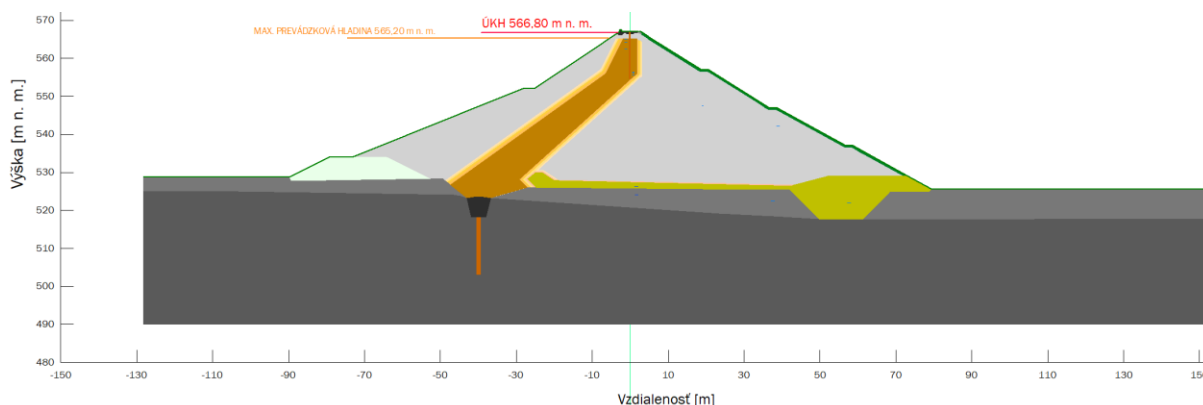
2 ÚROVEŇ KRITICKEJ HLADINY V NÁDRŽI PRE VS VN HRIŇOVÁ

Úroveň kritickej hladiny sa stanovuje v zmysle Metodického pokynu MŽP, pre konkrétny typ a konštrukčné riešenie vodnej stavby ako najvyššia hladina v nádrži, pri ktorej prekročení nastáva bezprostredné nebezpečenstvo poruchy alebo havárie vodnej stavby.

Počiatočná úroveň kritickej hladiny sa určuje podľa konštrukčného riešenia hrádze, spôsobu tesnenia a konkrétnych podmienok založenia hrádze, u existujúcich vodných stavieb taktiež podľa skúseností s doterajšou prevádzkou a na základe výkonu technicko-bezpečnostného dohľadu pre vybranú pravdepodobnú príčinu pretrhnutia hrádze počas povodňového zaťaženia. Následne sa ÚKH zníži o prevýšenie koruny hrádze v dôsledku výbehu vln od vetra. Výpočtom stanovenú výšku výbehu je možné zredukovať s prihliadnutím na odolnosť koruny a vzdušného svahu, dobu trvania extrémnej hladiny v nádrži a pravdepodobnosť súčasného výskytu nepriaznivých javov.

Výpočet vetrovej vlny je realizovaný na základe STN 75 0255 [3] v zmysle stanovenia úrovne kritickej hladiny podľa Metodického pokynu MŽP. V zmysle realizovaných výpočtov bola stanovená výška výbehu vetrovej vlny pre VS VN Hriňová s hodnotou $h_v = 1,130$ m.

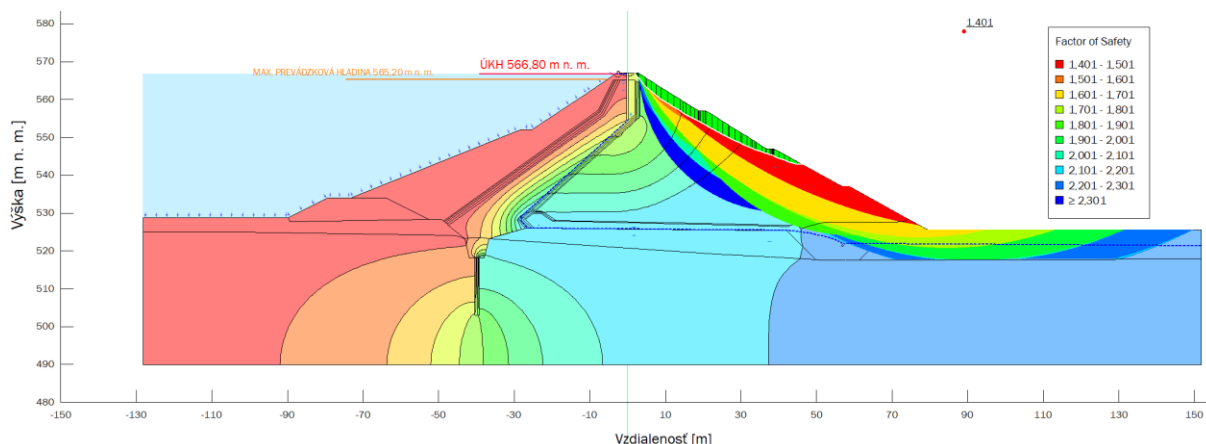
Priehrada bola realizovaná ako heterogénna zemno-kamenitá sypaná so zalomeným tesniacim jadrom. V rokoch 1988 – 1992 boli realizované sanačné práce v podobe injekčných vrtov vo vzdušnom filtri a podzemnej tesniacej steny v tesniacom jadre z koruny hrádze. Na základe konštrukčného riešenia hrádze (materiál hrádze je tvorený rockfillom) sa pripúšťa krátkodobé prelievanie hrádze, no v prospech bezpečnosti a vzhľadom ku náročnosti zafinovania prípustnej miery prelievania (výška lúča a čas) nebolo pri stanovení ÚKH s prelievaním uvažované. Počiatočná úroveň pre kritickú hladinu je totožná s aktuálnou kótou koruny PTS (pri predpoklade rovnomerného sadania koruny hrádze a koruny PTS) vo výške 566,90 m n. m. Na základe predpokladu stále prebiehajúcich deformácií hrádze, bola stanovená ÚKH s uvážením zníženia počiatočnej úrovne o $\Delta = 0,1$ m. Konečná hodnota ÚKH bola stanovená na kóte 566,80 m n. m., pričom platí: $ÚKH + h_v \leq$ najnižšia kóta koruny vlnolamu (568,03 m n. m.).



Obr. 1 Výpočtový priečný profil VS VN Hriňová

Modelovanie filtračného prúdenia a nadväzujúci stabilitný výpočet, v rámci geotechnického posúdenia sú realizované pomocou programu GeoStudio. Do geotechnického posúdenia bol vybraný výpočtový profil (Obr. 1), odvodený zo vzorového priečného profilu hrádze, ktorý zodpovedá priečnemu profilu hrádze v údolnom profile (v mieste najväčšej výšky hrádze). Sieť konečných prvkov pre filtračný výpočet pozostáva z trojuholníkových a štvoruholníkových prvkov rôznych rozmerov (zahustenia) podľa záujmových oblastí výpočtu. Počet konečných prvkov je 11 370 s 11 199 uzlami. V rámci numerického modelu sme za okrajovú podmienku reprezentujúcu hladinu v nádrži zadali stacionárnu Dirichletovu - na návodnej strane s hodnotou ÚKH (566,80 m n. m.), pričom na vzdušnej strane bola s hodnotou 520,17 m n. m. (vo vzdialenosti cca 70 m od vzdušnej päty) simulovaná úroveň hladiny v údolnej nive čo

odpovedá úrovni HPV nameranej pri pravidelných meraniach v pozorovacích sondách situovaných v predpolí hrádze. Stabilitný výpočet bol realizovaný prúžkovou metódou Morgenstern-Price, pričom bol posúdený návodný aj vzdušný svah. Parametre materiálov vstupujúcich do výpočtu sú uvedené v tab. 1 a výsledok filtračného prúdenia, spolu s izoplochami stupňa bezpečnosti je na Obr. 2



Obr. 2 Izoplochy stupňa stability vzdušného svahu ($F_s = 1,401 > 1,1$)

Tab. 1 Materiály a materiálové vlastnosti použité vo výpočtoch VS VN Hriňová

Farba	Názov	Materiálový model SEEP/W	Materiálový model SLOPE/W	γ	ϕ_{ef}	c_{ef}	$K_{f,sat}$
				[kN/m ³]	[°]	[kPa]	[m.s ⁻¹]
	Aluviálne náplavy	Sat./Unsat.	Mohr-Coulomb	19	32	4	5.00E-05
	Skalné podložie zdravé	Sat./Unsat.	Bedrock (Impenetrable)	-	-	-	6.90E-07
	Tesniace jadro	Sat./Unsat.	Mohr-Coulomb	21.5	20	16	8.00E-08
	Filter 1 (v styku s tesn. jadrom)	Sat./Unsat.	Mohr-Coulomb	21	28	1	8.00E-07
	Filter 2	Sat./Unsat.	Mohr-Coulomb	21	32	0	1.00E-06
	Filter 3	Sat./Unsat.	Mohr-Coulomb	21	34	0	1.00E-04
	Filter 4	Sat./Unsat.	Mohr-Coulomb	21	35	0	5.00E-04
	Stabilizačná časť	Sat./Unsat.	Bilinear	23	$\phi_1 = 37^\circ$ $\phi_2 = 45^\circ$ Nor. stress = 200 kPa	0	5.00E-04
	Predhrádzka	Sat./Unsat.	Mohr-Coulomb	19	32	2	5.00E-05
	Pokryv (humusovitého charakteru)	Sat./Unsat.	Mohr-Coulomb	21	25	5	1.00E-06
	Betón	Sat./Unsat.	Bedrock (Impenetrable)	-	-	-	1.00E-11
	Injekčná clona/PTS	Sat./Unsat.	Mohr-Coulomb	13.6	0	200	1.00E-09
	Drenáž	Sat./Unsat.	Mohr-Coulomb	20	33	0	1.00E-03

Z uvedeného geotechnického posúdenia vyplýva, že VS, resp. konštrukcia hrádze VS počas mimoriadneho zaťažovacieho stavu v podobe hladiny vody v nádrži na kóte ÚKH, vyhovuje kritériám stanoveným v Metodickom pokyne MŽP, t. j. stupeň stability je $\geq 1,1$.

Je vhodné poznamenať, že kritické šmykové plochy sú kumulované do oblasti v blízkosti povrchu hrádze. Na vzdušnej strane je to najmä v oblasti medzi druhou a tretou lavičkou, kde je sklon svahu strmší (1:1,6) ako v nižších polohách (1:1,8). Na návodnej strane je ich kumulácia tak isto v oblasti vyššieho sklonu svahu (1:1,5). Platí, že kritické šmykové plochy sú plytké, pričom zasahujú do hĺbky cca 3 m (vzdušný svah), resp. 5 m (návodný svah). Naopak, prešetrované šmykové plochy, ktoré siahajú do veľkej hĺbky vykazujú výrazne vyšší stupeň stability ($F_s > 2,0$).

3 STANOVENIE ÚROVNE MEDZNEJ HLADINY

Úroveň medznej hladiny predstavuje maximálnu hladinu vody v nádrži, ktorá je dosiahnutá pri prevedení kontrolnej povodňovej vlny cez vodnú stavbu.

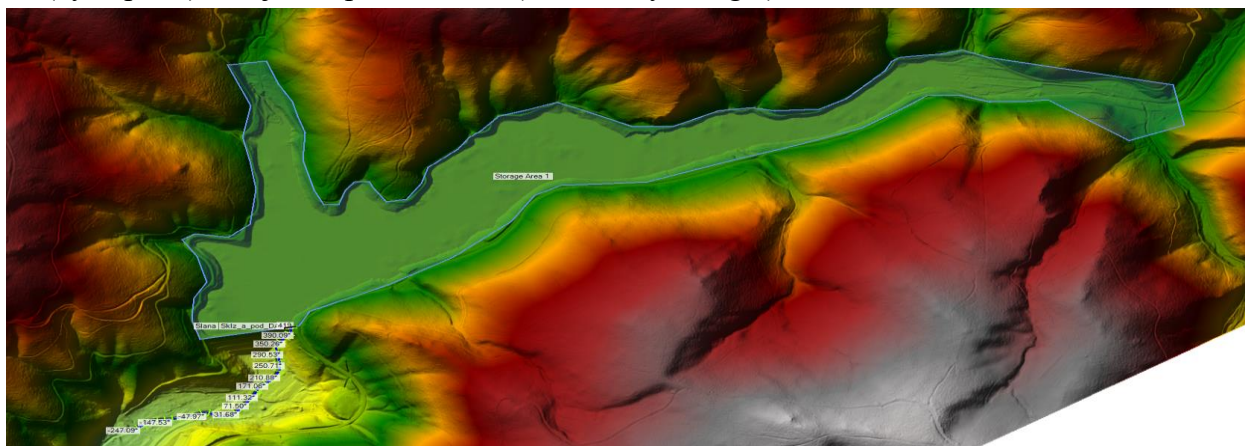
ÚMH sa stanovuje riešením úlohy transformácie KPV retenčným priestorom nádrže. V prípade viacerých variantov návrhových vln sa posudzujú všetky a ÚMH je určená z najnepriaznivejšieho priebehu ich sploštenia. Ak sa retencia KPV neuplatní alebo je nevýznamná, ÚMH je určená na základe súhrnnej mernej krivky bezpečnostných a výpustných zariadení, odčítaním pre príslušný kulminačný prietok.

Vodná stavba VN Hriňová je zaradená do I. kategórie a využitím retenčného priestoru (výška retenčného priestoru je v rozmedzí úrovni 565,20 a 565,40 m n. m., t.j. 0,20 m; objem retenčného priestoru podľa aktualizácie [5] v roku 2015, je 95 206 m³) nádrže plní aj protipovodňovú funkciu, teda ÚMH je nutné stanoviť na základe transformácie KPV. Je nutné poznamenať, že nami uvažovaná povodňová vlna [1] nespĺňa požiadavky KPV pre účely stanovenia ÚMH podľa Metodického pokynu MŽP. Vzhľadom na účel posúdenia - stanovenie maximálnej hladiny v nádrži VS VN Hriňová vo vzťahu ku bezpečnosti vodnej stavby počas povodňového zaťaženia - nebol pri riešení transformácie zohľadnený neškodný odtok pod vodnou stavbou.

Riešenie transformácie kontrolnej povodňovej vlny pre účel stanovenia úrovne medznej hladiny bolo uvažované v dvoch alternatívach, v ktorých je dnový výpusť mimo prevádzky (v zmysle STN 73 6814) a súčasne je realizovaná manipulácia klapkou na bezpečnostnom priepade. Sklopenie klapky je uvažované v alternatíve č. 1 - 2,5 m (úplné sklopenie) a alternatíve č. 2 – sklopenie o 1,5 m zo vztýčenej polohy. Transformácia návrhovej povodňovej vlny nastáva v týchto prípadoch prevedením cez vodnú stavbu len s využitím bezpečnostného priepadu, pričom počiatkový stav hladiny v nádrži je vo výpočtoch uvažovaný na úrovni maximálnej prevádzkovej hladiny - 565,20 m n. m.

Výpočty boli riešené prostredníctvom programu HEC-RAS ako neustálené prúdenie v jednodimenzionálnom prostredí (ukážka schematického zobrazenia geometrie je na Obr. 3), kde hlavnými vstupnými údajmi sú:

- 1 hydrogram návrhovej povodňovej vlny ($Q_p = f(t)$) - v modeli figuruje ako horná (vstupná) okrajová podmienka,
- 2 čiara objemov nádrže (kombinácia vstupných podkladov z digitálneho modelu reliéfu (DMR) Slovenskej republiky (Zdroj produktov LLS: ÚGKK SR, [4]) a objemu nádrže na základe zamerania priečných profilov VÚVH [5]),
- 3 rozmery klapky (svetlá výška a šírka klapky, výškové umiestnenie [2]),
- 4 fiktívne koryto pod priehradou, ktoré nahrádza sklz za bezpečnostným priepadom s dolnou (výstupnou) okrajovou podmienkou (sklon čiary energie).



Obr. 3 Schéma situácie nádrže v softvéri HEC-RAS

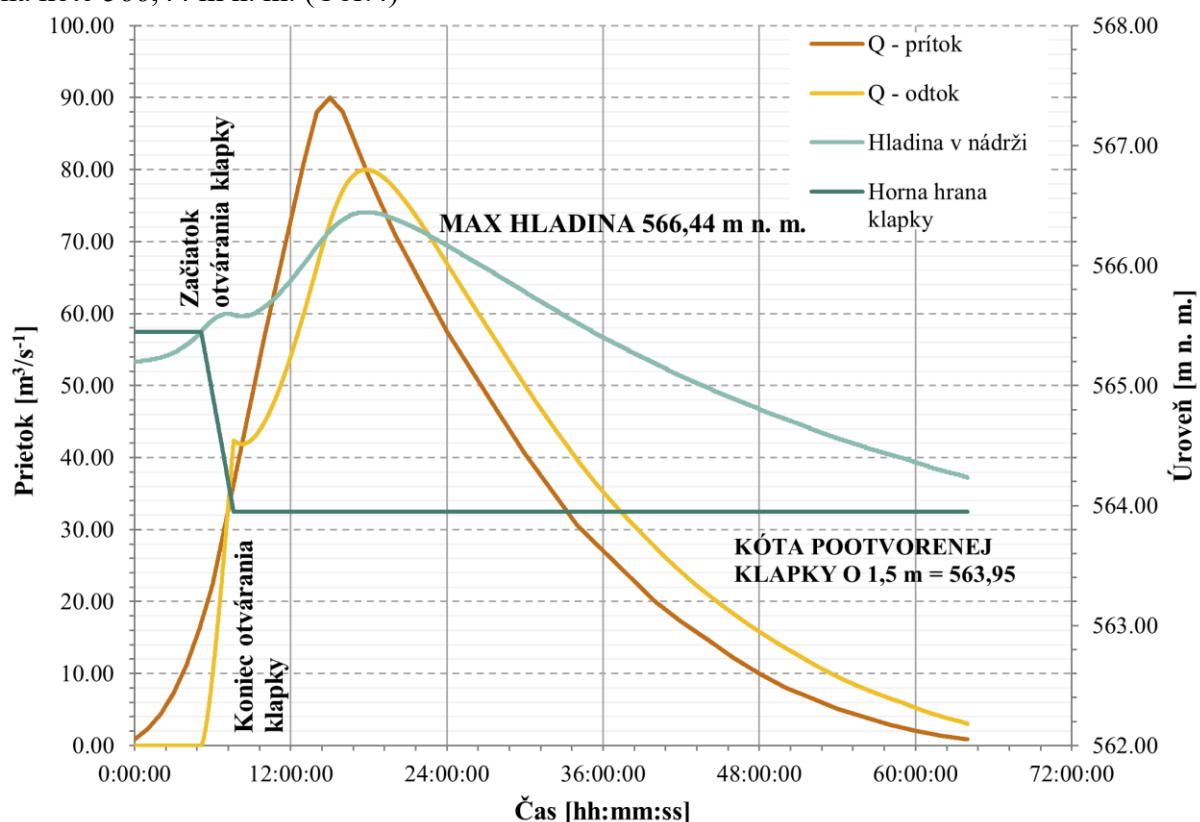
Klapka bola modelovaná, ako haťový uzáver, ktorý je otváraný/zatváraný na základe polohy hornej hladiny s konštantným časom otvárania/zatvárania. Koryto pod haťovým uzáverom bolo modelované ako fiktívne (kvôli dodržaniu maximálneho pozdĺžneho sklonu (10%), ktorý je limitný pre priamy jednodimenzionálny výpočet prúdenia v programovom prostredí HEC-RAS. Takéto zjednodušenie geometrie, však nemá vplyv na výpočet sploštenia povodňového prietoku, či hladinového režimu v nádrži.

Z dosiahnutých výsledkov pre jednotlivé scenáre vyplýva, že pre zabezpečenie bezpečného prevedenia prítoku do nádrže na úrovni Q_{1000} je potrebné, aby bola pri manipulácii sklopená klapka po dosiahnutí hladiny 565,45 m n. m. v nádrži, minimálne o 1,5 m (Tab.2). V prípade využitia kapacity dnového výpustu na transformáciu návrhovej povodňovej vlny bude hladina v nádrži kulminovať na nižšej úrovni, avšak pri vyšších odtokoch, čo môže nepriaznivo ovplyvniť povodňovú situáciu v území pod vodnou stavbou.

Tab. 2 Prehľad výsledkov výpočtu transformácie povodňovej vlny v nádrži VS VN Hriňová

	Alternatíva č.1 – úplné sklopenie klapky		Alternatíva č.2 – sklopenie klapky o 1,5 m	
Char. pov. vlny	1000 – ročný max. prietok	$Q_{1000} = 90 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	1000 – ročný max. prietok	$Q_{1000} = 90 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
	Objem prietokovej vlny	$W_{PV1000} = 7,3 \text{ mil. m}^3$	Objem prietokovej vlny	$W_{PV1000} = 7,3 \text{ mil. m}^3$
	čas stúpania	$t_{st} = 15:00 \text{ h}$	čas stúpania	$t_{st} = 15:00 \text{ h}$
Sploštenie vlny	max. odtok	$Q_{max} = 98,55 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	max. transformovaný odtok	$Q_{max} = 79,98 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
	max hladina v nádrži	565,93 m n. m.	max hladina v nádrži	566,44 m n. m.
	čas kulminácie	$t_{kulm} = 10:47 \text{ h}$	čas kulminácie	$t_{kulm} = 17:50 \text{ h}$
	čas retardácie	$t_{st} > t_{kulm} \Rightarrow t_{ret} < 0$	čas retardácie	$t_{ret} = 2:50 \text{ h}$

Na základe realizovaných výpočtov bola pre stanovenie ÚMH použitá alternatíva č. 2 (v dôsledku dosiahnutia vyššej hladiny v nádrži), a preto bola stanovená úroveň medznej hladiny na kóte 566,44 m n. m. (Obr.4)



Obr. 4 Priebeh hladiny vody v nádrži, prítoku do nádrže, odtoku z nádrže a priebehu manipulácie klapkou pri alternatíve č. 2

5 ZÁVEREČNÉ ZHODNOTENIE

V predkladanom príspevku sme úroveň kritickej hladiny (ÚKH), pri prekročení ktorej bezprostredne hrozí nebezpečenstvo poruchy alebo havárie, určili pre VS VN Hriňová na kóte 566,80 m n. m. Následne sme v rámci geotechnického posudku, určili stupeň bezpečnosti priehrady VS VN Hriňová pri hladine vody v nádrži na kóte ÚKH. Z uvedeného geotechnického posúdenia vyplýva, že VS, resp. konštrukcia hrádze VS počas mimoriadneho zaťažovacieho stavu v podobe hladiny vody v nádrži na kóte ÚKH, vyhovuje kritériám stanoveným v Metodickom pokyne MŽP, t. j. stupeň stability návodného a vzdušného svahu je $\geq 1,1$ (F_s , vzdušný = 1,401, F_s , návodný = 1,527). Následne bola pomocou transformácie uvažovanej kontrolnej povodňovej vlny (Q_{1000} stanovená SHMÚ) v softvéri HEC-RAS určená úroveň medznej hladiny (ÚMH) v nádrži VS VN Hriňová na kóte 566,44 m n. m. Uvedená hodnota zodpovedá výsledku z výpočtu druhej alternatívy, kedy počiatočná hladina v nádrži bola uvažovaná na kóte 565,20 m n. m. a pre zaistenie bezpečnosti vodnej stavby bola manipulácia s hladinou v nádrži pri náhlom výskyte mimoriadnej situácie – povodňovej vlny Q_{1000} možná iba s využitím kapacity bezpečnostného priepadu (klapka je sklopená o 1,5 m), bez možnosti využitia dnového výpustu. Pre zvolený variant, v kombinácii s povodňovým zaťažením, vodná stavba vyhovuje požiadavkám Metodického pokynu MŽP.

POĎAKOVANIE

Príspevok bol vypracovaný podľa metodiky vypracovanej v rámci projektu APVV-19-383 „Prírodné a technické opatrenia zamerané na retenciu vody v podhorských povodiach Slovenska“.

ZOZNAM LITERATÚRY

- 1 SLOVENSKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV: *Hydrologické údaje pre tok Slatina. Banská Bystrica, 08/2023.*
- 2 SLOVENSKÝ VODOHOSPODÁRSKY PODNIK, š. p.: *Manipulačný poriadok pre VS VN Hriňová, SVP, š. p., OZ Banská Bystrica, OVHRD, 2020. 48 s.*
- 3 STN 75 0255: *Výpočet účinků vln na stavby na vodních nádržích a zdržích. Február 1987.*
- 4 ÚRAD GEODÉZIE, KARTOGRAFIE A KATASTRA SR: *Mapový klient ZBGIS - Digitálny model reliéfu 5.0 územia Slovenskej republiky. Dostupné na: <https://zbgis.skgeodesy.sk/mkzbgis/sk/teren>*
- 5 *Vyhodnotenie procesu zanášania vodnej nádrže Hriňová na základe zamerania priečných profilov, Príloha č.1 – zamerané priečné profily 1996, 2015, Výskumný ústav vodného hospodárstva Bratislava, Oddelenie hydrológie a riečnej morfológie.*

AUTORI

Autor 1: Ing. Filip Brindza, VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA, š.p., Karloveská 2, P.O. BOX 45, 841 04 Bratislava, Slovenská republika, filip.brindza@vzb.sk

Autor 2: Ing. Martin Bakeš, PhD., VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA, š.p., Karloveská 2, P.O. BOX 45, 841 04 Bratislava, Slovenská republika, martin.bakes@vzb.sk

Autor 3: Ing. Jakub Mydla, PhD., VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA, š.p., Karloveská 2, P.O. BOX 45, 841 04 Bratislava, Slovenská republika jakub.mydla@vzb.sk

POSÚDENIE BEZPEČNOSTI VS POČAS EXTRÉMNEHO POVODŇOVÉHO ZAŤAŽENIA

SAFETY ASSESMENT OF HYDRAULIC STRUCTURES DURING EXTREME FLOOD LOADING

Tibor Mészáros¹, Adam Filo², Ján Hakáč³, Martin Kvetko⁴

Abstrakt: Problematika povodňovej bezpečnosti je neodmysliteľnou súčasťou priehradného staviteľstva od jeho vzniku. Účelu priehrad chrániť ľudské životy a majetky sa preto vždy kládol vysoký dôraz. V súčasnosti sa posudzovanie povodňovej bezpečnosti v podmienkach SR viaže najmä na Metodický pokyn Ministerstva životného prostredia SR k posudzovaniu priehrad a odkalísk počas extrémneho povodňového zaťaženia. V uvedenom článku by sme chceli upriamiť pozornosť najmä na doterajšie skúsenosti a postrehy s posudzovaním povodňovej bezpečnosti vodných stavieb v podmienkach SR. Pri riešení posudkov povodňovej bezpečnosti vyvstávajú viaceré otázky a problémy, ktoré si zaslúžia pozornosť. Napríklad nedostatočná spoľahlivosť a kapacita hradiacich uzáverov a ďalších výpustných zariadení, miera akceptácie nepresností prípadne až absencie vstupných podkladov a v neposlednom rade nešpecifikovaný rozsah geotechnického prípadne statického posudku. Uvedené faktory výrazne vplývajú na výsledný posudok, preto je potrebné sa im venovať s cieľom zlepšiť kvalitu a spoľahlivosť výstupov.

Abstrakt: The issue of flood safety has been an integral part of dam engineering since its inception. Ensuring the safety of dams to protect human lives and property has always been of paramount importance. Currently, the assessment of flood safety in Slovak conditions is mainly governed by the Methodological Guideline of the Ministry of Environment of the Slovak Republic for the assessment of dams and tailings dams during extreme flood conditions. In this article, we would like to draw attention primarily to the experiences and observations regarding the assessment of flood safety of hydraulic structures in Slovak conditions. Several questions and issues arise in addressing flood safety assessments that deserve attention. For example, inadequate reliability and capacity of dam closures and other discharge facilities, the level of acceptance of inaccuracies or even the absence of input data, and lastly, the unspecified scope of geotechnical or structural assessments. These factors significantly influence the final assessment, and it is necessary to address them in order to improve the quality and reliability of the outcomes.

1 ÚVOD

Posudzovanie povodňovej bezpečnosti vodných stavieb (ďalej v texte aj ako VS) je v dnešných reáliách neodmysliteľnou súčasťou technicko-bezpečnostného dohľadu (ďalej v texte aj ako TBD), ktorého vypracovanie (v podmienkach SR) sa od dňa 18.11.2020 riadi Metodickým pokynom Ministerstva životného prostredia SR k posudzovaniu priehrad a odkalísk počas extrémneho povodňového zaťaženia (ďalej v texte aj ako Metodický pokyn MŽP) [1]. Pilotnými projektami posúdenia povodňovej bezpečnosti priehrad na základe spomínaného Metodického pokynu MŽP bola sústava vodných diel Orava a Tvrdošín a vodné stavby Bukovec a Klenovec. Následne boli na základe úspešne vypracovaných pilotných posudkov vypracované posudky VS Veľká Domaša, Hriňová, Rozgrund, Hričov, Môt'ová a Nová Bystrica. V predkladanom článku je venovaná pozornosť skúsenostiam s vypracovávaním posudkov povodňovej bezpečnosti VS na území SR z hľadiska vstupných údajov a podkladov, uvažovaných zaťažovacích stavov, podrobnosti posúdenia mechanickej odolnosti a celkovej stability VS a z hľadiska uvažovaných predpokladov pre riešenie úlohy sploštenia povodňovej vlny.

Metodický pokyn MŽP uvažuje aj posudzovaním povodňovej bezpečnosti na odkaliskách, avšak v praxi predmetná metodika ešte aplikovaná nebola.

2 VSTUPNÉ ÚDAJE A PODKLADY

Vstupné údaje a podklady potrebné k posúdeniu povodňovej bezpečnosti vodných stavieb je možné rozčleniť do 6 skupín uvádzaných nižšie:

1. **hydrologické a klimatické podklady** (najmä kontrolná povodňová vlna - KPV, ďalej N-ročné prietoky, zrážky, rýchlosť a smer prevládajúceho vetra a teplota ovzdušia),
2. **hydrotechnické podklady** (merné krivky jednotlivých výpustných zariadení, príp. odpadového koryta a čiara zatopených objemov),
3. **výkresová dokumentácia** (mapové podklady, situácie, priečne profily, pozdĺžny profil, pôdorysy, atď.),
4. **inžiniersko-geologická skladba podložia a fyzikálno-mechanické vlastnosti materiálov telesa a podložia hrádze,**
5. **podklady z prevádzky VS** (manipulačný poriadok, prevádzkový poriadok, záznam z hodnotenia stavu technologických zariadení, databáza nameraných údajov, etapové a súhrnné etapové správy, atď.),
6. **iné** (geofyzikálne merania, Projekty stanovenia medzných a kritických hodnôt, stavebný denník, atď.).

Dostupnosť vyššie uvedených vstupných údajov a podkladov, resp. miera akceptácie nepresnosti alebo absencia ich aktualizácie má kľúčový vplyv na realizovateľnosť posudku, resp. na výpovednú hodnotu výsledného hodnotenia bezpečnosti posudzovanej vodnej stavby. Nižšie v texte uvádzame najčastejšie a najzávažnejšie nedostatky vstupných údajov a podkladov (s prípadným návrhom riešenia), ktoré sa pri doterajšej praxi vypracovávaní posudkov povodňovej bezpečnosti objavili:

1. Absencia KPV spĺňajúcich kvalitatívne požiadavky v zmysle Metodického pokynu MŽP, t. j. KPV s kulmináčnym prietokom so zvolenou pravdepodobnosťou prekročenia, prislúchajúcim objemom a časovým priebehom s prislúchajúcou pravdepodobnosťou, pričom KPV je potrebné určiť variantným spôsobom (povodňové vlny určené v zmysle OTN ŽP 3112-1:03 [2] nespĺňajú uvedené požiadavky). Navrhované riešenie: vypracovanie jednotného metodického postupu na určenie KPV.
2. Nepresnosť dostupných merných kriviek výpustných a bezpečnostných zariadení VS. Vplyvom rozdielov projekt – skutočné vyhotovenie, absencie hydrotechnického výskumu v projektovej fáze alebo rôznych zmien počas prevádzky vodného diela veľmi často dochádza k zmenám v kapacitách objektov alebo až k úplnej absencii merných kriviek. Navrhované riešenie nedostatku: aktualizácia merných kriviek (fyzikálne modelovanie, 3D numerické modelovanie – CFD modely).
3. Neaktuálne čiary zatopených objemov VS. Čiary zatopených objemov, ktoré vyjadrujú závislosť medzi prírastkom objemu a výškou hladiny nad dnom údolia, strácajú časom svoju aktuálnosť, keďže dostupný priestor nádrže sa mení napr. vplyvom zanášania alebo abrázie brehov. Navrhované riešenie nedostatku: aktualizácia meraním (batymetria, LiDAR).
4. Nepresná alebo neúplná výkresová dokumentácia VS. Najčastejšie sa objavujúci nedostatok, keďže väčšina významných vodných stavieb na území SR sa budovala od 50-tich po 80-tich rokov 20. storočia, kedy absentoval stupeň projektovej dokumentácie skutočného vyhotovenia stavby. Navrhované riešenie nedostatku: zameranie skutkového stavu, vytvorenie BIM modelu VS (tzv. digitálne dvojča).
5. Nedostatočné údaje o fyzikálno-mechanických vlastnostiach použitých materiálov. Navrhované riešenie nedostatku: vykonanie doplnkových prieskumov.

3 POSÚDENIE MECHANICKEJ ODOLNOSTI A CELKOVEJ STABILITY

Posúdenie stability vodných stavieb je neoddeliteľnou súčasťou posúdenia povodňovej bezpečnosti týchto stavieb. Táto potreba sa v rámci Metodického pokynu MŽP definuje ako posúdenie stability hrádze (absencia definície ďalších objektov) na mimoriadne zaťaženie v podobe úrovne kritickej hladiny v nádrži (ďalej v texte aj ako ÚKH) s požadovaným minimálnym stupňom stability hrádze 1,1. Avšak, jedným z nedostatkov súčasného znenia Metodického pokynu MŽP je nedostatočné určenie rozsahu a spôsobu posúdenia mechanickej odolnosti a celkovej stability vodných stavieb (resp. geotechnického posúdenia), ktoré sa v zmysle predmetného Metodického pokynu MŽP stanovia úmerne ku kategórii VS.

Rozsah a spôsob posúdenia stability údolných priehrad na území SR definujú vo všeobecnosti najmä technické normy STN 73 6850 Sypané priehradné hrádze [3] a ON 73 6854 Statický výpočet betónových priehrad [4]. Uvedené technické normy sú praktickým doplnkom Metodického pokynu MŽP, pričom je nutné spomenúť, že sú v platnosti od roku 1964, resp. od roku 1977 bez zásadných aktualizácií, z čoho vyplývajú aj ich hlavné nedostatky:

- 1. Nekompatibilita s v súčasnosti platnými spoločnými európskymi technickými normami** (tzv. Eurokódy), v zmysle ktorých sa stavby navrhujú na medzné stavy pomocou parciálnych súčiniteľov bezpečnosti. Táto problematika bola v Nemeckej spolkovej republike, kde technická norma pre priehradu DIN 19700 – 11 [5] definuje kritériá navrhovania a posudzovania údolných priehrad oproti medzným stavom cez stupne bezpečnosti, riešená Nemeckým spolkom vodohospodárov [6], a v Českej republike autormi J. Říha a M. Špano [7].
- 2. Nezohľadnenie súčasne zaužívaných metód posudzovania a stavu všeobecne dostupnej výpočtovej techniky.** Numerické modelovanie predstavuje zaužívaný štandard dnešných dní, avšak tento prístup je časovo náročný a kladie zvýšené nároky aj na kvalitu a kvantitu vstupných údajov. Možné riešenie predstavuje definovanie minimálnych požiadaviek na spôsob posudzovania VS (metóda výpočtu) v závislosti na kategóriu VS podobne ako to napr. definuje švajčiarska smernica [8] (vid'. Tab. 1).

Tab. 1 Minimálne požiadavky na spôsob posudzovania [8]

Téma	Kategória vodnej stavby		
	I	II	III
Stanovenie pórových tlakov (priehradu)	2D model konečných prvkov alebo konečných diferencií	2D model konečných prvkov alebo konečných diferencií	2D model, alebo empiricky
Stanovenie vnútorných teplôt (klenbové priehradu)	2D model konečných prvkov alebo konečných diferencií	2D model konečných prvkov alebo konečných diferencií	2D model, alebo empiricky
Určenie celkovej stability, priehradu so zásadne dvojrozmerným správaním	2D model	2D model	2D model
Určenie celkovej stability, ostatné priehradu	3D model konečných prvkov	3D model konečných prvkov	2D model každého bloku
Stanovenie únosnosti, bariéry so zásadne dvojrozmerným správaním	2D model končených prvkov priehradu a základov	2D model končených prvkov priehradu, súhrnné modelovanie základov	Modelovanie ako jednoduchý nosník (gravitačné steny) alebo posúdenie stability svahov (sypané hrádze); zjednodušené modelovanie podložia
Určenie únosnosti, ostatné priehradu	3D model končených prvkov priehradu a základov	3D model končených prvkov priehradu, súhrnné modelovanie základov	Modelovanie ako nosníkový rošt bez krútenia (klenbové priehradu) alebo posúdenie stability svahov (sypané hrádze); zjednodušené modelovanie podložia

3.1 Mimoriadna návrhová situácia a uvažované zaťažovacie stavy

Extrémne povodňové zaťaženie vodných stavieb v rámci Metodického pokynu MŽP (v podobe ÚKH) je definované ako mimoriadne zaťaženie, bez podrobnejšej špecifikácie ďalších zaťažovacích stavov a ich kombinácie pre danú mimoriadnu návrhovou situáciu, ktoré je v rámci posudku potrebné uvážiť. Zaťaženia, spôsob uváženia zaťažovacích stavov a ich kombinácie pre dané návrhové situácie riešia vo všeobecnosti pre stavebné konštrukcie už spomínané Eurokódy, pričom špecificky pre vodné stavby na území SR sú v tejto súvislosti v platnosti ešte technické normy STN 75 0250 [9] a STN 73 6506 [10]. Nedostatkým technických noriem špecifických pre vodné stavby (ako aj pri technických normách uvedených v kap. 3) je najmä zlá nadväznosť na spomínané, všeobecne platné, Eurokódy.

Napriek tomu, že uvedená problematika je relatívne obsérne definovaná a regulovaná platnými technickými normami je z praktického hľadiska žiadúce doplnenie Metodického pokynu MŽP o podrobnú špecifikáciu zaťažovacích stavov, parciálnych súčiniteľov a súčiniteľov kombinácie pre mimoriadnu návrhovou situáciu zohľadňujúcej extrémne povodne.

4 PREDPOKLADY VÝPOČTU SPLOŠTENIA POVODŇOVEJ VLNY

V zmysle Metodického pokynu MŽP sa pod úrovňou medznej hladiny (ďalej v texte aj ako ÚMH) rozumie maximálna hladina vody v nádrži odpovedajúca zvoleným predpokladom a podmienkam bezpečného prevedenia KPV cez priehradu alebo odkalisko. ÚMH počas povodňového zaťaženia sa stanoví riešením úlohy transformácie povodňovej vlny retenčným účinkom nádrže. VS počas extrémneho povodňového zaťaženia sa následne považuje za bezpečnú ak je splnená podmienka $ÚKH \geq ÚMH$. Pre riešenie úlohy sploštenia povodňovej vlny retenčným účinkom nádrže sa v zmysle Metodického pokynu MŽP pre každé hradiace zariadenie stanoví jeho pravdepodobná využiteľná kapacita v rozsahu od 0% až 100% podľa individuálneho zhodnotenia konkrétnych podmienok. Metodický pokyn MŽP však ďalej nešpecifikuje spôsob individuálneho zhodnotenia konkrétnych podmienok, t. j. absentuje konkrétny postup zhodnotenia spoľahlivosti hradiacich konštrukcií.

V praxi existuje viacero prístupov na určenie spoľahlivosti hradiacich uzáverov – možný počet uzáverov mimo prevádzky – v čase prepúšťania KPV:

- 5 Prvým prístupom je pripúšťanie výpadku, resp. poruchy všetkých hradiacich zariadení – nízka pravdepodobnosť, pričom bezpečnosť by musela byť dosiahnutá záložným prvkom – napríklad nálož.
- 6 Postup v zmysle ustanovení STN 73 6814 [11] (definícia KPV v norme nie je v zhode s Metodickým pokynom MŽP).
- 7 Určovanie počtu v rámci individuálnej rizikovej analýzy, resp. odborného zhodnotenia stavu a zostatkovej životnosti technológií. Podrobnejší popis riešenia sa nachádza napríklad v literatúre [12], pričom nevýhodou riešenia rizikovej analýzy je požiadavka na vstupné údaje v podobe štatistiky pravdepodobnosti porúch.

Za podrobnejší popis stojí ešte prístup v zmysle STN 73 6814 [11] kde bezpečnostné prípady musia, bez ohľadu na skutočne predpísanú manipuláciu za povodní, previesť KPV spolu s ostatnými výpustmi a odbernými zariadeniami za týchto podmienok:

- 1 „V čase prechodu povodne je celý ovládateľný priestor nádrže zaplnený.
- 2 K vypúšťaniu vody z nádrže sa použijú
 - 2.1 všetky prípady,
 - 2.2 spodné výpusty, pričom sa počíta s tým, že určitý počet výpustov zostane mimo prevádzky:

Celkový počet dnových výpustov	Mimo prevádzky zostane	
	u sypaných priehrad	u betónových priehrad
<i>1 až 4</i>	<i>1</i>	<i>1</i>
<i>viac ako 4</i>	<i>2</i>	<i>1</i>

2.3 *turbíny, pokiaľ môžu počas povodne pracovať, a podmienky pre ich použitie vo funkcii výpustu bude obsiahnutá v manipulačnom aj prevádzkovom poriadku, pričom sa počíta s tým, že určitý počet turbín zostane mimo prevádzky:*

Celkový počet turbín	Mimo prevádzky zostane	
	u sypaných priehrad	u betónových priehrad
<i>1 až 3</i>	<i>1</i>	<i>1</i>
<i>3 až 6</i>	<i>2</i>	<i>1</i>
<i>viac ako 6</i>	<i>3</i>	<i>1</i>

2.4 *ostatné zariadenia obsluhované priamo hrádznym, pokiaľ je možné použiť bez škôd k vypúšťaniu vody z nádrže.*

3 *Všetky uzávery sú otvárané až po dosiahnutí maximálnej hladiny.*

4 *Za prietoku KPV je možné pripustiť hladinu v nádrži zvýšenú o 0,5 m od maximálnej hladiny.“*

5 ZÁVER

V čase extrémnych povodní dochádza na vodných stavbách často k dosiahnutiu, v niektorých prípadoch aj k prekročeniu, kapacít výpustných zariadení (najmä bezpečnostných priepadov), resp. zaplneniu retenčného objemu nádrží. Na základe štatistických údajov [13] je preliatie jednou z najčastejších príčin havárie sypaných priehrad (cca 40% evidovaných prípadov). V istej miere to platí aj pre murované priehrady, pri uvažovaní extrémnej hladiny pri povodni môže predstavovať aj riziko porušenia stability pre betónové priehrady. Preto, pri predchádzaní sa havárii VS má posudzovanie bezpečnosti vodných stavieb počas extrémnych povodní kľúčovú úlohu, čo kladie vysoké nároky na voľbu správnych metodických postupov a pokynov. V rámci predkladaného článku sme sa na základe doterajších skúseností snažili upriamiť pozornosť na niektoré špecifiká a prípadné nedostatky súvisiace s posudzovaním povodňovej bezpečnosti VS podľa metodického pokynu MŽP z roku 2020 s načrtnutím možných riešení jednotlivých nedostatkov.

ZOZNAM LITERATÚRY

- [1] *Ministerstvo životného prostredia SR, Sekcia vôd (2020): Metodický pokyn generálneho riaditeľa sekcie vôd Ministerstva životného prostredia Slovenskej republiky k posudzovaniu*
- [2] *OTN ŽP 3112-1:03 (2003): Kvantita povrchových a podzemných vôd – Hydrologické údaje povrchových vôd. – Kvantifikácia povodňového režimu – Stanovenie N-ročných prietokov a N-ročných prietokových vln na väčších tokoch, 31 s.*
- [3] *STN 73 6850 (1975): Sypané priehradné hrádze, 41 s.*

- [4] ON 73 6854 (1963): *Statický výpočet betónových priehrad*, 16 s.
- [5] DIN-19700-11 (2004): *Stauanlagen – Teil 11: Talsperren*, 60 s.
- [6] DWA-M 542 (2017): *Nachweiskonzept mit Teilsicherheitsbeiwerten für Staudämme und Staumauern*, 32 s.
- [7] Říha, J., Špano, M. a kol. (2017): *Využití metody dílčích součinitelů pro hodnocení bezpečnosti vodních děl a odvození mezních hodnot TBD. Praktické aplikace*. Brno: LITERA Brno, 104 s.
- [8] Eidgenössisches Department für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK – Bundesamt für Energie BFE (2017): *Richtlinie über die Sicherheit der Stauanlagen. Teil C1: Planung und Bau*, 36 s.
- [9] STN 75 0250 (1990): *Zaťaženie konštrukcií vodohospodárskych objektov*, 32 s.
- [10] STN 73 6506 (1972): *Zaťaženie vodohospodárskych stavieb ľadom*, 15 s.
- [11] STN 73 6814 (1972): *Navrhovanie priehrad – Hlavné parametre a vybavenie*, 44 s.
- [12] U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation & U.S. Army Corps of Engineers BUILDING STRONG (2019): *Best Practices in dam and Levee Safety Risk Analysis*
- [13] ICOLD. (2019): *Incident database – Bulletin 99 : Statistical analysis of dam failures*. ICOLD - CODS, 65 s.

AUTORI

Autor 1: Ing. Tibor Mészáros, PhD., VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA, š.p. Slovenská republika, tibor.meszaros@vzb.sk

Autor 2: Ing. Adam Filo, VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA, š.p., Slovenská republika, adam.filo@vzb.sk

Autor 3: Ing. Ján Hakáč, PhD., VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA, š. p. Slovenská republika, jan.hakac@vzb.sk

Autor 4: Ing. Martin Kvetko, VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA, š. p., Slovenská republika, martin.kvetko@vzb.sk

POZNATKY Z APLIKACÍ ASFALTOBETONOVÝCH PLÁŠŤŮ NA VODNÍCH DÍLECH V EVROPĚ

LESSONS LEARNED FROM ASPHALT CONCRETE LINING APPLICATIONS ON DAMS IN EUROPE

Jaromír Říha¹, Miroslav Špano²

Abstrakt: Asfaltový beton je tradičním materiálem pro návodní těsnicí prvky sypaných přehrad, zejména hrází horních nádrží přečerpávacích vodních elektráren. Použití asfaltobetonových plášťů se uplatnilo zejména v Evropě, kde jsou realizovány na desítkách vodních děl. V případě přečerpávacích vodních elektráren jsou asfaltobetonové pláště vystaveny častému kolísání hladiny a střídavým účinkům vysoké a nízké teploty, tlaku vody a mrazu. Jako každý konstrukční prvek i asfaltobetonový plášť stárne a vyžaduje pravidelnou údržbu, popř. opravy. V článku jsou shrnuty poznatky z aplikací a údržby asfaltobetonových plášťů na 15 vodních dílech v České republice a v sousedních zemích. Autoři se zaměřují na dílčí problémy související s lokálními poruchami plášťů, navýšením objemu nádrže a drenážním systémem plášťů, zejména při jejich opravách.

Abstrakt: Asphaltic concrete is the traditional material used for an upstream lining of embankment dams, especially the dams of the upper reservoirs of pumped storage power plants. Asphaltic lining is mainly used in cases where local natural sealing material is not available. The use of asphaltic concrete lining has been particularly successful in Europe, where dozens of projects have been implemented. In the case of pumped storage plants, lining is loaded by water level and temperature fluctuations, water pressure and frost. Like any structural element, the AC lining ages and requires regular maintenance or repair. This paper summarizes the findings from the application and maintenance of lining at 15 dams in the Czech Republic and in neighbouring countries. The authors focus on particular problems related to local defects of the lining, increase of the reservoir volume and drainage system of linings, especially during their repairs.

1 ÚVOD

Použití asfaltobetonových (AB) plášťů na hydrotechnických stavbách se uplatnilo zejména v Evropě, kde působí několik tradičně zavedených společností provádějících více než 60 let asfaltobetonová těsnění přehrad, skládek a kanálů. V České republice byly, resp. jsou AB pláštěm opatřeny hráze přehrad Morávka (AB plášť nahrazen fólií), Josefův Důl, Stanovice, dolní a horní nádrž vodního díla (VD) Dlouhé stráně. Dosavadní poznatky o asfaltobetonových plášťových těsněních sypaných přehrad a nejnovější zkušenosti z provozu a oprav domácích a zahraničních staveb shrnuje certifikovaná metodika [1]. Jako každý konstrukční prvek i asfaltobetonový plášť stárne, vykazuje lokální poruchy a vyžaduje pravidelnou údržbu, popř. opravy. V článku jsou shrnuty poznatky o řešení dílčích problémů z aplikací AB plášťů na VD Morávka, Dlouhé stráně, Josefův Důl a Stanovice v České republice, Čierny Váh na Slovensku, Avče ve Slovinsku, Längental, Roßwiese a Dießbach v Rakousku, Markersbach, Schömbach a Goldistal v Německu a Porąbka – Żar a Żarnowiec v Polsku. Poznatky jsou zaměřeny na výskyt poruch, realizovaná opatření a opravy AB plášťů s uvedením praktických zkušeností z jednotlivých VD.

2 PORUCHY AB PLÁŠŤŮ

Zkušenosti z provozování AB těsnění ukazují na střední dobu životnosti pláště cca 30 let. Po této době se prováděla celková oprava pláště u většiny vodních děl s tímto těsnicím prvkem [2]. Poruchy AB pláště vyvolávající potřebu opravy často nastávají po kratší době provozu.

Příčiny poruch mohou souviset s vnějším zatížením AB pláště (změny teploty a zatížení pláště, mechanické poškození), s vlastnostmi použitých materiálů a směsi (kamenivo, asfalt, špatná přílnavost asfaltu ke kamenivu), s nedodržením předepsaných technologických postupů (segregace, nízká teplota směsi, nedostatečné zhutnění či ošetření pracovních spár, špatné napojení vrstev), popř. s jevy probíhajícími v AB plášti (kapilarita, difuze vodních par, vnitřní eroze zemin). Příčinou může být i nevhodný návrh skladby AB pláště, drenážního systému, napojení AB pláště na betonové objekty, atd. Obvykle jde o kombinaci jednotlivých faktorů.

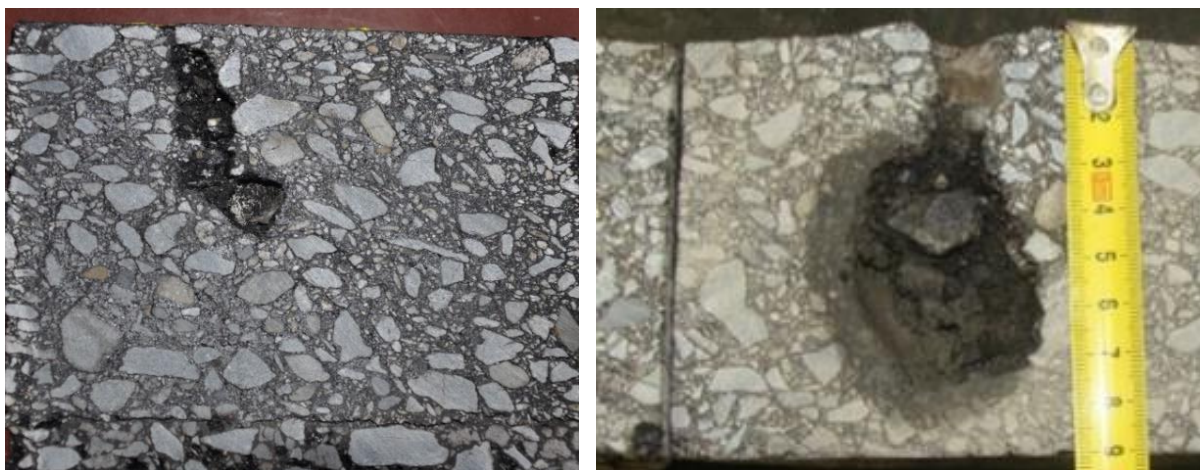
V článku je pozornost věnována řešením dílčích problémů souvisejících s návrhem a provozováním přehrad opatřených AB pláštěm. Jde o následující okruhy problémů:

1. problematika vzniku lokálních poruch - puchýřů uvnitř vrstvy hutného AB,
2. uspořádání drenážního systému,
3. možnosti provedení opravy AB pláště, napojení nových vrstev na stávající AB plášť,
4. možnosti zvětšení provozního objemu nádrže.

3 PUCHÝŘE VE VRSTVĚ HUTNÉHO AB

Na řadě AB plášťů se po určité době provozování objevují v různé intenzitě puchýře ve tvaru malých kráterků. Jde zejména o pláště nádrží, kde dochází k častému kolísání hladiny v kombinaci s působením slunečního svitu a mrazu. Příkladem jsou VD Dlouhé stráně, Markersbach, Längental, Porabka-Žar a Żarnowiec.

Puchýře vznikají v počátečním stádiu uvnitř vrstvy hutného asfaltového betonu, kdy jde o původně malou, postupně se zvětšující dutinu, která se na povrchu prakticky neprojeví (obr. 1 vlevo). Vlivem teplotních změn dochází k degradaci materiálu v okolí dutiny, ta se postupně zvětšuje a projeví se na povrchu pláště jako malá vyboulenina (obr. 1 vpravo). Puchýř v dalším stádiu prostupuje postupně do hloubky pláště. Může tak docházet k průnikům vody do spodních vrstev pláště a vlivem zmrazovacích cyklů k dalšímu zvětšování poškození.



Obr. 1 Puchýře ve vrstvě hutného AB (vlevo skrytá porucha, vpravo otevřený puchýřek)

Po čtyřech letech provozu začaly vznikat puchýře také na AB plášti VD Markesbach uvedeného do provozu v letech 1979 až 1981. Za použití různých směsí AB byly pravidelně prováděny lokální opravy. Závěry provedených studií vedly ke konstatování, že důvodem porušení bylo

nedodržení kvality prováděných prací, zejména použití nevhodného kameniva z hlediska mrazuvzdornosti, nedodržení teploty při pokládce AB a špatná přilnavost vrstev pláště. V roce 1990, kdy byly neúspěšně prováděny dílčí opravy, bylo rozhodnuto provést celkovou opravu pláště na návodním svahu horní nádrže. Oprava spočívala v odfrézování horní těsnicí vrstvy v tloušťce 70 mm a položení nové vrstvy z hutného AB tloušťky 80 mm. Od roku 1998 se na opraveném plášti začaly opět vyvíjet puchýře (cca 500 ks za rok). Ty byly do roku 2012 lokálně opravovány. Další oprava AB pláště proběhla v roce 2016 obnovou mastixu, která se provádí pravidelně 1 krát za 6 let. Horní nádrž nevykazuje průsaky, a to ani v místě odběrného objektu. Kromě faktorů jako jsou použité materiály a jejich kvalita, mezerovitost hutné vrstvy, skladba pláště, technologie pokládky a tepelné namáhání pláště byla v rámci předchozích výzkumů [1] za jeden z významných důvodů označena difuze vodních par AB pláštěm, a to směrem z podložních vrstev k jeho povrchu. Je proto třeba dbát na velmi dobrou propustnost drenážní vrstvy, kterou lze zajistit dobře zrnitým stěrkovým podsypem nebo lépe drenážní vrstvou z mezerovitého asfaltobetonu se zaručenou mezerovitostí větší než 15 %. Na některých vodních dílech (Markersbach, Goldistal) byly na koruně hráze osazeny větrací "komínky" odvádějící vodní páry z drenážní vrstvy (obr. 2).



Obr. 2 Odvětrávací komínky na VD Markersbach.

4 DRENÁŽNÍ SYSTÉM

Pro kontrolu těsnosti AB pláště a také pro bezpečné odvedení vody pod pláštěm jsou tato vodní díla opatřena drenážním systémem. Ten může být uspořádán jako páteřní s hlavním svodným drénem (drény) a péry prodlouženými podél paty svahů, či jako obvodový drén vedený podél paty svahů. U horních nádrží přečerpávacích vodních elektráren (PVE) se často spolehlivá kontrola průsaků zajišťuje pomocí přístupné kontrolní a odvodňovací chodby, do níž jsou svedena drenážní péra zpod pláště. Příkladem páteřního uspořádání je VD Goldisthal (obr. 3), obvodová chodba je na VD Čierny Váh. U obvodové chodby je výhodou oddělené sledování průsaků těsněním dna a svahů nádrže.

U AB plášťů bývají problémem netěsnosti a průsaky v místě napojení asfaltobetonu na betonové konstrukce vtokového objektu, popř. u koruny hráze. Proto se doporučuje oddělené sledování těchto průsaků samostatným drenážním systémem.



Obr. 3 VD Goldisthal, vľavo drenážní systém horní nádrže, vpravo pohľad do drenážní chodby

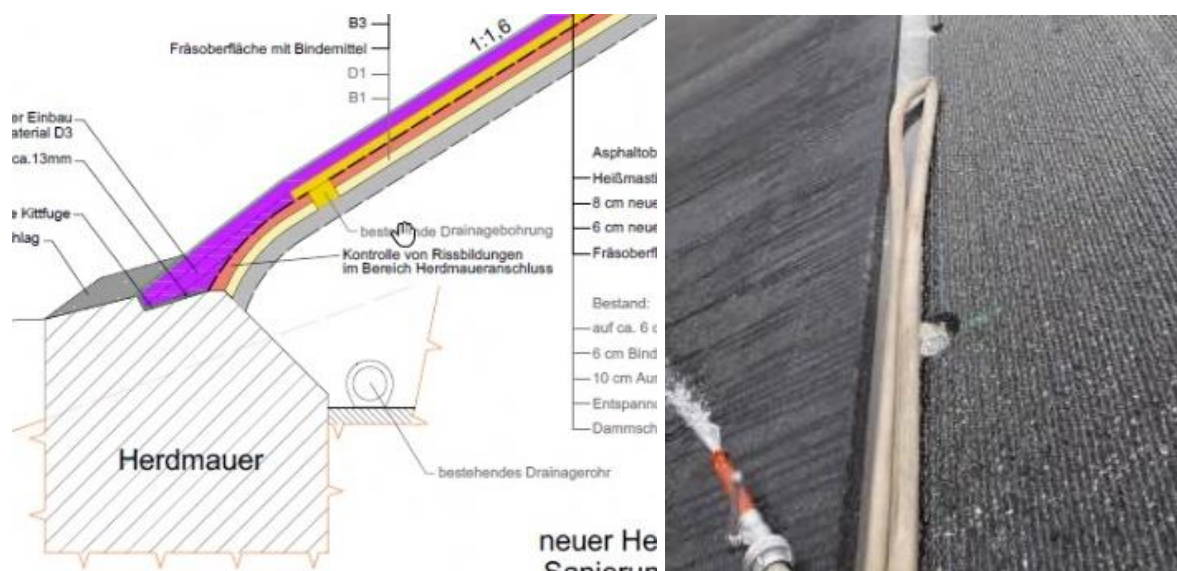
5 PLOŠNÉ OPRAVY AB PLÁŠTĚ A NAPOJENÍ VRSTEV

K plošným výměnám AB pláště na vodních dílech se přistupuje obvykle v případě, že stávající plášť vykazuje plošně rozsáhlé porušení (jak závažné, tak četné) a zároveň doba jeho užívání překročila udávanou životnost AB plášťů (obvykle 30 let). Vzhledem k problematické likvidaci odfrézovaných AB vrstev je obvykle snahou pokud možno ponechat spodní, málo porušené vrstvy konstrukce a měnit pouze horní těsnicí vrstvu. Plošná výměna částí AB plášťů byla provedena na VD Čierny Váh, Žarnoviec, Porąbka – Żar, Dlouhé stráně, Markersbach, Dießbach a v nedávné době též na VD Längental.

VD Längental je dolní nádrž soustavy Finstertal - Längental s PVE Kühtai. Dolní nádrž Längental je tvořena údolní přehradou přehrazující vodní tok Nederbach, hráze je zemní z místních aluviálních náplav a také z materiálu z výlomu štol, je opatřena návodním asfaltobetonovým těsnicím pláštěm.

Několik měsíců po uvedení díla do provozu se objevily první puchýře (kapitola 3) v zóně nejčastějšího kolísání hladiny. Vývoj bodových poruch pokračoval v dalších letech poměrně rovnoměrně s počtem cca 100 puchýřů za rok. V průběhu vývoje puchýřů nebylo pozorováno zvýšení průsakového množství. Lokální opravy puchýřů byly prováděny vždy po cca 10 letech odbouráním porušeného místa a vyplněním prohlubně asfaltovou směsí s překrytím mastixem. V roce 2020 proběhla plošná rekonstrukce horní části AB pláště o ploše cca 17 000 m². Oprava byla navržena tak, že se v horní části pláště částečně odfrézovala vrstva hutného AB, následně byla položena nová drenážní vrstva z mezerovitého AB a na ni nová hutná AB vrstva. Při opravě byla akcentována potřeba napojit novou drenážní vrstvu do stávající drenážní vrstvy v podloží pláště (obr. 4). Toho bylo dosaženo soustavou odvodňovacích otvorů při dolním okraji opravované části pláště. Otvory průměru 150 mm byly provedeny odvrtáním původního pláště po cca 2,5 m. Na otvorech byly provedeny vsakovací pokusy, následně byly vyplněny směsí mezerovitého asfaltobetonu se zhutněním.

Při realizaci opravy AB pláště došlo za deště k přetížení drenážního systému a k drobnému vyboulení AB pláště na 3 místech u paty hráze. Lokální oprava vyboulenin byla provedena jejich provrtáním, odvodněním a následnou opravou celistvosti poškozeného místa. Zvláštní pozornost zasluhovalo napojení těsnicí vrstvy na betonovou ostruhu těsnicí podloží hráze (obr. 4 vľavo). Před uložením drenážní vrstvy byl podél dolního okraje nového pláště uložen optický kabel umožňující sledování a identifikaci místa případných průsaků.



Obr. 4 VD Längental, napojení nové drenážní vrstvy na původní drenážní vrstvu, vlevo projekt, vpravo foto z realizace

6 ZVĚTŠENÍ PROVOZNÍHO OBJEMU NÁDRŽE

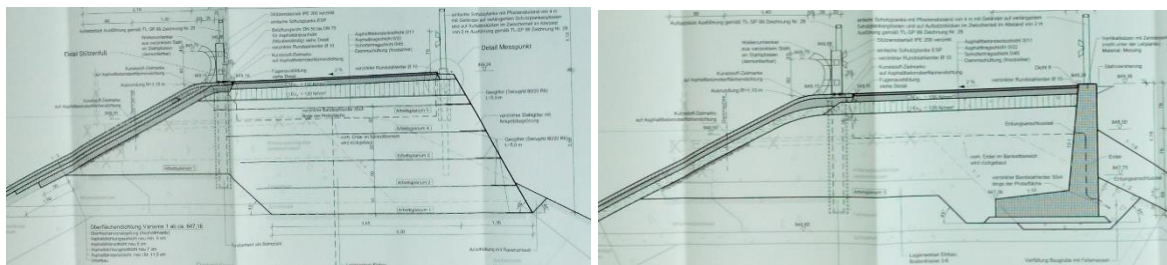
Se zvýšenou potřebou akumulace energie rostou požadavky na zvyšování využitelného objemu horních nádrží přečerpávacích vodních elektráren. Toho provozovatelé dosahují jednak zvýšením koruny hráze a jednak zmenšením bezpečnostního převýšení koruny hráze nad maximální hladinou za současné aplikace opatření pro zmenšení účinků vln (zdrsnění povrchu). Zajímavý výzkum byl proveden na horní nádrži VD Markersbach, kdy byly v roce 2018 vybudovány čtyři zkušební úseky se zvýšenou korunou hráze a různou skladbou těsnících vrstev (obr. 5 a 6):

- Standardní skladba jednovrstevná ve variantách opravy AB pláště na svahu:
 - výměna pouze těsnící vrstvy z hutného AB,
 - výměna celého pláště, tj. vrstvy z hutného i mezerovitého AB.
- Dvouvrstvá úprava s odvětráním (obr. 2) ve variantách:
 - stávajícího stavu,
 - výměny celého pláště.

Na žádném ze zkušebních úseků nebylo doposud zjištěno odlišné chování, popř. výskyt bodových poruch (puchýřů). Oproti původnímu záměru navýšit celou korunu hráze bylo rozhodnuto opatřit návodní stranu koruny hráze prefabrikovanými betonovými vlnolamy, popř. plechovou výplní zábradlí. Hlavním důvodem jsou výrazně nižší finanční náklady.



Obr. 5 VD Markersbach, navýšení a úpravy na koruně hráze



Obr. 6 VD Markersbach, dva návrhy na navýšení koruny hráze

7 ZÁVĚR

Asfaltobetonové pláště lze v současnosti považovat za tradiční těsnicí prvky hrází údolních nádrží i horních nádrží PVE. Ukazuje se, že jejich stárnutí významně ovlivňují provozní podmínky, kdy časté kolísání vodní hladiny, extrémní teploty a změny mechanického zatížení urychlují vznik poruch a degradaci AB pláště. Zkušenosti z domácích a zahraničních děl ukazují, že klíčovými faktory pro dlouhodobou funkčnost AB pláštů jsou kvalitní návrh, správná volba materiálů a dodržování technologických postupů při výstavbě.

Stárnutí AB pláště lze omezit, popř. zpomalit pravidelnou údržbou a prováděním dílčích oprav. Přitom lze pozorovat různé přístupy, kdy například v případě ochranné vrstvy (mastixu) v Rakousku provozovatelé předpokládají stejnou životnost této vrstvy jako celého pláště, a vrstvu neobnovují, provozovatelé v Německu vrstvu obnovují v souladu se svými interními předpisy v průměru každých 6 let.

Celkově lze konstatovat, že AB pláště při správné péči a údržbě zajišťují požadovanou těsnicí funkci a navzdory výskytu dílčích, většinou lokálních poruch vykazují dlouhodobou požadovanou bezpečnost a spolehlivost.

SEZNAM LITERATURY

- [1] Říha, J., Špano, M., Kudrna, J., Kotaška, S., Šperka, P. (2022) *Asfaltobetonová plášťová těsnění hydrotechnických staveb. Navrhování, provádění, provozování a opravy. Certifikovaná metodika č. MZE-45554/2022-15112 uznaná OSSVHSP MZe. FAST VUT v Brně, 132 s.*
- [2] Říha, J., Buchtová, J. (2005) *The asphalt and geomembrane dam lining database and its use at the Dlouhe Strane dam rehabilitation, In. Dams at the Beginning of the 21st Century, Annual Dresden Conference on Hydraulic Engineering, Dresden 3/2005.*
- [3] *Richtlinie für Arbeiten im Asphaltwasserbau. Österreichs E-Wirtschaft, Wien, 2013.*
- [4] SZYMAŃSKI, A. 2004. *Doświadczenia z eksploatacji i renowacji asfaltobetonowych wykładzin zbiorników górnych elektrowni szczytowo-pompowych Porąbka-Żar i Żarnowiec, prezentace, 94 s.*

AUTOŘI

Autor 1: prof. Ing. Jaromír Říha, CSc., Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Veverčí 95, 602 00 Brno, Česká republika, e-mail: Jaromir.Riha@vut.cz

Autor 2: Ing. Miroslav Špano, Ph.D., Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Veverčí 95, 602 00 Brno, Česká republika, e-mail: Miroslav.Spano@vut.cz

STANOVENIE MEDZNÝCH A KRITICKÝCH HODNÔT NA VODNEJ STAVBE VN KUNOV

DETERMINATION OF LIMIT AND CRITICAL THRESHOLD VALUES AT THE HYDRAULIC STRUCTURE VN KUNOV

Marek Mrva¹, Petr Dušek², Janka Sviteková³, Tibor Mészáros⁴

Abstrakt: Vodná stavba Vodná nádrž Kunov (ďalej aj ako VS Kunov) bola vybudovaná v rokoch 1959 až 1964 ako viacúčelová akumulčná nádrž, najmä na dodávku priemyselnej vody pre prevádzku Slovenský hodváb Senica, medzi obcami Kunov a Sobotište na toku Teplica v rkm 8,600. Potreba prehodnotenia, resp. stanovenia medzných a kritických hodnôt (ďalej aj MH a KH) na VS Kunov vystáva z legislatívnych požiadaviek s cieľom efektívnejšieho a spoľahlivejšieho zhodnotenia bezpečnosti vodnej stavby. V predkladanom príspevku prezentujeme vybrané výsledky Projektu stanovenia medzných a kritických hodnôt, kde sme za účelom stanovenia predmetných limitných hodnôt a za účelom posúdenia konštrukčnej stability vodnej stavby vykonali filtračnú a deformačnú analýzu telesa hrádze metódou konečných prvkov a následné posúdenie stability svahov hrádze metódou medznej rovnováhy.

Abstract: The hydraulic structure Water Reservoir Kunov (further also referred to as WR Kunov) was built between 1959 and 1964 as a multipurpose reservoir, mainly for supplying industrial water for the operation of Slovak Silk Senica, between the villages of Kunov and Sobotište on the Teplica River at kilometer 8,600. The need for reassessment or determination of limit and critical threshold values (further also referred to as LV and CV) for WR Kunov arises from legislative requirements aimed at more effective and reliable evaluation of the safety of the hydraulic structure. In the presented contribution, we present selected results of the Project for determining limit and critical values. For the purpose of determining the respective limit values and for the purpose of assessing the structural stability of the hydraulic structure, we performed filtration and deformation analysis of the dam body using the finite element method, followed by assessment of slope stability of the dam using the method of limit equilibrium.

1 VODNÁ STAVBA VN KUNOV

Vodná stavba VN Kunov, zaradená do II. kategórie, bola vybudovaná ako akumulčná nádrž na dodávku priemyselnej vody pre prevádzku Slovenský hodváb Senica, na závlahy, na zníženie povodňovej vlny, na chov rýb a na rekreáciu. Vodná stavba (ďalej aj ako VS) je situovaná medzi obcami Kunov a Sobotište na toku Teplica v rkm 8,600 (v minulosti mal tok názov Vrbovčianka).

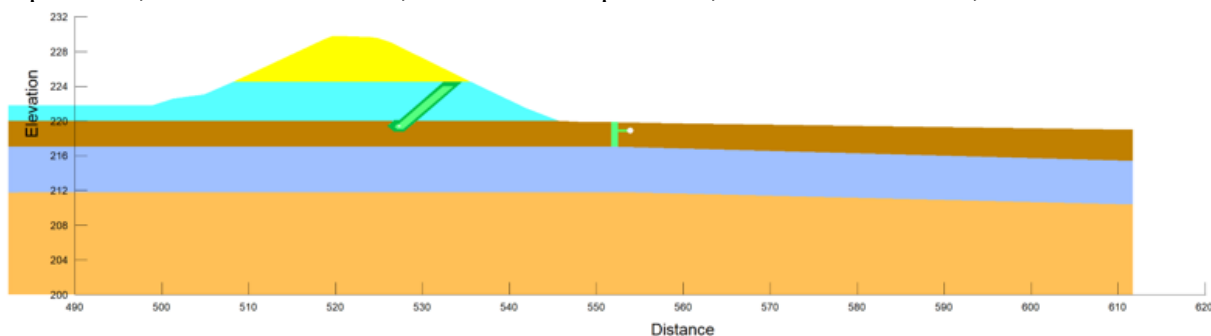
Projekt stanovenia vybraných medzných a kritických hodnôt (ďalej aj ako projekt MH a KH) bol vypracovaný na základe objednávky od správcu vodnej stavby, ktorým je SLOVENSKÝ VODOHOSPODÁRSKY PODNIK, štátny podnik. Potreba prehodnotenia, resp. stanovenia medzných a kritických hodnôt (ďalej aj MH a KH) na VS Kunov vyplýva z legislatívnych požiadaviek s cieľom efektívnejšieho a spoľahlivejšieho zhodnotenia bezpečnosti vodnej stavby. V predkladanom článku prezentujeme vybrané výsledky z vyššie uvedeného projektu.

2 MATEMATICKÉ MODELOVANIE

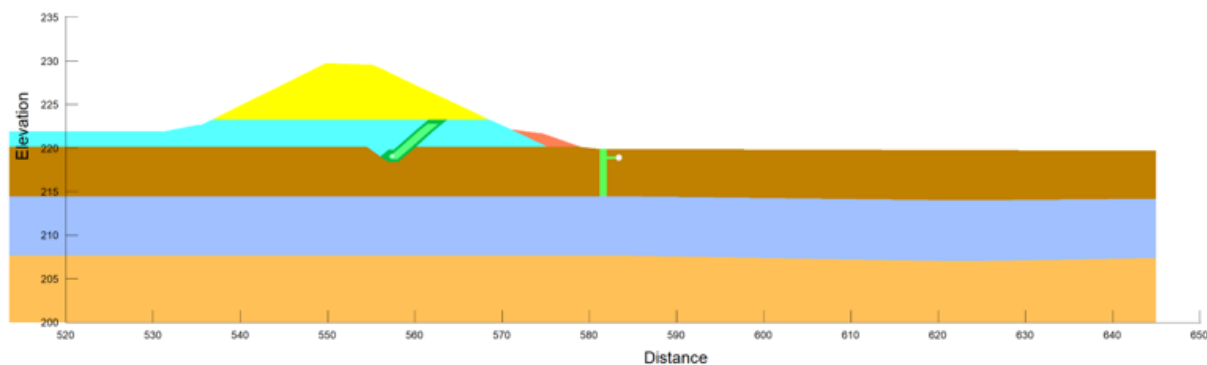
Za účelom posúdenia stability VS a za účelom určenia MH, resp. KH meraných hodnôt na vybudovaných zariadeniach pre meranie a pozorovanie sme vykonali numerické modelovanie filtračného prúdenia vody cez teleso hrádze metódou konečných prvkov (ďalej aj ako MKP), posúdenie stability vzdušného a návodného svahu hrádze v profiloch 0,094 km a 0,255 km metódou medznej rovnováhy a posúdenie telesa hrádze v profile 0,255 km na medzné stavy používateľnosti deformačný výpočet.

2.1 Séria vykonaných numerických analýz na VS

Pomocou softvéru GEOSTUDIO sme vykonali sériu nadväzujúcich numerických analýz metódou konečných prvkov (ďalej aj ako MKP), resp. pri posúdení stupňa stability svahov metódou medznej rovnováhy (Morgenstern-Price). Výpočty sme vykonali v priečných profiloch hrádze 0,094 km a 0,255 km (Obr. 1 a Obr. 2). S priečnym profilom 0,455 km sme pri numerickom modelovaní neuvažovali vzhľadom na to, že profil sa nachádza v blízkosti ľavostranného zaviazania, ktoré je dlhodobo obtekané. Filtračnú analýzu sme vykonali v oboch riešených profiloch hrádze s následným posúdením stupňa stability vzdušného svahu hrádze. Deformačná analýza bola vykonaná len v profile 0,255 km, kde sme očakávali najväčšie hodnoty sadania, preto sme zohľadnili jej 58 ročnú (21 170 d) prevádzku a fázovanie výstavby VS. V prípade profilu 0,094 km nadväzujúce analýzy predstavujú nestacionárnu filtračnú analýzu za dobu trvalej prevádzky VS s následným výpočtom stupňa stability svahu hrádze. V prípade nestacionárneho prúdenia vody cez teleso hrádze, okrajovú podmienku v nádrži predstavovala max. prevádzková hladina za obdobie prevádzky vodnej stavby (58 rokov) so zohľadnením vypustenia a následného napustenia nádrže počas rekonštrukcie VS (prázdna nádrž v období rokov 2015 až 2017). Okrajovú podmienku spodnej vody sme v nestacionárnych analýzach filtračného režimu VN Kunov uvažili nasledovne: v profile 0,094 km na kóte 218,00 m n. m. a v profile 0,255 km na kóte 217,00 m n. m.



Obr. 1 Geometria hrádze v profile 0,094 km



Obr. 2 Geometria hrádze v profile 0,255 km

2.2 Materiály a materiálové vlastnosti

Pre materiál hrádze vodnej stavby Kunov sme v predkladanom výpočte použili materiálové vlastnosti v súlade s podkladom [3], ktoré sumárne uvádzame v (Tab. 3). Všetky použité zeminy sa uvažili s elastickým – ideálne plastickým materiálom a s teóriou porušenia Mohr-Coulomb.

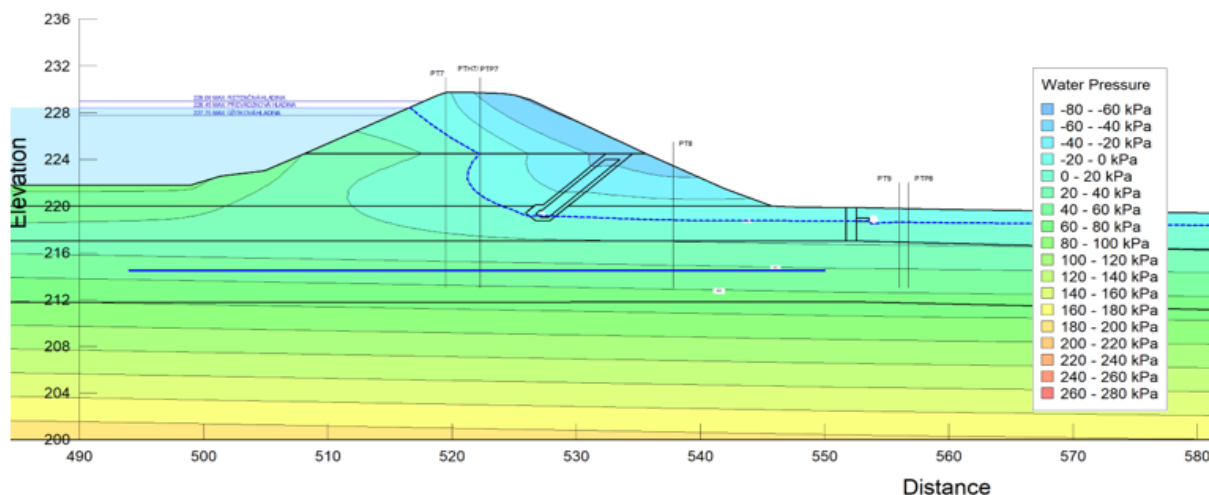
Tab. 3 Materiály a materiálové vlastnosti použité v numerickom výpočte

Farba	Trieda	Model	Pevnosť	γ	c_{eff}	ϕ_{eff}	E	ν	$K_{f,sat}$
[-]	[-]	[-]	[-]	[kN/m ³]	[kPa]	[°]	[MPa]	[-]	[m/s]
	F6 - Teleso hrádze	El.-Pl.	Mohr-C.	21	12	24	12	0,4	1,00E-09
	F4 - Teleso hrádze	El.-Pl.	Mohr-C.	18,5	15	27	15	0,35	1,00E-09
	GP - Filtračný štrkopiesok	El.-Pl.	Mohr-C.	19	0	35	150	0,2	1,00E-06
	GW - Drén	El.-Pl.	Mohr-C.	21	0	38,5	100	0,2	1,00E-04
	F6 - Hlina, Spraš	El.-Pl.	Mohr-C.	21	9	18	15	0,4	1,00E-09
	F6 - Bahno	El.-Pl.	Mohr-C.	21	12	21	-	-	5,20E-08
	GP/GF - Štrk	El.-Pl.	Mohr-C.	20	0	35	150	0,2	1,00E-04
	SC - Piesčitý ÍL	El.-Pl.	Mohr-C.	18,5	8	26	15	0,3	1,00E-07
	Násyp	El.-Pl.	Mohr-C.	18	0	30	100	0,2	1,00E-05

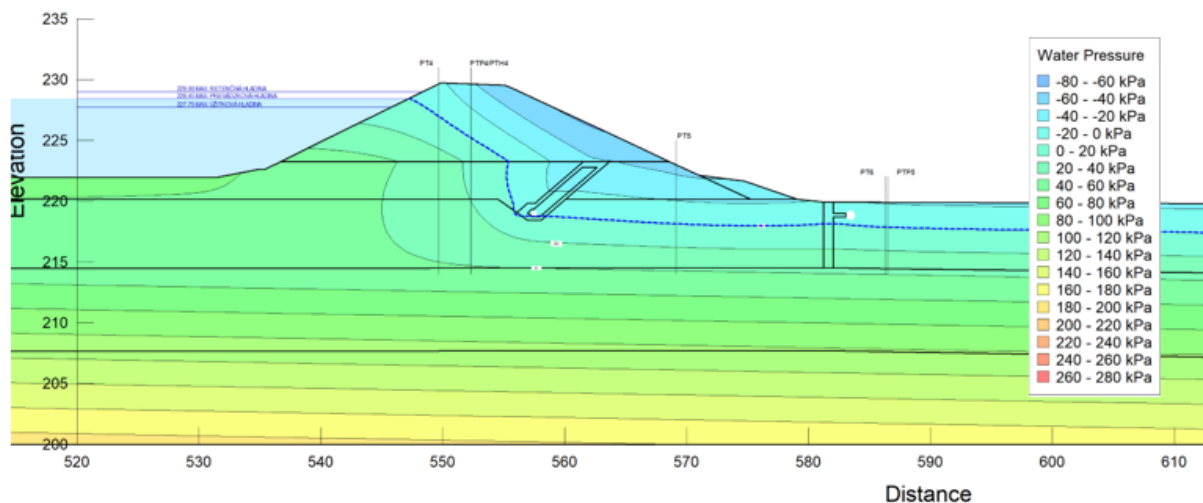
2.3 Vybrané výsledky numerického modelovania

Na nasledujúcich obrázkoch (Obr. 3 a Obr. 4) prezentujeme vybrané výsledky (izoplochy pórových tlakov) filtračných analýz vykonaných metódou konečných prvkov pri maximálnej prevádzkovej hladine 228,45 m n. m. počas existencie vodnej stavby v riešených profiloch 0,094 km a 0,255 km. Predkladaný model filtračnej analýzy bol kalibrovaný podľa reálne nameraných hodnôt v pozorovacích sondách počas riešeného obdobia.

Riešený profil 0,094 km sa nachádza v mieste pravostranného zaviazania v blízkosti situovania združeného funkčného objektu. V riešenom profile je naznačená „modrá čiara“, ktorá reprezentuje dno združeného funkčného objektu (základovú škáru). Pomocou riešeného profilu 0,094 km sme stanovovali MH resp. KH v vztlačomerných vrtoch umiestnených v štólňi združeného funkčného objektu.

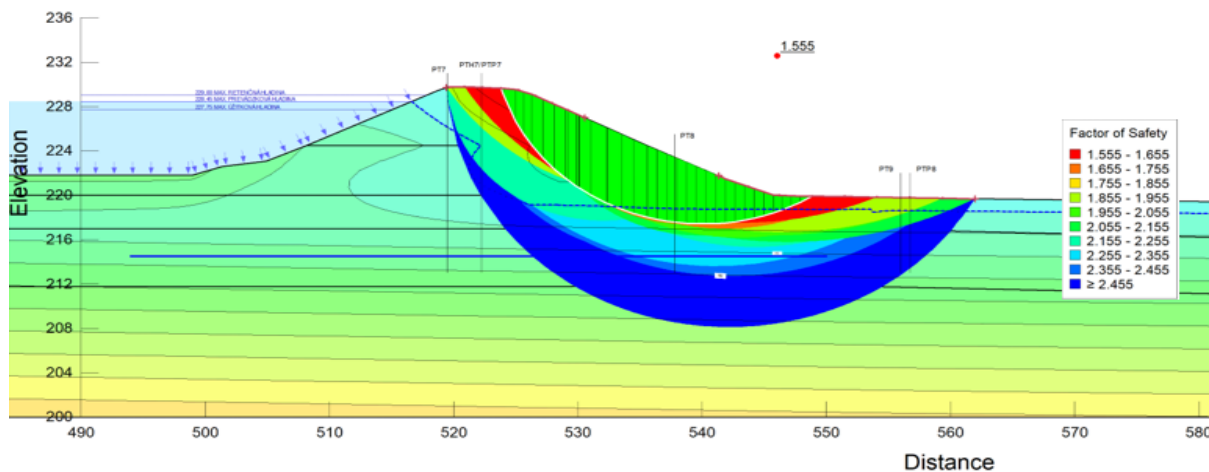


Obr. 3 Pórové tlaky – filtračná analýza v profile 0,094 km pri maximálnej prevádzkovej hladine

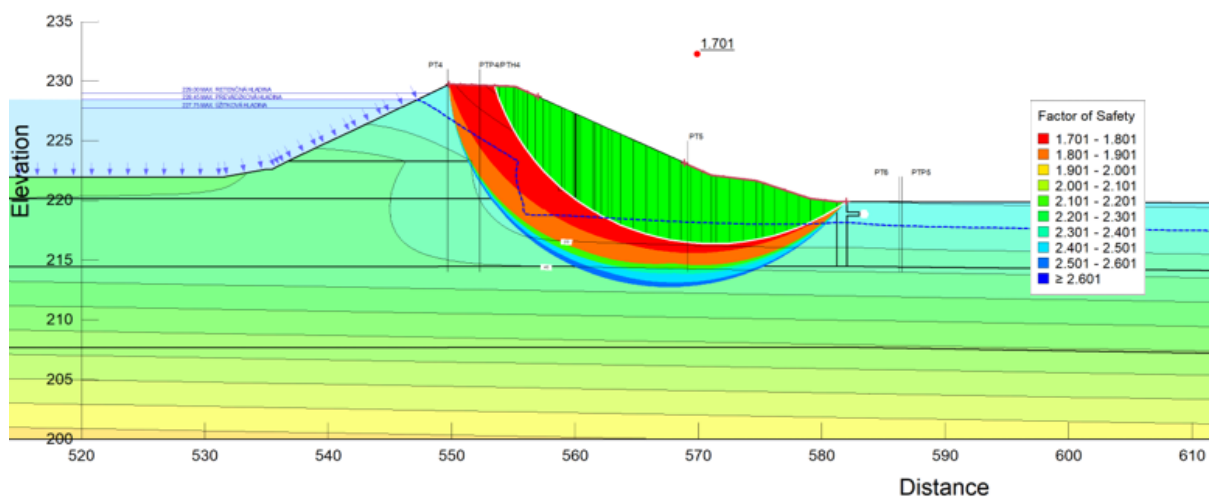


Obr. 4 Pórové tlaky – filtračná analýza v profile 0,255 km pri maximálnej prevádzkovej hladine

Na obrázkoch (Obr. 5 a Obr. 6) prezentujeme výsledky stabilitných výpočtov, a to stupeň stability voči ušmyknutiu vzdušného svahu hrádze pri maximálnej prevádzkovej hladine v riešených profiloch 0,094 km a 0,255 km, ktoré nadväzujú na výsledky filtračnej analýzy, kde je splnené kritérium filtračnej stability.

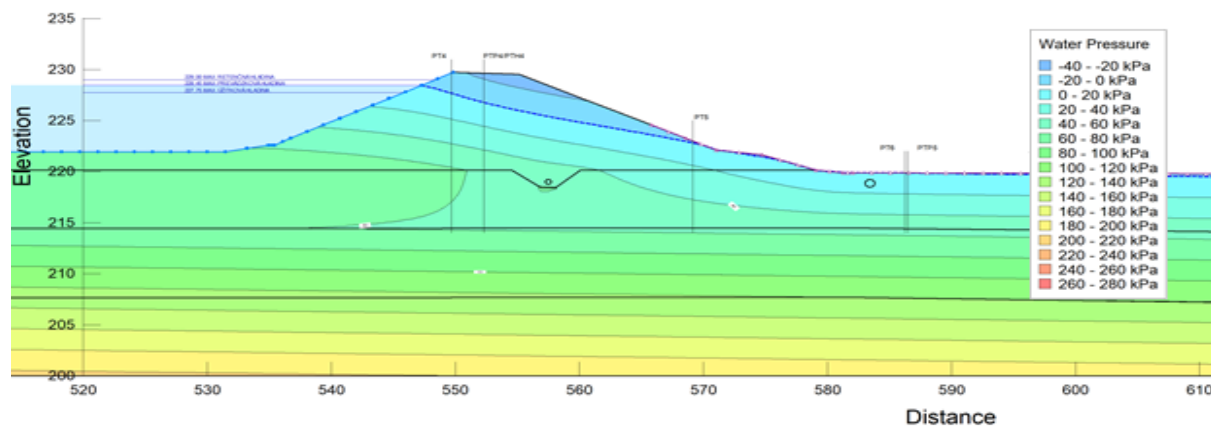


Obr. 5 Stabilita vzdušného svahu v profile 0,094 km ($FOS_{min} = 1,555$)

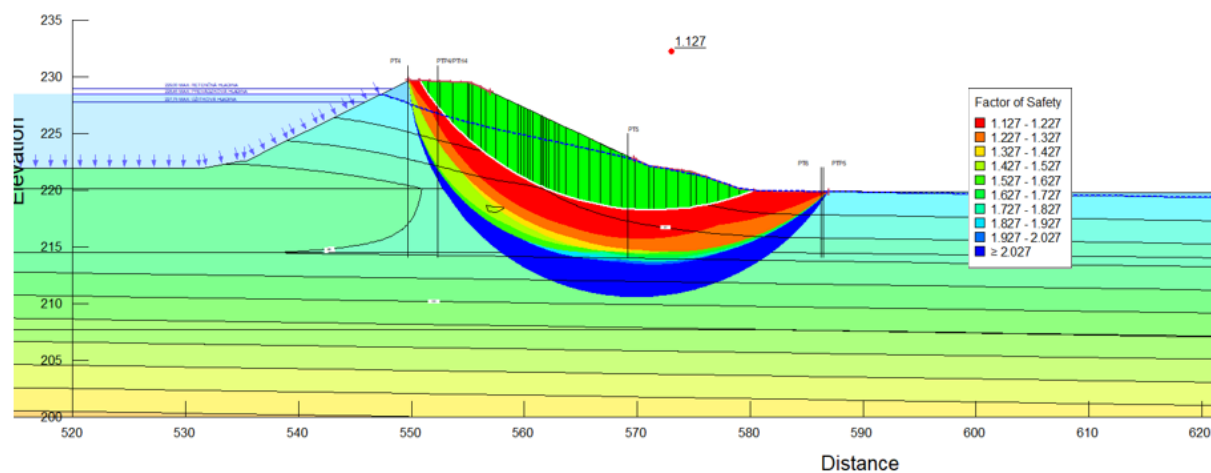


Obr. 6 Stabilita vzdušného svahu v profile 0,255 km ($FOS_{min} = 1,701$)

Na obrázkoch (Obr. 7 a Obr. 8) uvádzame výsledky numerickej analýzy v profile 0,255 km, kde sme za účelom stanovenia KH uvážili kombináciu porúch v podobe výrazne nepriaznivých šmykových parametrov telesa hrádze s hodnotou $\varphi_{ef} = 21^\circ$; $c_{ef} = 9$ kPa a náplavových hĺn v podloží s hodnotou $\varphi_{ef} = 18^\circ$; $c_{ef} = 7$ kPa a zakolmatovanie drenážneho systému tak, aby sme z hľadiska stability vzdušného svahu získali, čo najnepriaznivejší tvar a polohu depresnej krivky.

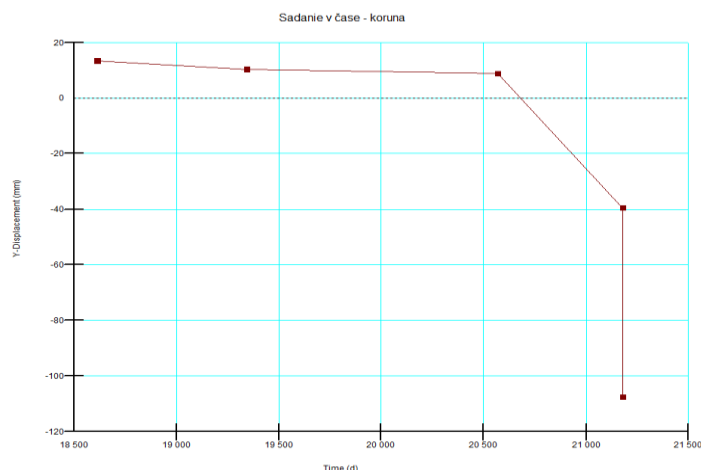


Obr. 7 Pórové tlaky v profile 0,255 km v prípade zakolmatovaného drenážneho systému



Obr. 8 Stabilita vzdušného svahu pri max. prevádzkovej hladine a nepriaznivých filtračných pomeroch ($FOS_{min} = 1,127$)

Za účelom stanovenia kritických hodnôt sadania hrádze sme následne vykonali deformačnú analýzu zohľadňujúcu takto namodelovanú náhlu nepriaznivú zmenu depresnej krivky (Obr. 9).



Obr. 9 Sadanie bodu koruny hrádze získané pre kombináciu porúch ($s_{\max} = 107,59$ mm)

3 ZÁVER

V predkladanom príspevku prezentujeme vybrané výsledky Projektu stanovenia medzných a kritických hodnôt, kde sme za účelom stanovenia limitných hodnôt a za účelom posúdenia konštrukčnej stability vodnej stavby vykonali filtračnú a deformačnú analýzu telesa hrádze metódou konečných prvkov a následné posúdenie stability svahov hrádze metódou medznej rovnováhy v profiloch 0,094 km a 0,255 km. V sérii prezentovaných numerických analýz sme posúdili stabilitu vzdušného svahu hrádze pri priaznivých filtračných podmienkach v profiloch 0,094 km a 0,255 km. Ďalej sme v profile 0,255 km posúdili stabilitu vzdušného svahu pri výrazne znížených šmykových parametroch a nepriaznivých filtračných podmienkach (zohľadnenie poruchy drenážneho systému), pre ktoré sme výpočtom získali aj sadanie charakteristického bodu na korune hrádze.

ZOZNAM LITERATÚRY

- [1] MĚSZÁROS, T., MRVA, M. (2023): VS VN Kunov, Projekt stanovenia MH a KH – záverečná správa, VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA, ŠTÁTNY PODNIK, Bratislava, 53 s.
- [2] DUŠEK, P., SVITEKOVÁ, J. (2022): VS Vodná nádrž Kunov, Etapová správa o TBD za obdobie od 01.01.2020 do 31.12.2021, VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA, ŠTÁTNY PODNIK, Bratislava, 53 s., 15 príl.
- [3] BAJER, a kol. (1965): Vodní nádrž na Vrbočianke u Kunovu, Sledovanie geologických poměrů na staveništi, HYDROPROJEKT, Štátny ústav pro projektování vodohospodárskych stavieb, Brno, 11 s., 12 príl.
- [4] STN 73 1001:2010 Geotechnické konštrukcie. Zakladanie stavieb

AUTORI

Autor1: Ing. Marek Mrva, VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA, š.p., marek.mrva@vzb.sk

Autor2: Ing. Petr Dušek, PhD., VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA, š.p., petr.dusek@vzb.sk

Autor3: Ing. Janka Svitekova, VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA, š.p., janka.svitekova@vzb.sk

Autor4: Ing. Tibor Mészáros, PhD., VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA, š.p., tibor.meszaros@vzb.sk

ŠPECIÁLNE METÓDY MERANIA FILTRAČNÝCH RÝCHLOSTÍ V POZOROVACÍCH OBJEKTOCH HRÁDZI A ICH ČASOVÝ VÝVOJ

SPECIALIZED METHODS FOR MEASURING FILTRATION VELOCITIES IN THE OBSERVATION OBJECTS OF EMBANKMENTS AND THEIR TIME DEVELOPMENT

Juraj Škvarka

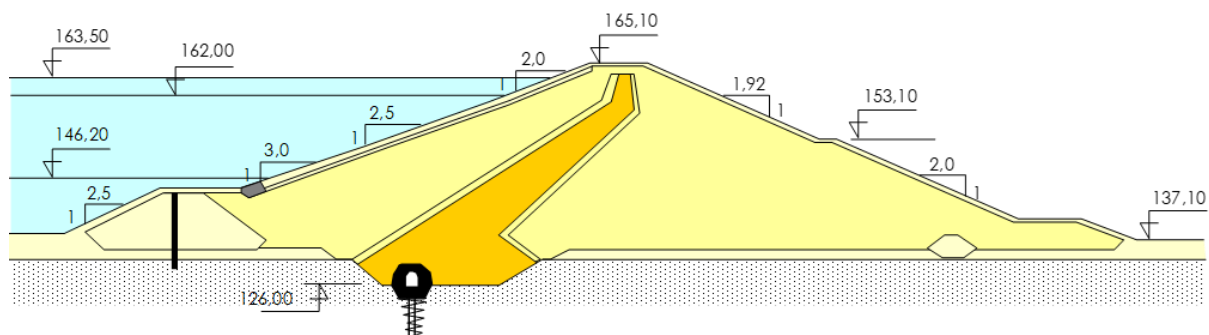
Abstrakt: Pomocou špeciálnych metód merania filtračných rýchlostí je možné monitorovať prúdenie podzemnej a priesakovej vody v telese a podloží hrádzi. Na meranie rýchlostí prúdenia vody sa na Slovensku najčastejšie používajú jednovrtové indikátorové metódy. Najčastejším indikátorom je chlorid sodný vo forme prášku alebo vodného roztoku. Príspevok sa zameriava na merania filtračných rýchlostí pomocou sledovania vertikálneho prúdenia vody vo vrtoch. Výstupom merania sú koncentračné krivky, z ktorých sa následne vypočítavajú filtračné rýchlosti. V príspevku sú analyzované a porovnávané koncentračné krivky na konkrétnej vodnej stavbe v rôznych časoch pri rovnakom zaťažovacom stave, z ktorých sa následne odvodzujú filtračné rýchlosti. Správna interpretácia týchto meraní má výrazný vplyv na výsledky, ktoré sa používajú na zhodnotenie bezpečnosti vodného diela, najmä z hľadiska filtračnej stability.

Abstract: Special methods for measuring filtration velocities can be used to monitor groundwater flow and seepage flow in dams' bodies and subsoil. In Slovakia, single-well indicator methods are most commonly used to measure water flow velocities. The indicator is often sodium chloride in powder form or an aqueous solution. This paper focuses on measuring filtration velocities by monitoring the vertical flow of water in a well. The output of the measurement is concentration curves, from which the filtration velocities are then calculated. The paper analyzes and compares concentration curves at a specific hydraulic structure at different times under the same loading state, from which the filtration velocities are then derived. The correct interpretation of these measurements has a significant impact on the results of these measurements, which are used to assess the safety of the water structure, mainly from the point of view of filtration stability.

1 ÚVOD

Tento článok sa zameriava na meranie filtračných rýchlostí sledovaním vertikálneho toku vody vo vrtoch. Správna interpretácia meraní má významný vplyv na výsledky týchto meraní, ktoré sa používajú na posúdenie bezpečnosti vodnej stavby, hlavne z hľadiska filtračnej stability. Výstupom merania sú koncentračné krivky, z ktorých sa následne vypočítavajú filtračné rýchlosti. Článok analyzuje a porovnáva koncentračné krivky na priehrade Veľká Domaša v rôznych časoch pri rovnakom zaťažení, z ktorých sa potom vypočítavajú filtračné rýchlosti. Priehrada Veľká Domaša bola postavená v rokoch 1962 až 1967. Maximálna výška priehrady nad terénom je 25.4 m a 35.0 m nad základovou škarou. Nádrž vznikla prehradením údolia rieky Ondavy heterogénnou zemnou hrádzou s vnútorným tesnením (obr. 1). Stabilizačné prizmy heterogénnej zemnej hrádze boli postavené z náplavového štrku. Vnútorné šikmé

tesnenie pozostáva z piesočnatých hĺn, ktoré sú v kontakte so stabilizačnými prizmami chránené jednovrstvovým filtrom. Podložie je tesnené tesniacim ozubom a injekčnou clonou. Nádrž sa nachádza v geologickom prostredí, ktoré pozostáva z paleogénnych hornín (magurský flyš) a kvartérnych sedimentov [1].



Obr. 1 Pričný profil priehrady Veľká Domaša [1]

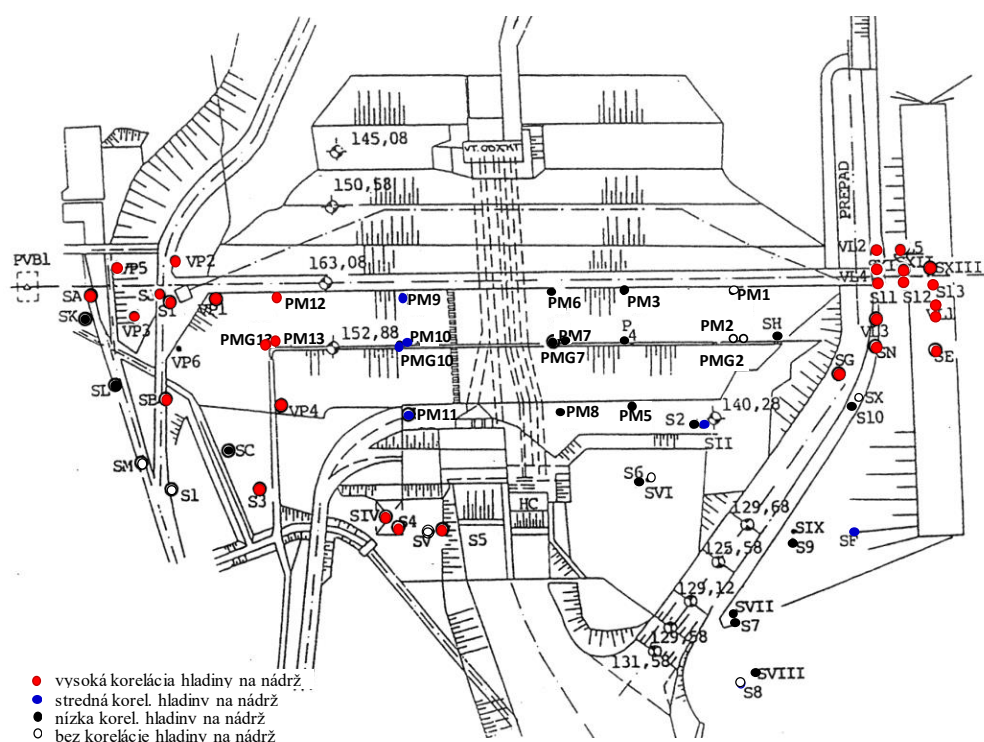
2 METÓDY MERANIA

Špeciálne metódy monitorovania prúdenia podzemných vôd možno všeobecne rozdeliť na nepriame (neinvazívne) a priame (invazívne) metódy. Nepriame metódy zahŕňajú geofyzikálne merania, ktoré sú zamerané na získanie predbežných informácií o geologických a fyzikálnych vlastnostiach horninového prostredia štúdiom fyzikálnych polí. Konkrétne sa na meranie prúdenia podzemných vôd používajú geoelektrické merania. Presná interpretácia výsledkov je pri geofyzikálnych meraniach nevyhnutná, pretože anomálie môžu viesť k nesprávnym interpretáciám, čo vyžaduje overenie priamymi meraniami. Priame merania sú vhodné na overenie filtračnej stability priehrad a ich podložia. Na Slovensku sa bežne používajú jednovrstvé metódy na meranie rýchlostí prúdenia podzemných vôd. Indikátorom je najčastejšie chlorid sodný v práškovom stave, alebo vo vodnom roztoku.

3 VÝSLEDKY MERNÍ A DISKUSIA

Špeciálne merania filtračných rýchlostí vo všetkých pozorovacích objektoch sú pravidelne realizované na vodnom diele Veľká Domaša. Tieto merania sú súčasťou posudzovania spoľahlivosti funkcie protipriesakových opatrení v telese priehrady a v jej podloží. Tiež slúžia na posúdenie filtračnej stability telesa a podložia priehrady. Celkovo sa v súčasnosti na vodnom diele nachádza 63 pozorovacích objektov, kde možno merať hladinu vody a filtračné rýchlosti (obr. 2). V tomto príspevku prezentujeme iba výsledky meraní z vrtov S3 a SJ, v ktorých boli realizované merania v rokoch 2005 [2], 2008 [3], 2018 [4] a 2022 [5]. Merania boli realizované aj pred rokom 2005, ale výsledky meraní koncentračných kriviek už nie sú k dispozícii.

V reálnom svete nie je možné dokonale porovnať jednotlivé merania. Aby sme mohli merania navzájom porovnávať, bolo nutné vybrať merania, pri ktorých boli splnené približne rovnaké okrajové podmienky – aspoň hladina vody v nádrži a hladina v odpadnom koryte. Okrem hladiny v nádrži a v koryte pod priehradou na merania vplýva ešte viacero faktorov, ktoré však nemožno ovplyvniť, ako napríklad denný úhrn zrážok, kolísanie hladiny v nádrži atď.



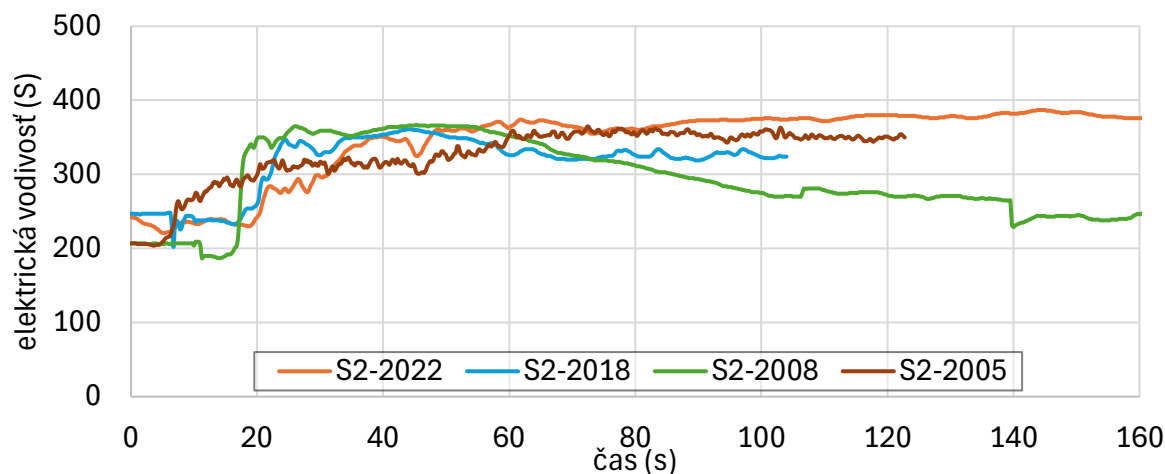
Obr. 2 Situácia priehrady Veľká Domaša s rozmiestnením pozorovacích objektov [5]

Vrty S3 a S-J sa nachádzajú na pravom svahu hrádze v smere toku (obr. 2). Tieto vrty boli vybrané aj z dôvodu zistenej vysokej korelačnej väzby na úroveň hladiny vody v nádrži. Priemer vrtu S3 je 8 cm a S-J je 9 cm. Začiatok perforácie je vrtu S3 začína 10.60 m a SJ začína 8.00 m a končí na dne. Hladina vody sa teda nachádza v perforovanej časti. V nasledujúcej tabuľke sa nachádzajú úrovne hladiny vody počas meraní a hladiny vody vo vrtoch S3 a SJ, ktoré boli vybrané do analýzy, pretože vykazovali vysokú korelačnú väzbu na hladinu v nádrži za posledné obdobie. Treba však poznamenať, že korelačná väzba má orientačný charakter, ktorý sa vzťahuje len na určité sledované obdobie.

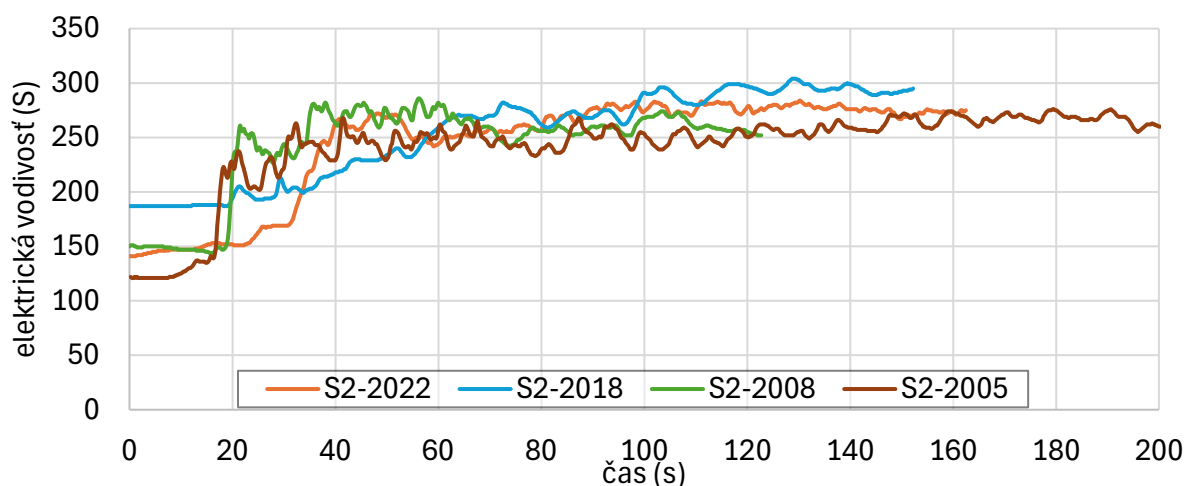
Tab. 1 Hladiny vody v čase meraní filtračných rýchlostí

Dátum merania	19.-20.6.2022	21.-22.6.2018	1.-2.5.2008	1.-2.5.2005
Hladina v nádrži (m n. m.)	157.5	160	159.7	161.2
Hladina v odpadnom koryte (m n. m.)	133.12	133	133.1	132.7
Hladina vo vrte S3 (m)	12.95	10.60	10.90	7.90
Hladina vo vrte SJ (m)	18.68	15.54	15.75	13.53

Merania sa zvyčajne vykonávajú v intervale 2 m, v závislosti od vodného stĺpca a od hladiny vo vrte. dĺžka merania závisí od operátora, pokiaľ si nie je istý že je možné stanoviť vrcholový čas, zvyčajne nie dlhšie ako 5 minút v jednej hĺbkovej úrovni. Na nasledujúcich obrázkoch sú pre ilustráciu uvedené výsledky merania zo sondy S3 z hĺbky 13.0 m a zo sondy SJ z hĺbky 21.5 m. Z meraní možno konštatovať, že koncentračné krivky majú podobný trend vývoja, avšak odčítané vrcholové časy sa pre jednotlivé merania môžu mierne líšiť. Odlišné vrcholové časy odčítané z koncentračných kriviek sú práve ovplyvnené množstvom rôznych vplyvov, ktoré už boli vyššie spomenuté, ale aj množstvom vstreknutého indikátora ktoré sa môže meniť. Môže to byť z dôvodu, že vstrek indikátora je robený manuálne a tiež závisí od tlaku vo tlakovej fľaši a od hĺbky vrtu a vodného stĺpca nad sondou.



Obr. 3 Výsledky meraní koncentračných kriviek v sonde S3 z hĺbky 13 m

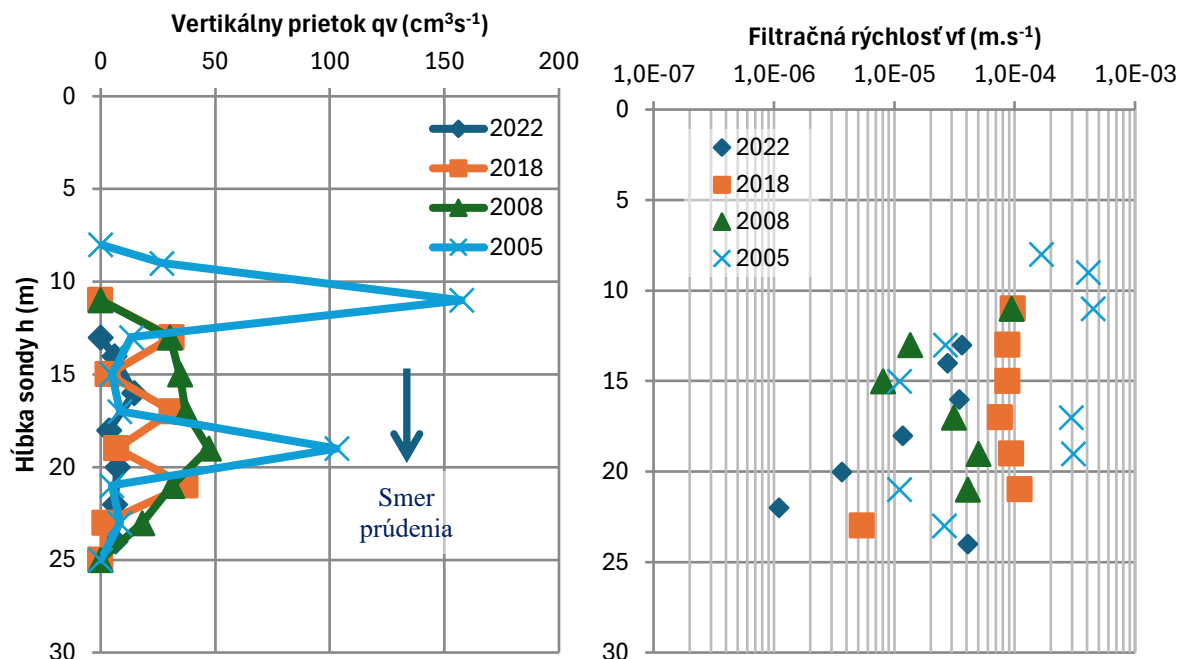


Obr. 4 Výsledky meraní koncentračných kriviek v sonde SJ z hĺbky 21.5 m

Výsledky výpočtov vertikálnych prietokov a filtračných rýchlostí uvádzame na nasledujúcich obrázkoch. Z vyhodnotenia meraní možno konštatovať, že veľkosť vertikálneho prietoku sa v rámci jednotlivých meraní môže meniť. Z porovnaní jednotlivých meraní možno pre koncentračné krivky usúdiť, že dôležitý je priebeh, resp. trend vývoja koncentračných kriviek, na základe ktorého je možné spoľahlivo určiť vrcholový čas. Samotné hodnoty nameraných koncentrácií nie sú až tak dôležité, pretože hodnoty sú ovplyvnené mineralizáciou podzemných a priesakových vôd ktoré sa v čase môžu meniť. Vypočítané filtračné rýchlosti v jednotlivých hĺbkach vykazujú veľmi dobrú zhodu medzi jednotlivými meraniami. Za veľmi dobrú zhodu pri takomto type geofyzikálnych meraní je možné považovať rozptyl hodnôt v rámci jedného rádu.

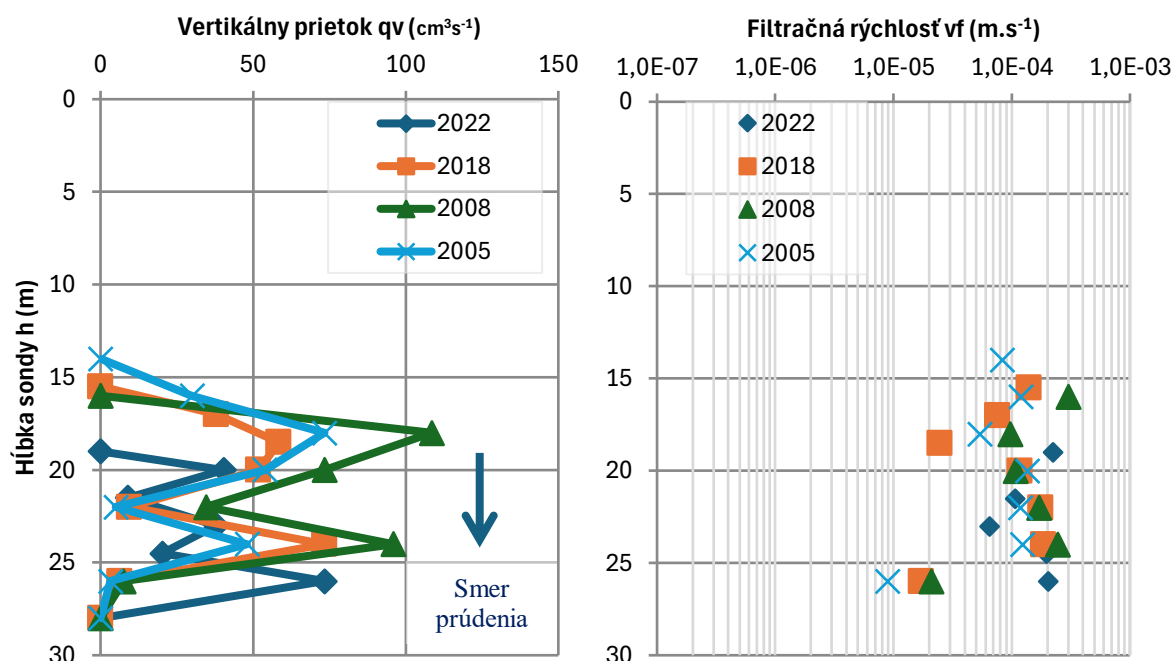
Jednotlivé výsledky vyhodnotenia meraní vo vrte S3 (Obr. 5) vykazujú dobrú zhodu, napriek tomu že vertikálne rýchlosti sú rozdielne, okrem meraní z roku 2005 vo vyšších polohách a 2022, hlavne v nižších polohách. V roku 2005 sú boli merania realizované aj vo vyšších polohách, pretože hladina vo vrte bola cca o 3 m vyššie ako pri meraniach v roku 2008 a 2018 o 5 m ako v roku 2022. Je teda zrejmé, že merania v tomto vrte môžu byť ovplyvnené aj zrážkovými a svahovými vodami, ktorým sa v tomto príspevku podrobne nevenujeme. Ďalej evidujeme výraznejšie rozdiely v nižších polohách v roku 2022. Tieto rozdiely môžu byť spôsobené tiež okrajovými podmienkami, keďže počas meraní bola hladina cca o 2 m nižšie ako v rokoch 2018 a 2008. Ďalej rozdiely môžu byť spôsobené aj tým, že merania v roku 2022

boli realizované v rozdielnych hĺbkach (2022 párne hĺbky - 14, 16, 18, 20 a 22 m) oproti predchádzajúcim rokom (nepárne hĺbky - 13, 15, 17, 19, 21 a 23 m).



Obr. 5 Vertikálny prietok a vypočítané filtračné rýchlosti v sonde S3

Vo vrte SJ (Obr. 6) bola dosiahnutá veľmi dobrá zhoda medzi jednotlivými meraniami, okrem poslednej polohy z roku 2022. Z vývoja koncentračných kriviek, však nebolo možné úplne jednoznačne určiť vrcholový čas. V tomto príspevku nie sú prezentované koncentračné krivky z daných hĺbok vzhľadom na rozsah. Ak nie je úplne jednoznačný vrchol koncentračnej krivky je vhodné vybrať najnepriaznivejšiu hodnotu vrcholového času, tak aby bola filtračná rýchlosť čo najvyššia. Pretože ak najvyššia možná vypočítaná filtračná rýchlosť nedosiahne medzné hodnoty filtračných rýchlostí, tak je filtračná stabilita horninového prostredia zabezpečená [6].



Obr. 6 Vertikálny prietok a vypočítané filtračné rýchlosti v sonde SJ

4 ZÁVER

Podstatou posúdenia filtračnej stability sú maximálne filtračné rýchlosti, namerané v pozorovacích objektoch skúmaného prostredia. Vypočítané filtračné rýchlosti z špeciálnych geofyzikálnych meraní je následne vhodné porovnať s rýchlosťami prípustnými (medznými). Ak sú medzné rýchlosti prekročené, môžu byť vytvorené podmienky pre vznik vnútornej sufózie. Pri posudzovaní miery rizika jej vzniku sa berú do úvahy hydraulické kritéria, reprezentované cez prípustné (medzné) filtračné rýchlosti. Tieto medzné hodnoty boli stanovené na základe výsledkov inžiniersko-geologického a geotechnického prieskumu. V príspevku sú ilustrované iba vybrané merania spolu s ich celkovým vyhodnotením pre vybrané vrty. Je zrejmé, že merania sa v čase môžu líšiť, pretože na samotné merania sú ovplyvnené viacerými faktormi. Preto je vhodné robiť takéto merania priebežne a sledovať trend vývoja vypočítaných filtračných rýchlostí. Narastajúci trend filtračných rýchlostí a prekročenie stanovených medzných hodnôt môže naznačovať ohrozenie filtračnej stability horninového prostredia. Prezentované vrty sa nachádzajú na svahoch, kde boli medzné rýchlosti stanovené v rozmedzí $1,2 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ až $4 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Z vyhodnotenia je zrejmé, že tieto rýchlosti neboli dosiahnuté ani prekročené a vypočítané filtračné rýchlosti v čase majú relatívne ustálený charakter. Preto možno konštatovať, že filtračná stabilita nie je ohrozená v daných vrtoch. To isté platí aj pre ostatné vrty, ktoré nie sú v tomto príspevku prezentované, a teda aj pre celú vodnú stavbu na základe posledných meraní z roku 2022 [5].

ZOZNAM LITERATÚRY

- [1] *BEDNÁROVÁ, E., a kol.: Influence of climate change on the water management of Veľká Domaša reservoir. In Proceedings of the second SLOCOLD-MACOLD Symposium on topic Water reservoirs, 2020, Skopje - Ljubljana., 2020, ISBN 978-608-65373-9-5.*
- [2] *BEDNÁROVÁ E. a kol.: VS Veľká Domaša. Posúdenie filtračného režimu v telese a v podloží priehrady v roku 2005. Správa pre SVP, š.p., PBaH Košice, SvF STU Bratislava 2005.*
- [3] *BEDNÁROVÁ E. a kol.: VS Veľká Domaša. Analýza vývoja filtračného režimu v telese a v podloží priehrady v roku 2008. Správa pre SVP, š.p., PBaH Košice, SvF STU Bratislava 2008.*
- [4] *BEDNÁROVÁ E. a kol.: VS Veľká Domaša. Analýza vývoja filtračného režimu po zabudovaní nových pozorovacích objektov. Správa pre SVP, š.p., PBaH Košice, SvF STU Bratislava 2018.*
- [5] *BEDNÁROVÁ E. a kol.: VS Veľká Domaša. Posúdenie bezpečnosti priehrady z hľadiska filtračnej stability. Správa pre SVP, š.p., PBaH Košice, SvF STU Bratislava 2022.*
- [6] *Hulla, J., Bednárová E.: Zdokonalené indikátorové metódy na sledovanie rýchlostných zložiek priesakových režimov v podložiach priehrad, XXXI. Priehradní dny, roč. 2, s. 182, 2008.*

POĎAKOVANIE

Uvedený článok je podporovaný grantovým projektom VEGA-1/0745/21.

AUTOR

Ing. Juraj Škvarka, PhD., Stavebná fakulta STU v Bratislave, Radlinského 11, 810 05 Bratislava, juraj.skvarka@stuba.sk

VODNÍ DÍLO HORKA – SEISMICKÁ ANALÝZA

SEISMIC ANALYSIS OF THE HORKA DAM

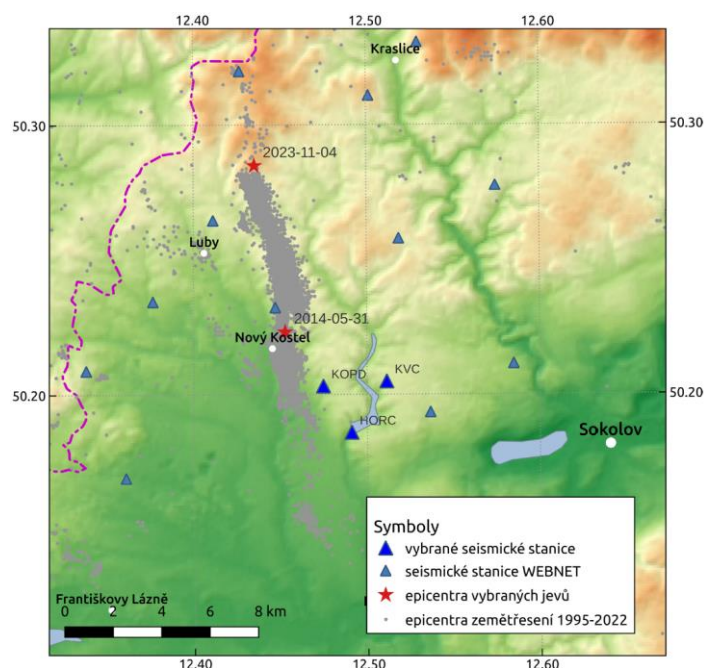
Miroslav Brouček¹, Petra Suchopárková², Ondřej Švarc³

Abstrakt: Vodní dílo Horka je z významných západočeských přehrad svou polohou nejbližší epicentrum zemětřesených rojů. Pro zkvalitnění výkonu technickobezpečnostního dohledu byla v roce 1998 navázána spolupráce s Geofyzikálním ústavem (GFÚ) AVČR, spočívající v předávání informací o událostech seismického charakteru. Hráz VD Horka se postupně dostala do popředí zájmu odborníků GFÚ jako významný objekt aplikovaného výzkumu seismoaktivní oblasti západních Čech. V rámci rozvoje monitorovací sítě WEBNET byl v roce 2017 umístěn v nejnižší části injekční chodby seismograf a v letech 2019–2020 byly instalovány 4 akcelerometry. Výsledky seismických měření byly v roce 2023 statisticky vyhodnoceny a společně s akcelerogramy z průběhu skutečných zemětřesení a dostupnými evropskými modely PSHA slouží jako podklad pro zpracování deformační a stabilitní analýzy VD Horka, která je zpracovávána na Katedře hydrotechniky na Fakultě stavební ČVUT v Praze v souladu s postupy doporučovanými mezinárodní přehradní komisí ICOLD.

Abstrakt: The Horka Dam is the closest among the large dams suited in western Bohemia to the epicentres of earthquake swarms. To improve the dam safety supervision programme, a cooperation with the Institute of Geophysics of the Czech Academy of Sciences (GFÚ) was established in 1998, consisting of the transfer of information about seismic events. The Horka dam gradually became an important object of the applied research in the seismic area of western Bohemia/Vogtland carried out by the GFÚ. A new seismograph was installed in the lowest part of the grouting gallery in 2017 and 4 new accelerometers were installed in 2019-2020 as part of the development of the WEBNET monitoring network. The results of the seismic measurements were statistically evaluated in 2023 and together with accelerograms from the course of actual earthquakes and available European PSHA models provide the input data for the deformation and stability analysis of the Horka dam, which is implemented by the Department of Hydraulic Structures at the Faculty of Civil Engineering of the Czech Technical University in Prague following the practices recommended by the International Commission on Large Dams.

1 ÚVOD

Vodní dílo Horka bylo vybudováno ve druhé polovině šedesátých let 20. století v „těsné“ blízkosti Mariánskolázeňského zlomu, tedy v jedné z mála významněji seismicky aktivních oblastí v ČR. Aktivní část zlomu, který je orientován SSZ-JJV a je tedy téměř paralelní s osou hráze VD Horka, má délku přibližně 20 km a poloha epicenter zemětřesení zaznamenaných mezi roky 1995 a 2022 vůči hrázi VD Horka jsou dobře patrné z následující mapy (Obr. 1). Přestože mapa seismicky aktivních území dle, dnes již neplatné, ČSN 73 0036 Seismická zatížení staveb [1] předpokládá pro danou oblast intenzitu zemětřesení podle stupnice Mercalli-Cancani-Sieber (M.C.S.) na stupni 7, tedy „velmi silné“, dle nedávné paleoseismické studie [2] byly v této oblasti identifikovány projevy zemětřesení o magnitudu přesahující hodnotu 6,5, jež proběhlo mezi lety 792 až 1020 n.l. s posuny 29–39 cm. Nejsilnější otřes zaznamenaný sítí seismických stanic WEBNET, jejíž výstavba byla zahájena po výrazném zemětřeseném roji na přelomu let 1985 a 1986, proběhl v květnu 2014 s lokálním magnitudem 4,3.



Obr. 1 Poloha hráze VD Horka (stanice HORC) vůči epicentrům zemětřesení a seismických stanic – dokumentuje aktivní rozsah Mariánskolázeňského zlomu [3]

2 DOPADY ZEMĚTŘESENÍ NA SYPANÉ HRÁZE A HISTORICKÉ ZKUŠENOSTI

Historické záznamy poruch a havárií sypaných hrází spojených s účinky zemětřesení obsahují řadu mechanismů porušování, u který lze současnými metodami provést ověření na základě teoretických postupů a modelování nebo analýzy experimentálních dat. Následující tabulka (Tab. 1) nabízí přehled pozorovaných dopadů zemětřesení na zemní sypané hráze. Pozn. U kamenitých přehrad lze z posouzení vyjmout otázky zabývající se ztekucením hráze či jejich částí v důsledku nárůstu pórových tlaků. Počty havárií a poruch kamenitých přehrad v souvislosti se zemětřesením v porovnání se zemními celkově výrazně nižší [4].

Tab. 1 Důsledky zemětřesení a VD Horka

Popis dopadu na hráz	Aplikovatelnost u VD Horka	Způsob ověření
Ztráta stability (usmýknutí) návodního nebo vzdušního svahu či jeho části případně vč. založení	ANO	PSA, NM
Nepřípustné deformace vedoucí k přelítí hráze nebo rozvoji trhlin a průsakům	ANO	ZMDA, NM
Ztekucení či ztráta smykové pevnosti v důsledku nárůstu pórových tlaků	ANO	EM
Nerovnoměrné deformace v oblasti zlomu pod tělesem hráze	NE	IGP, PS
Přelítí hráze v důsledku impaktních vln vyvolaných sesuvem svahů či lavin do prostoru nádrže	ANO	NM, EM
Poškození výpustných zařízení či ztráta kontaktu s těsnicím prvkem hráze	ANO	ZMDA, NM

PSA...pseudostatická analýza, NM...numerické metody, ZMDA...zjednodušené metody deformační analýzy, EM...empirické posouzení, IGP...inženýrskogeologický průzkum, PS...paleoseismické studie

Zatímco u poruch způsobených zemětřesením nelze snadno stanovit nejčastější mechanismus poškození, u havárií se jednoznačně jedná o ztekucení, které se týká zejména nasycených písčitých, štěrkopískových a štěrkovitých zemin [5]. Například při zemětřesení v japonské Ojice v roce 1939 došlo ke 12 haváriím sypaných zemních hrází obsahující písčité zeminy v důsledku ztekucení a u dalších 40 hrází z podobného materiálu došlo k usmýknutí svahů, zatímco hráze z jílovitých zemin, které byly i blíže epicentru výrazněji poškozeny nebyly [6]. Ovlivnění povrchu zemětřesením se obecně odvíjí od charakteru zlomu [7]. Typická tektonická zemětřesení se projevují hlavním otřesem, který způsobí většinu škod, po němž následují v horizontu měsíců až let tzv. dotřesy, tedy série slabších otřesů [8]. V předmětné oblasti ovlivňující VD Horka ovšem dochází ke vzniku tzv. zemětřesných rojů, u nichž nejsou zcela objasněny fyzikální procesy jejich vzniku, což vnáší určitou nejistotu do stanovení návrhových charakteristik seismického zatížení. Roje se vyznačují vznikem stovek až tisíců otřesů v průběhu dní až měsíců aktivity [9].

3 NÁVRHOVÉ SEISMICKÉ ZATÍŽENÍ

Stejně jako v případech jiných zatížení a odezvy konstrukce (vztlaky, proudové tlaky v tělese hráze atd.) došlo i v případě zemních sypaných hrází k postupnému vývoji v určení návrhových hodnot seismického zatížení i způsobu stanovení odezvy konstrukce. Díky rozšiřování monitorovacích sítí, v Krušnohorské oblasti síť WEBNET, dochází k výraznému snižování epistemické nejistoty při určování pravděpodobnosti překročení studovaných jevů. Do návrhu a zejména posuzování se pak propisují zvyšující se požadavky na bezpečnost přehrad, na které jsme si přivykli v oblasti bezpečnosti za povodní. Zároveň je k dispozici i delší řada pozorovaných zemětřesení, a tedy přímo měřených akcelerogramů, které lze využít pro kalibraci modelů odezvy konstrukce a širší báze znalostí při posuzování rizik ztekucení.

3.1 Historický vývoj na území dnešní ČR

Seismická aktivita v oblasti Chebska nepředstavovala pro přehradní výstavbu na území dnešní ČR výraznější impuls až do počátku druhé poloviny dvacátého století, kdy byla zahájena realizace tří významných přehrad. Jedná se o VD Jesenice, realizované v období 1957–1961, VD Skalka (1962-1964) a VD Horka (1966–1970). Zatímco VD Skalka je kamenitou hrází s návodním asfaltobetonovým těsněním, v případě zbývajících dvou přehrad se jedná o sypané zemní hráze s těsněním z jemnozrnných zemin. Při realizaci VD Horka, však nebyly specifikovány ani požadavky na smykové či pevnostní charakteristiky zemin (pouze oblasti zrnitosti, zhutnění a nasycená hydraulická vodivost) a nebyly prováděny stabilitní výpočty [10], které by s potenciálním seismickým zatížením pracovaly, jakkoliv byly dnes stále využívané metody mezní rovnováhy k dispozici. Po roce 1970 se v publikacích zaměřených na realizaci přehrad začalo pracovat se seismickým součinitelem (k_h - horizontálním), který je definován jako poměr seismického a gravitačního zrychlení. Hodnoty k_h doporučené pro území ČR jsou v rozmezí 0,08 – 0,1, tj. $a = 0,8$ až $1,0 \text{ m.s}^{-2}$, což odpovídalo základnímu seismickému součiniteli K dle [1] pro 8 až 9 stupně intenzity zemětřesení dle stupnice M.C.S.

3.2 Současnost a Mezinárodní přehradní komise (ICOLD)

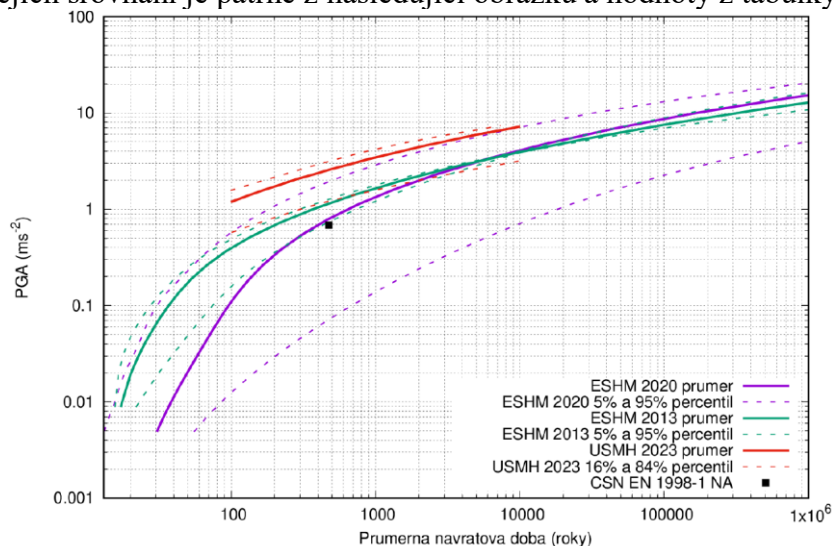
Dle platné ČSN 75 2310 Sypané hráze [11], je při řešení stability zapotřebí zohlednit zatížení od zemětřesení až do 8° MSK 64 (Medvedev-Sponheuer-Kárník). Jedná se ovšem o stupeň intenzity zemětřesení, který lze převést na zrychlení terénu v místě hráze jen pomocí

přibližných tabulek, např. dle [12] by 8°MSK 64 odpovídal špičkovému zrychlení $2,0 \text{ m.s}^{-2}$, tedy součiniteli $k_h=0,2$.

Současná mezinárodní praxe [13] při volbě návrhových hodnot seismického zatížení využívá pro analýzu dvě návrhové hodnoty s ohledem na pravděpodobnost jejich výskytu v průběhu životnosti vodního díla a dovoleného poškození. Při použití analogie k hydrologickým podkladům se tak jedná o „návrhové“ (Operating Basis Earthquake – OBE) a „kontrolní“ (Safety Evaluation Earthquake – SEE) zemětřesení. Pro OBE se ustálil požadavek na 50% pravděpodobnost překročení během 100 let, což odpovídá 145 leté době opakování a roční pravděpodobnosti překročení 6,9%. Průchod OBE nesmí způsobit výraznější škody na hrázi ani přidružených objektech. Při stanovení SEE postupují různé státy různými metodami v závislosti na vyhodnocení potenciálu škod či přípustného rizika. Analogie s povodněmi by v ČR znamenala použití hodnot zemětřesení s dobou opakování 10.000 let pro vodní díla I. a II. kategorie z pohledu technickobezpečnostního dohledu a 1.000 let pro vodní díla III. kategorie při použití deterministického přístupu v hodnocení. Průchod SEE nesmí způsobit havárii vodního díla, tedy vznik zvláštní povodně typu 1. V případě sypaných zemních hrází to znamená omezení v podobě stability svahů při smykových plochách ohrožující celkovou stabilitu díla, deformací, které by vyústily v přelití při zásobní hladině nebo trhlinám provázených nekontrolovatelným průsakem, ztekucení hráze, její části či podloží a poškození výpustných zařízení, které by ohrozilo hráz.

3.3 Modely seismického ohrožení pro VD Horka

Pro stanovení návrhových špičkových zrychlení (PGA) pro VD Horka byly využity dostupné modely pravděpodobnostní analýzy seismického ohrožení (PSHA) včetně národní přílohy Eurokódu 8. Jejich srovnání je patrné z následující obrázku a hodnoty z tabulky



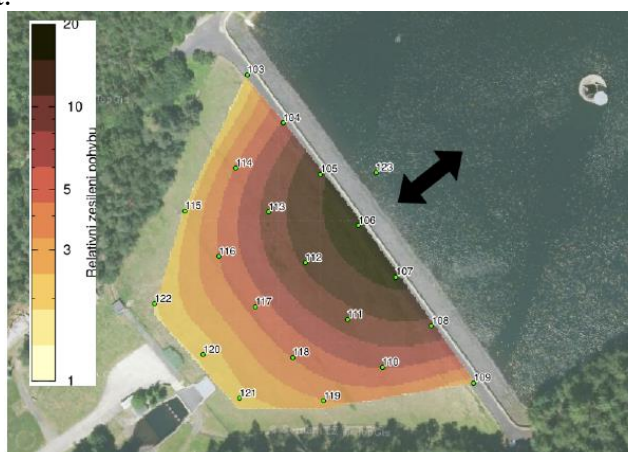
Obr. 2 Srovnání modelů PSHA pro lokalitu VD Horka – pro finální analýzu byla využita data z modelu ESHM 2013 – zelená křivka [3]

Tab. 2 Hodnoty špičkového zrychlení (PGA v m.s^{-2}) dle dostupných modelů PSHA pro lokalitu VD Horka a vybrané doby opakování v letech – hodnoty použité v analýze jsou vyznačeny tučně

Doba opakování	ESHM 2013	ESHM 2020	USMH 2023
100	0,40	0,11	1,19
1000	1,65	1,34	3,44
10000	3,90	4,10	7,25

4 ODEZVA HRÁZE VD HORKA A MĚŘENÍ

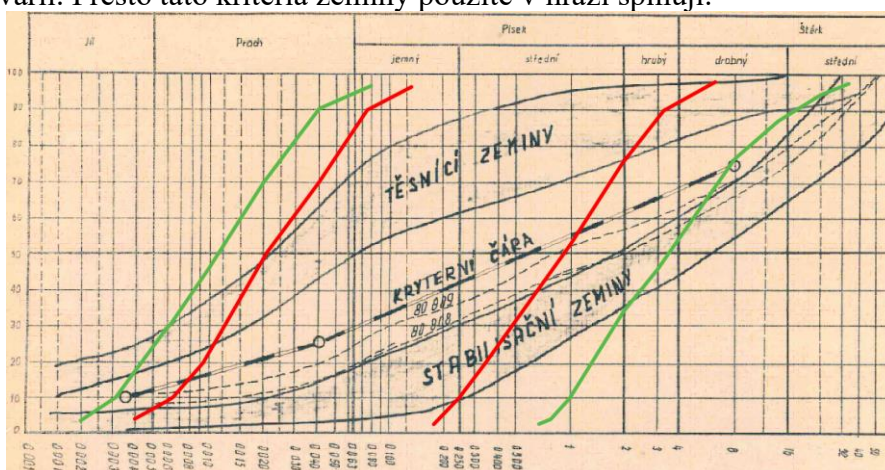
V dubnu roku 2022 s pomocí 23 seismických stanic provedli pracovníci Geofyzikálního ústavu Akademie věd ČR měření přirozených seismických vibrací tělesa. Na obrázku níže (Obr. 3) je v barevné škále zobrazeno zesílení pohybů vůči referenční stanici umístěné na pravém závězu 110 m proti toku a 250 m po toku. Škála je vynesena pro frekvenci 3,12 Hz, která je zároveň první základní rezonanční frekvence hráze. Amplifikace pohybů/otřesů je v koruně až 20násobná – směr pohybů je kolmo na hráz. Při druhé základní rezonanční frekvenci (3,46 Hz) ve směru rovnoběžném s osou hráze je maximální zesílení ve střední části koruny hráze desetinásobné. Nejsilnější jev pozorovaný od instalace akcelerometrů na VD Horka proběhl 4.11.2023 s lokálním magnitudem 3,1 a PGA kolmo na hráz 0,08 m.s⁻², což odpovídá průměrné době opakování 34 let.



Obr. 3 Relativní zesílení pohybů tělesa hráze VD Horka pro základní rezonanční mód o frekvenci 3,12 Hz [14]

4.1 Riziko ztekucení a charakteristiky zemin v hrázi

Od konce 20. století došlo k zásadním revizím v přístupu k riziku ztekucení zemin v důsledku dynamického namáhání. Původní kritéria pro riziko ztekucení, která jsou vyznačena na následujícím obrázku (Obr. 4) vůči křivkám zrnitosti zemin použitých v hrázi VD Horka jsou dnes považována za příliš úzká, a to na základě jak laboratorních experimentů, tak i analýz poruch a havárií. Přesto tato kritéria zeminy použité v hrázi splňují.



Obr. 4 Rozsahy čar zrnitosti zemin použitých na VD Horka [10] a oblasti zemin podléhajících ztekucení (červeně) nebo jím ohrožených (zeleně) [6]

5 ZÁVĚR

VD Horka bylo realizováno v seismicky aktivní oblasti způsobem, který odpovídá tehdejší úrovni poznání z hlediska působení dynamického zatížení na zemní sypané hráze, potenciální intenzitě zemětřesení a požadavkům na bezpečnost přehrad. Ve všech třech hlediskách došlo od výstavby k výraznému posunu. Nedávné paleoseismické studie potvrdily v lokalitě VD Horka výskyt extrémních zatížení a pravděpodobnostní analýzy seismického ohrožení, které využívají současné úrovně poznání, umožňují stanovení návrhového seismického zatížení v souladu s požadavky na bezpečnost, jež odpovídají nárokům dnešní společnosti. Příspěvek prezentuje informace získané z měření přímo na hrázi při přirozených vibracích i v průběhu zemětřesení.

SEZNAM LITERATURY

- [1] ČSN 73 0036 *Seismická zatížení staveb (1975)*: Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1975, 45 s. Třídící znak 730036.
- [2] Štěpančíková, P., Fischer, T., Stemberk, J., Nováková, L., Hartvich, F., Figueiredo, P.M. (2019): *Active tectonics in the Cheb Basin: youngest documented Holocene surface faulting in central Europe? Geomorphology*. 327 (2019). pp. 472-488.
- [3] Doubravová, J., Burjánek, J. (2023): *Zpracování podkladů pro deformační a stabilitní analýzu VD Horka*. Geofyzikální ústav AV ČR, v.v.i. Praha. 13 s.
- [4] *ICOLD Bulletin 99 update (2019): Statistical analysis of dam failures*. Paříž: ICOLD – CIGB (preprint – ICOLD members only), 65 s.
- [5] Fell, R., MacGregor, P., Stapledon, D., Bell, G. (2005): *Geotechnical Engineering of Dams*. Londýn: Taylor & Francis Group plc., 912 s.
- [6] Tanchev, L. (2005): *Dams and Appurtenant Hydraulic Structures 2nd Ed.*, Londýn: Taylor & Francis Group plc., 1097 s.
- [7] Sherard, J.L., Cluff, L.S., Allen, C.R. (1974): *Potentially active faults in dam foundations*. *Geotechnique*. 24(3). pp. 367-428.
- [8] Reiter, L. (1990): *Earthquake Hazard Analysis*, New York: Columbia University Press. 254 s.
- [9] Horálek J., Fischer T., Boušková A., Michálek J., Hrubcová P. (2009): *The West Bohemian 2008-earthquake swarm: When, where, what size and data*, *Stud. Geophys. Geod* (53), pp. 351-358.
- [10] Barvínek, R. (1969): *SOKOLOVSKO Zeminy hráze 7273 - IN*, Praha: Stavební geologie n.p., 24 s.
- [11] ČSN 75 2310 *Sypané hráze (2006)*: Praha: Český normalizační institut, 2006, 36 s. Třídící znak 752310.
- [12] Newmark, N., Rosenblueth, E. (1971): *Fundamentals of earthquake engineering*, New Jersey: Prentice-Hall. 640 s.
- [13] *ICOLD Bulletin 72 Revised (2010): Selecting seismic parameters for large dams Guidelines*. Paříž: ICOLD – CIGB, 37 s.
- [14] Burjánek, J. (2023): *Odhad rezonančních charakteristik tělesa hráze vodní nádrže Horka*. Geofyzikální ústav AV ČR, v.v.i. Praha. 2 s.

AUTOŘI

Autor 1: Ing. Miroslav Brouček, Ph.D., České vysoké učení technické v Praze – Fakulta stavební, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, Česká republika, miroslav.broucek@fsv.cvut.cz

Autor 2: Ing. Petra Suchopárková, Povodí Ohře, státní podnik, Bezručova 4219, 430 03 Chomutov, Česká republika, suchoparkova@poh.cz

Autor 3: Ing. Ondřej Švarc, VODNÍ DÍLA – TBD a. s., Hybernská 1617/40, 110 00 Praha 1, Česká republika, svarc@vdtbd.cz

VYUŽITIE GEOFYZIKÁLNYCH METÓD PRI KONTROLE BEZPEČNOSTI VD BUKOVÁ

UTILIZATION OF GEOPHYSICAL METHODS IN SAFETY CONTROL OF THE BUKOVÁ DAM

Monika Súľovská¹, Emília Bednárová², Albert Közseghy³

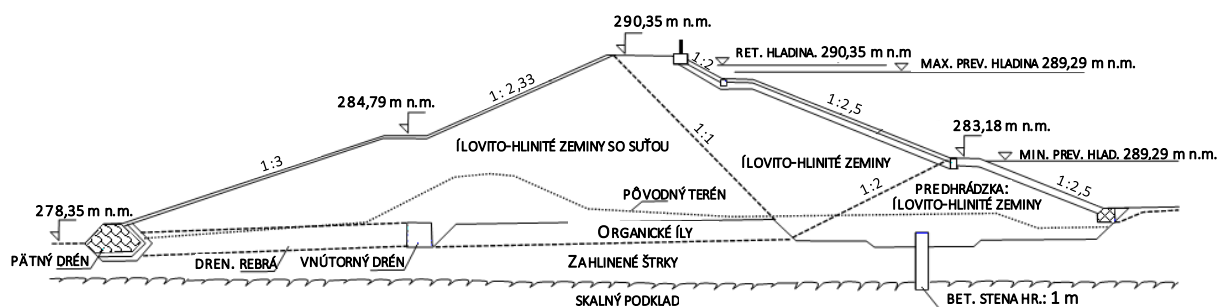
Abstrakt: Vodné dielo Buková bolo uvedené do trvalej prevádzky v roku 1967 s účelom zabezpečenia dodávky vody pre zavlažovanie poľnohospodársky využívaných pozemkov. V súčasnosti slúži nádrž na zachytenie a sploštenie povodňových prietokov ako aj pre úpravu odtokových pomerov povodia toku Hrudky. Počas trvalej prevádzky prislúcha správcovi povinnosť vykonávať technicko-bezpečnostný dohľad nad vodnou stavbou Buková, ktorá je zaradená do III. kategórie vodných stavieb. V tejto súvislosti boli v pozorovacích objektoch vodného diela v roku 2023 vykonané špeciálne geofyzikálne merania filtračných rýchlostí, ako súčasť komplexnej analýzy pohybu podzemných a priesakových vôd telesom a podložím priehrady. Na základe vykonaných meraní, ako aj analýzy ďalších sprievodných javov režimu prúdenia bolo možné zhodnotiť charakter filtračného režimu a posúdiť bezpečnosť telesa a podložia priehrady z hľadiska filtračnej stability. V predkladanom príspevku sú prezentované výsledky predmetnej analýzy a odporúčania pre zachovanie spoľahlivosti prevádzky vodného diela.

Abstract: The Buková dam was put into permanent operation in 1967 to ensure the water supply for the irrigation of agricultural land. Currently, the reservoir serves to capture and flatten flood flows as well as to regulate the discharge conditions of the Hrudky stream. During permanent operation, the administrator is obliged to carry out technical and safety supervision of the Buková dam, which is classified in the III. category of hydraulic structures. In this context, special geophysical measurements of filtration velocities were carried out in the observation objects of the dam in 2023, as part of a comprehensive analysis of the movement of groundwater and seepage water through the body and subsoil of the dam. Based on the measurements carried out, as well as the analysis of other accompanying phenomena of the flow regime, it was possible to evaluate the nature of the filtration regime and to assess the safety of the dam body and foundation in terms of filtration stability. The presented paper presents the results of the above analysis and recommendations for maintaining the reliability of the dam operation.

1 ÚVOD

Vodné dielo Buková bolo uvedené do trvalej prevádzky v roku 1967. Akumulačný priestor nádrže 1,42 mil. m³ bol vytvorený prehradením potoka Hrudky zemnou priehradou výšky 14,6 m nad základovou škárou. Na jej návodnej strane prevládajú ílovito-hlinité zeminy, na vzdušnej ílovito-hlinité zeminy so suťami (obr. 1). Teleso priehrady je do skalného podložia zviazané podzemnou betónovou stenou hrúbky 1 m, ktorá bola vybudovaná pod predhrádzkou. Na odvádzanie a monitorovanie priesakov telesom priehrady bol v oblasti základovej škáry vzdušnej časti telesa hrádze vybudovaný drenážny systém. Tvorí ho vnútorný drén, ktorý je pričnými rebrami vyústený do pätného drénu. Ten je umiestnený v stabilizačnej kamennej pätko [1], [2].

Podložie vodného diela a jeho okolia je tvorené sedimentami mezozoika, paleogénu a kvartéru. Mezozoikum je zastúpené piesčito-ílovitými bridlicami a pieskovecami. Bridlice vystupujú na povrch v ľavom svahu priehradného profilu a sú v priamom styku s bazálnym paleogénom.



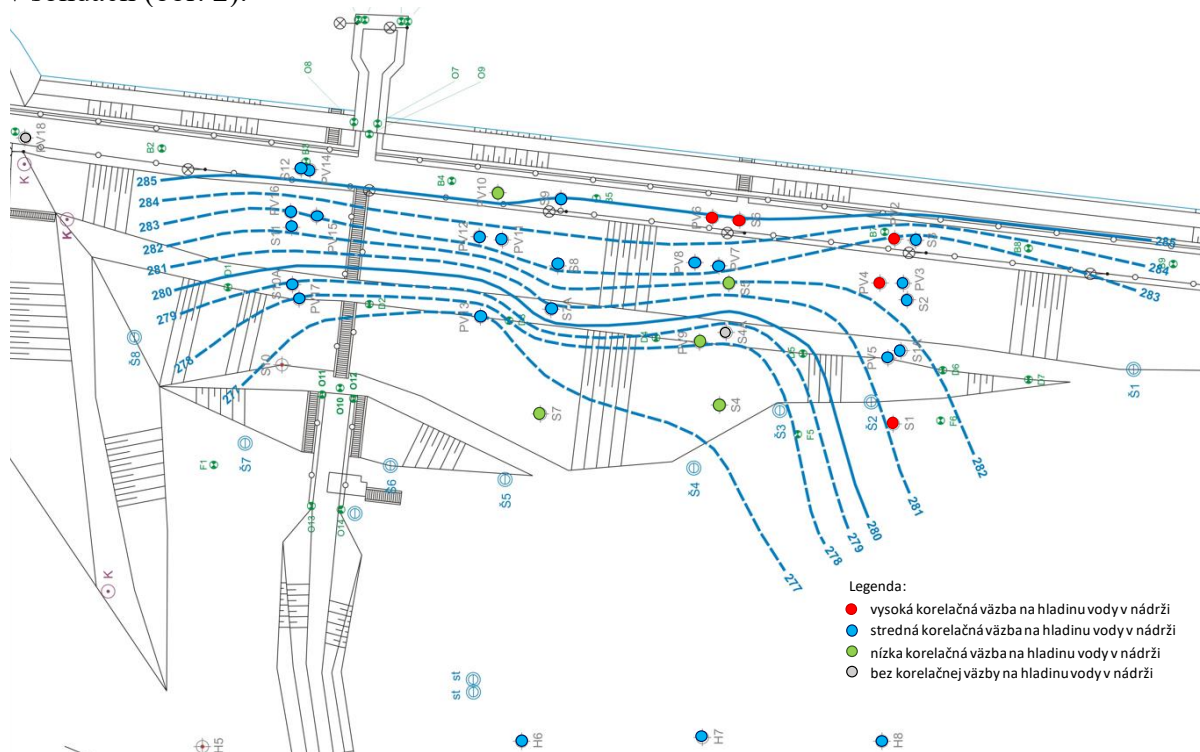
Obr.1 Priečný profil priehrady

Paleogén je zastúpený vápnitými zlepcami, vápencami a mocnými vrstvami piesčito-prachovitých bridlíc flyšového typu v nadloží. Kvartér tvoria eluviálne a deluviálne hlinito-kamenité suty, náplavové kužele a v strednej časti kotliny aluviálne náplavy potokov značnej mocnosti.

2 HLADINOVÝ REŽIM V TELESE A V PODLOŽÍ PRIEHRADY

Hladinový režim podzemných a priesakových vôd v telese a v podloží priehrady a v jej priľahlých údolných svahoch je na VD Buková monitorovaný systémom pozorovacích objektov. Pôvodne ho tvorilo 33 pozorovacích objektov (S, HP) a v roku 1994 bol systém doplnený o 18 nových objektov (PV). V súčasnosti slúži k monitorovaniu hladinového režimu podzemných a priesakových vôd v telese priehrady, v jej podloží a v oblastiach zviazaní 41 pozorovacích objektov.

Analýzu vývoja hladiny podzemných a priesakových vôd telesom a podloží priehrady, ako aj spoľahlivosti pozorovacieho systému za obdobie 2001 až 2022 čiastočne dotvárajú hodnoty korelačných súčiniteľov, ktorými je vyjadrená spätosť medzi hladinou v nádrži a hladinami v sondách (obr. 2).



Obr. 2 Schéma rozdelenia hydroizohýps podzemných a priesakových vôd v podloží priehrady s vyznačením korelačnej väzby na hladinu vody nádrži

Kategórie, potvrdzujúce vzájomnú kontinuitu parametrov filtračného pohybu (hladiny) na hladinu v nádrži boli stanovené takto: $0,1 \leq r < 0,4$ – nízka korelačná väzba, $0,4 \leq r < 0,7$ – stredná korelačná väzba a $0,7 \leq r \leq 1,0$ významná, resp. vysoká korelačná väzba.

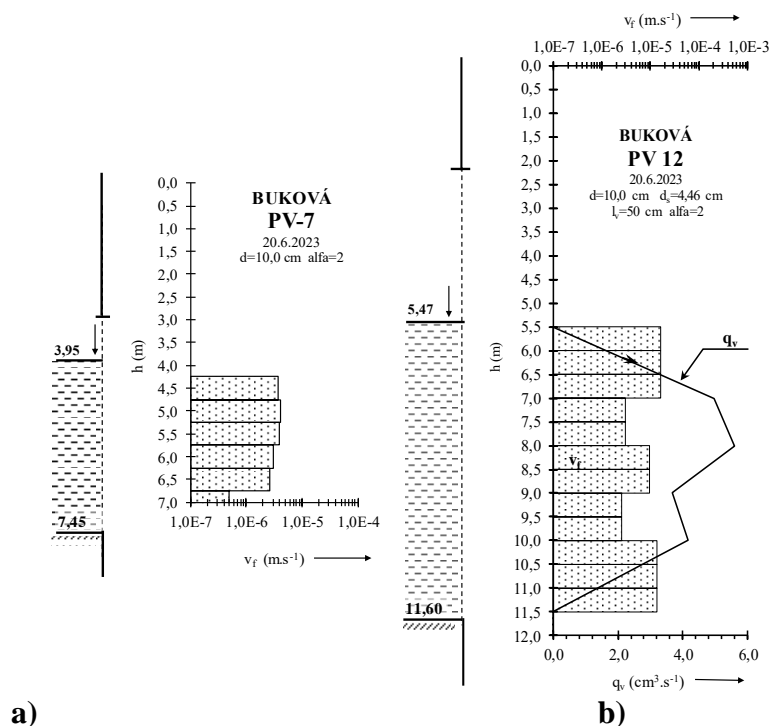
Vývoj hladinového režimu vo väčšine pozorovacích objektoch vykazuje ustálený stav. Výraznejšia rozkolísanosť hladiny v pozorovacích objektoch sa viaže prevažne na oblasti zaviazaní, najmä v ľavostrannej časti údolia, kde možno evidovať obtekanie podzemných a priesakových vôd; to sa prejavuje na kontinuite hladín v pozorovacích objektoch (vysokou korelačnou väzbou na hladinu vody v nádrži), ako aj na adekvátnej amplitúde kolísania vo väzbe na hladinu vody v nádrži.

3 FILTRAČNÉ RÝCHLOSTI

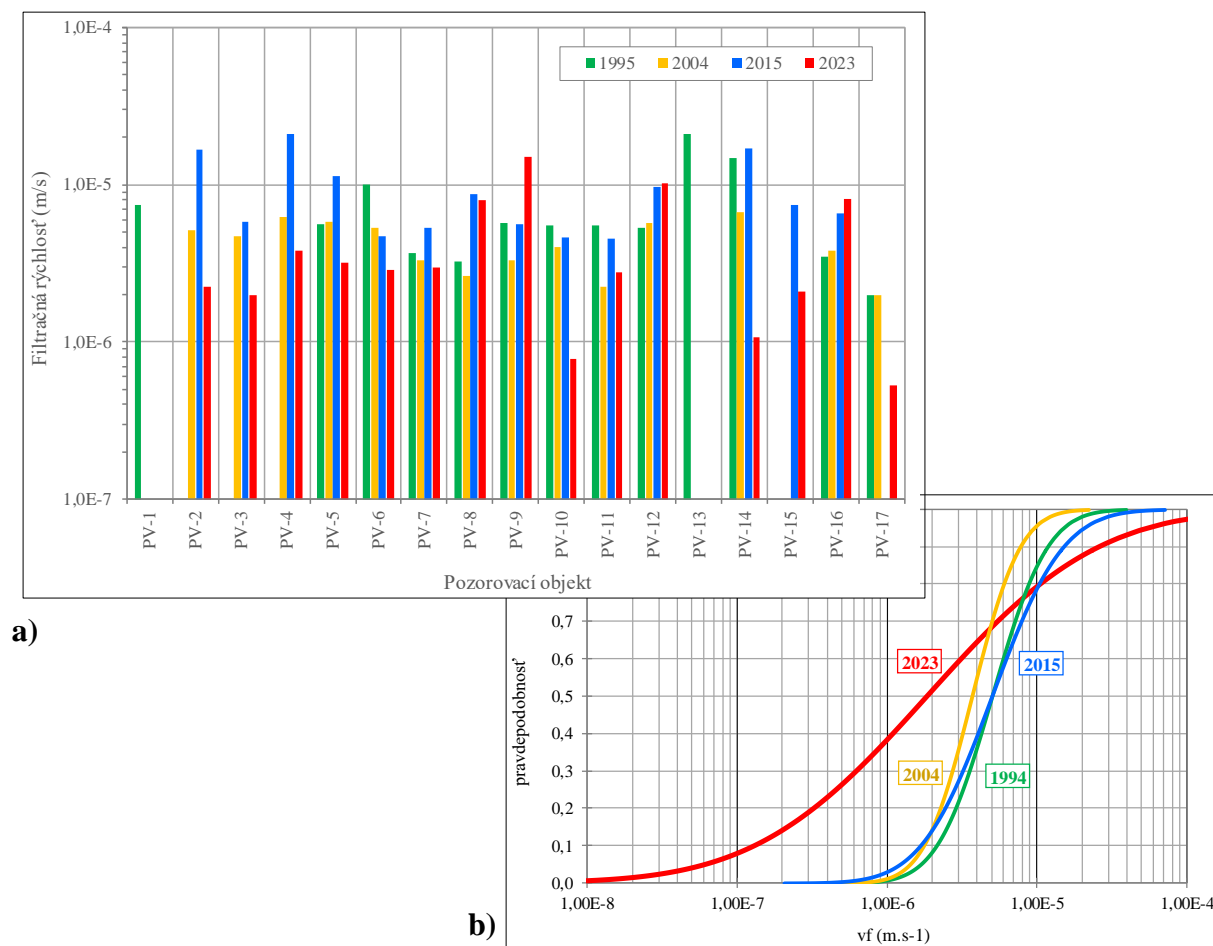
Merania filtračných rýchlostí na vodných stavbách predstavujú dôležitú súčasť posudzovania bezpečnosti a spoľahlivosti ich prevádzky. Na VD Buková boli realizované na jar v roku 2023, pri hladine vody v nádrži 289,16 m n. m. Pri meraniach filtračných rýchlostí boli uplatnené jednovrtové metódy, založené na sledovaní procesu riedenia alebo vertikálneho pohybu indikátorového roztoku – chloridu sodného. Zried'ovacia metóda bola, na základe platných a v in situ overených zásad geofyzikálnych meraní, aplikovaná v pozorovacích objektoch s nízkym vodným stĺpcom, do cca 3 m. Na sledovanie procesu riedenia sa použila ponorná elektródová sonda a batériové vyhodnocovacie zariadenie CyberScan 100. V pozorovacích objektoch s vyšším vodným stĺpcom, ktoré spravidla snímajú filtračný režim v podloží priehrady, bola k meraniam filtračných rýchlostí aplikovaná metóda sledovania vertikálneho pohybu vody vo vrte. K tomu boli použité ponorné sondy, ktoré majú v sebe zabudované dávkovacie zariadenia s pneumatickým ovládaním. Pre ilustráciu dokumentujeme na obr. 3. časti grafického spracovania výsledkov meraní zried'ovacou i vertikálnou metódou. Pri danom zaťažovacom stave (z júna 2023) vykazovali merania filtračných rýchlostí v pozorovacích objektoch intenzitu filtračného pohybu podzemných a priesakových vôd rádovo 10^{-7} m.s^{-1} až 10^{-5} m.s^{-1} ; v približne 68 % meraní. Intenzita filtračného pohybu vyššia ako 10^{-5} m.s^{-1} bola zaznamenaná v menej ako 6 % meraní.

Pre získanie trendu vývoja priemernej intenzity filtračného pohybu podzemných a priesakových vôd boli do analýzy zaradené aj predchádzajúce merania z rokov 1995 [3], 2004 [4], a 2015 [5]; ich výsledky v pozorovacích objektoch PV sú dokumentované obr. 4a.

Prehľad o rozdelení intenzity filtračného pohybu v skúmanej oblasti VD Buková poskytujú distribučné funkcie nameraných hodnôt filtračných rýchlostí. Zo štatistického hľadiska má dôležité postavenie medián (s pravdepodobnosťou výskytu 50 %), pravdepodobnosť výskytu priemernej filtračnej rýchlosti, ale aj pravdepodobnosť výskytu hodnôt, ktoré sú z hľadiska filtračnej stability rozhodujúce a to prípustných (resp. kritických) filtračných rýchlostí. Porovnanie výsledkov súborov meraní filtračných rýchlostí z predchádzajúcich rokov (1995, 2004 a 2015) a z roku 2023 formou ich teoretických distribučných funkcií prezentuje obr. 4b. Zo štatistického spracovania meraní filtračných rýchlostí z roku 2023 je zrejmé, že medián má hodnotu $3,11 \cdot 10^{-6} \text{ m.s}^{-1}$ a priemerná hodnota je $7,25 \cdot 10^{-6} \text{ m.s}^{-1}$ s pravdepodobnosťou výskytu 25 %. Rozdiel v distribučných funkciách, získaných z predošlých súborov meraní (1995, 2004 a 2015) a z merania v júni 2023 je spôsobený mierne odlišnými okrajovými podmienkami pri predošlých meraniach. Distribučné funkcie z rokov 1995, 2004 a 2015 sú limitované minimálnou meranou hodnotou filtračných rýchlostí $1 \cdot 10^{-6} \text{ m.s}^{-1}$, čo to sa prejavuje rozdielmi v základných štatistických parametroch, ako minimum, medián a priemer. Z dokumentovaných výsledkov meraní filtračných rýchlostí v okolí pozorovacích objektov VD Buková možno usúdiť, že sú adekvátne materiálom, zabudovaným do telesa priehrady, relatívne rovnomernej geologickej skladbe dotknutého prostredia a morfológií územia.



Obr. 3 Ilustrácia grafického spracovania výsledkov meraní filtračných rýchlostí
a) zriedčovacou metódou b) metódou sledovania vertikálneho pohybu vody vo vrte

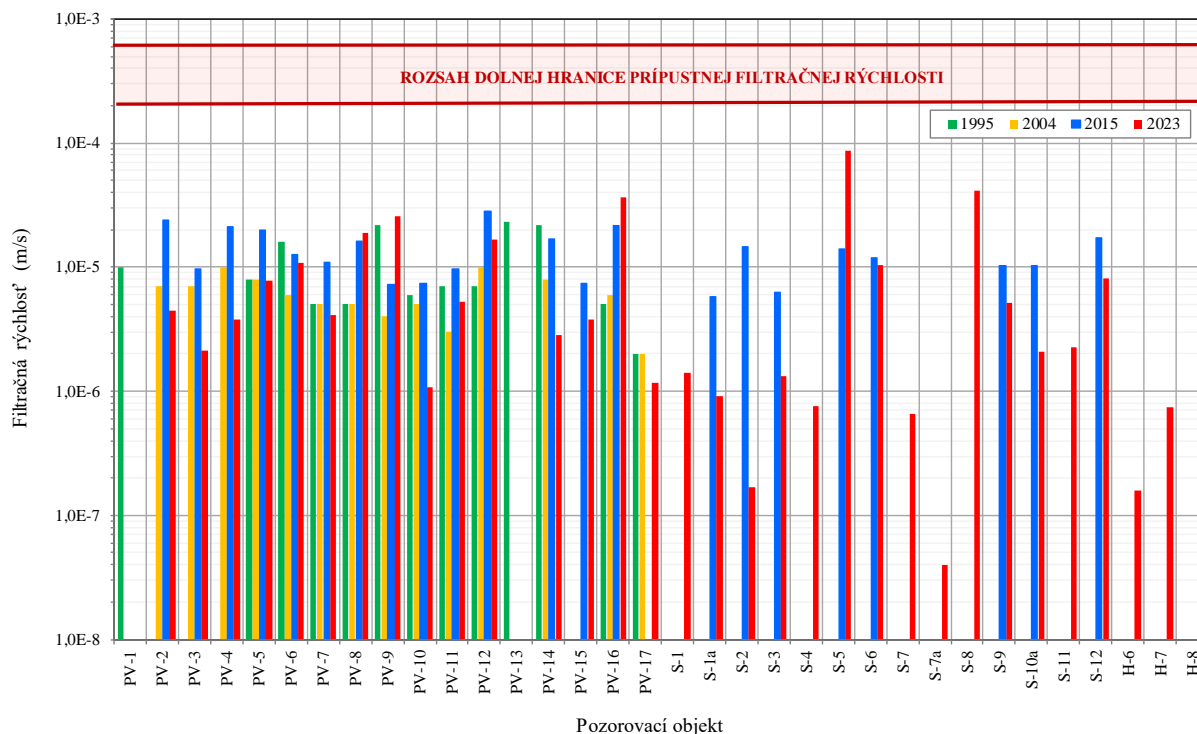


Obr. 4 Výsledky meraní filtračných rýchlostí a) priemerné hodnoty v pozorovacích objektoch PV b) teoretické distribučné funkcie rozdelenia filtračných rýchlostí

4 POSÚDENIE FILTRAČNEJ STABILITY

Pri posudzovaní možného rizika vzniku vnútornej, príp. kontaktnej sufózie sú determinujúce maximálne hodnoty filtračných rýchlostí a ich porovnanie s prípustnými (kritickými) hodnotami. Z dostupných podkladov [6] a [7] je zrejmé, že hlavnou súčasťou riečnych náplav v podloží priehrady sú zahlinené štrky. Vzhľadom na málo reprezentatívny rozsah existujúcich informácií bola hodnota prípustnej filtračnej rýchlosti stanovená len orientačne. Na základe stanoveného koeficienta filtrácie zahlinených štrkov bola hodnota prípustnej filtračnej rýchlosti stanovená len orientačne. Z výsledkov štúdie [8] vyplýva, že dolná hranica prípustných filtračných rýchlostí pre štrkovité zeminy (zaznamenané v podloží priehrady Buková - so súčiniteľom filtrácie rádovo 10^{-5} m.s^{-1} až 10^{-4} m.s^{-1}), sa pohybuje v rozmedzí $v_f = 2,0 \cdot 10^{-4} \text{ m.s}^{-1}$ – $6,0 \cdot 10^{-4} \text{ m.s}^{-1}$.

Prehľad o vývoji maximálnych hodnôt filtračných rýchlostí v skúmanej oblasti prezentuje obr. 5. Formou stĺpcového diagramu tu sú uvedené výsledky všetkých doterajších meraní od roku 1995 po 2023. Z predkladanej analýzy vyplýva, že počas doterajšej prevádzky vodného diela nebola dolná hranica kritickej filtračnej rýchlosti pre zahlinené štrky dosiahnutá. V rámci meraní v júni 2023 bola najvyššia filtračná rýchlosť v podmienkach telesa i podložia priehrady zaznamenaná v okolí v pozorovacom objekte S-5 hodnotou $8,62 \cdot 10^{-5} \text{ m.s}^{-1}$. Uvedená maximálna filtračná rýchlosť bola zaznamenaná v mernom profile km 0,179, pod vzdušným svahom hrádze, v oblasti jej základovej škáry.



Obr. 5 Porovnanie maximálnych hodnôt filtračných rýchlostí s prípustnou hodnotou

Ďalšie možné rizikové faktory porušenia filtračnej stability zemín – či už existenciu povrchovej erózie, príp. riziko prelomenia povrchových pokryvných vrstiev vztlakom, neboli v podmienkach vodného diela zaznamenané. Kvalita opevnenia vzdušného svahu zodpovedá požadovaným štandardom, hladiny podzemných a priesakových vôd sa spravidla pohybujú v dostatočnej hĺbke pod povrchom terénu.

Zo súhrnnej analýzy vyplýva, že v podmienkach VD Buková neboli zaznamenané žiadne rizikové faktory, ohrozujúce filtračnú stabilitu zemín, zabudovaných do jej telesa a nachádzajúcich sa v jej podloží.

5 ZÁVER

Na základe vykonaných geofyzikálnych meraní filtračných rýchlostí v pozorovacích objektoch v telese a v podloží hrádze a analýzy ďalších sprievodných javov režimu prúdenia bolo možné zhodnotiť charakter filtračného režimu a posúdiť bezpečnosť telesa a podložia priehrady z hľadiska filtračnej stability. Hladinový režim podzemných a priesakových vôd v telese a v podloží priehrady Buková a v príľahlých svahoch údolia zodpovedá jej typológii, existujúcim protipriesakovým opatreniam, ako aj geologickej a morfolologickej skladbe daného územia. Z preukázaných výsledkov geofyzikálnych meraní vyplynulo, že za obdobie doterajšej prevádzky vodného diela nebola dolná hranica prípustnej filtračnej rýchlosti pre zahlinené štrky dosiahnutá. Rizikové faktory pre vznik vnútornej sufózie neboli v rámci realizovaných meraní filtračných rýchlostí v okolí pozorovacích objektov zaznamenané; filtračná stabilita priehrady nie je v súčasnosti ohrozená. Súhrnnou analýzou vývoja parametrov filtračného pohybu podzemných a priesakových vôd bolo možné konštatovať, že protipriesakové opatrenia v telese a podloží priehrady vyhovujú kritériám na bezpečnú prevádzku vodného diela.

ZOZNAM LITERATÚRY

- [1] *Abaffy, D. a kol.: Vodné diela na Slovensku, Príroda, Bratislava, 1979.*
- [2] *VS Buková. Etapová správa o dohľade počas trvalej prevádzky za obdobie rokov 2015 – 2018. Slovenský vodohospodársky podnik, š.p., OZ Bratislava, 2019.*
- [3] *Harušťák, P. a kol.: VD Buková – Základné geofyzikálne merania v pozorovacích vrtoch. Záverečná správa. HYDROING Bratislava, december 1995*
- [4] *Harušťák, P. a kol.: VD Buková, geofyzikálne merania režimu prúdenia podzemných vôd a priesakových vôd v systéme pozorovacích sond. HYDROING Bratislava, september 2004.*
- [5] *Ševčík I.: VN Buková. Geofyzikálne merania rýchlosti prúdenia vody v pozorovacom systéme vrtov na VN Buková v roku 2025. R-S Ševčík, Bratislava, december 2015*
- [6] *Šíkula, R.: VD Buková – pozorovacie sondy. Záverečná správa. GeoHycy, a.s., Bratislava, 1994*
- [7] *Sýkorová a kol.: VD Buková – pozorovacie sondy. Výsledky laboratórnych rozborov a skúšok z mechaniky zemín. GeoHycy, a.s. Bratislava, 1994*
- [8] *Hulla, J., Cábél, J.: Analýza kritérií pre filtračnú stabilitu. Inžinierske stavby 1997, č. 4-5, s.145.*

AUTORI

Autor 1: Doc. Ing. Monika Súľovská, PhD., Katedra geotechniky, SvF STU, Radlinského 11, 810 05 Bratislava, Slovenská republika, monika.sulovska@stuba.sk

Autor 2: Prof. Ing. Emília Bednárová, PhD., Katedra geotechniky, SvF STU, Radlinského 11, 810 05 Bratislava, Slovenská republika, emilia.bednarova@stuba.sk

Autor 3: Ing. Albert Közseggy, SVP, š. p., Povodie Dunaja, OZ, Karloveská 2, 842 17 Bratislava, Slovenská republika, albert.koszeghy@svp.sk

STARNUTIE VODNÝCH STAVIEB, REKONŠTRUKCIE A SANÁCIE

INJEKTÁŽNÍ PRÁCE NA PŘEHRADĚ HARCOV

GROUTING WORKS ON THE HARCOV DAM

David Richtř

Abstrakt: Zděná přehrada Harcov, umístěná v intravilánu města Liberce, nespĺňuje současné požadavky na zabezpečení vodního díla při povodních. Problematická je také kvalita podloží i vlastního zdiva hráze. V současné době probíhá komplexní rekonstrukce tohoto historického vodního díla. Příspěvek popisuje část rekonstrukce hráze, kde jsou používány injektážní práce. První částí jsou injektáže pro zvýšení kvality zdiva z lomového kamene. Druhou částí jsou injektáže horniny pro snížení průsaků podloží hráze. Pro obě části byly před konečným návrhem provádění prací vyzkoušeny technologie a injekční směsi na zkušebních injekčních polích. V příspěvku je popsán i systém kontroly provádění prací.

Abstract: The Harcov masonry dam, located in the urban area of Liberec town, does not satisfy the current requirements for the dam's safety during floods. The quality of the bedrock and the dam's masonry is also problematic. A comprehensive reconstruction of this historic dam is currently in progress. The paper describes the parts of the dam reconstruction where grouting is used. The first part is grouting to increase the quality of the rubble stone masonry. The second part is the grouting of the rock to reduce seepage through the dam bedrock. Both parts, technology and grouting materials, were tested in situ in the testing zone before the final design of the works. The work execution control system is also described in the paper.

1 ÚVOD

Na vodním díle Harcov, jehož vzdouvací konstrukci tvoří více než 100 let stará zděná hráz z lomového kamene, probíhá v současné době komplexní rekonstrukce pro zvýšení bezpečnosti při povodních. Již při zpracování Studie opatření k zajištění bezpečnosti vodního díla při povodních [2] bylo zřejmé, že problematika bezpečnosti tohoto historického vodního díla bude velice složitá. Pro zajištění jeho bezpečnosti i při extrémních povodňových situacích bylo navrženo přistoupit ke dvěma typům opatření. Vedle vlastního zvýšení kapacity vodního díla pro převádění povodňových průtoků bylo potřebné zvýšit stabilitu hráze snížením vztlaků tak, aby bylo možno uvažovat s vyšší mezní bezpečnou hladinou (MBH) vody v nádrži. Oba dva typy opatření mají několik reálných řešení, které je možné i vzájemně kombinovat. K rozhodnutí o vhodné variantě správci vodního díla a investorovi rekonstrukce Povodí Labe, státní podnik posloužila právě uvedená Studie. Ta byla pro vybranou variantu rozpracována do konkrétního Návrhu opatření [4], který byl závazným technickým podkladem pro zpracování projektové dokumentace pro stavební povolení [5].

Pro zajištění stability hráze je potřebné vyřešit zejména problém dlouhodobě zvýšených vztlaků v oblasti základové spáry hráze, které byly u této hráze vzhledem k nepříznivému rozložení geotechnických typů v jejím podloží horší než teoretické (teoretický lineární úbytek vztlaku při netěsněném podloží). To bylo navrženo řešit těsněním podloží pomocí injekční clony prováděné z injekční chodby k tomu vybudované u návodní paty hráze (po odtěžení návodního zemního předsypu).

Pro kontrolu injekčních prací si investor objednal u společnosti VODNÍ DÍLA – TBD a.s. provádění injektážního dozoru. Jeho úkolem je vedle kontroly kvality prací a dodržování technologických postupů i návrh zkušební injektáže zdiva i podloží [8], [9] na zkušebních injekčních polích.

2 ZDIVO HRÁZE

2.1 Materiál hráze a jeho stav podle výsledků průzkumných prací

Zdivo hráze je z místního lomového kamene (žula) zděné na maltu cemento – trasovou (objemově 1 : 1). Složení malt: cementová 1 : 3, trasová (1,5 dílu trasu, 1 dílu vápna, 1,75 dílu písku). Jednotlivé kameny byly před uložením do zdiva očištěny drátěnými kartáči a proudem vody o tlaku min. 2 atm. Měrná váha zdiva je cca 2300 kg/m³.

Hráz do značné míry prosakuje. Průsaky jsou způsobeny částečně netěsností původní izolace na návodní straně hráze, částečně poškozením původní hydroizolace na koruně hráze. Kámen jádrového zdiva byl často navětralý, takže se při vrtání dělil. Ve zdivu i v podkladním betonu byly zachyceny četné dutiny různých velikostí.

Drenážní funkce svislých odvodňovacích prvků a svodných drenů je jen částečná. Drenáž je z části nefunkční (zarostlá, zakolmatovaná vápennými výluhy).

2.2 Zkušební injektáž zdiva

Pro ověření injektovatelnosti zdiva hráze bylo navrženo provedení zkušebních injekčních vrtů. Pro jejich provádění byl zpracován Technologický předpis [8], jehož cílem bylo podrobnější zadání injekčních prací k vyzkoušení injektovatelnosti zdiva. Předpis obsahoval návrh základních požadavků na složení injekční směsi, technologii injektáže, kritéria injektáže, požadavky na dokumentaci prací i požadavky na hodnocení efektu a kvality injekčních prací. Vyzkoušet se měla především materiálová stránka (jílocementové směsi X chemické injekční směsi).

Z výsledků doposud provedených průzkumných prací vyplývala vcelku vysoká propustnost tělesa hráze (ztráty výplachu, ztráty vody 4-8 l/m/min. při tlaku 0,1 MPa, vysoká spotřeba jílocementové zálivky při osazování plných PVC pažnic do průzkumných vrtů).

Toto prostředí by mělo být dobře injektovatelné i jílocementovými směsmi. V technologickém předpisu [8] bylo proto navrženo v první fázi vyzkoušení injektáže jílocementovou směsí. Vyzkoušení alternativní chemické injektáže polyuretany bylo doporučeno realizovat až v případě, že by se ukázalo, že injektování běžnými jílocementovými směsmi je neúčinné.

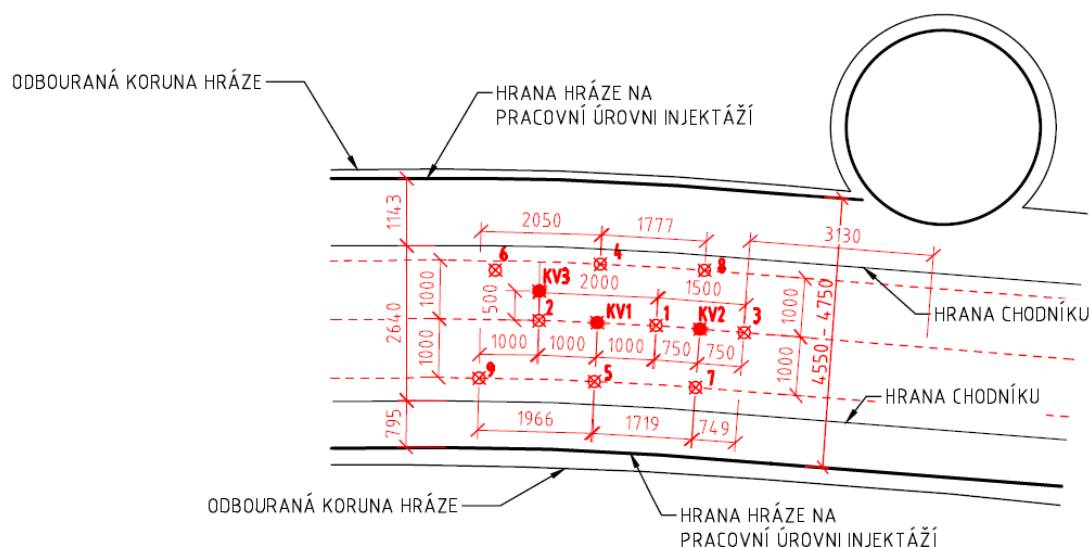
Pro zkušební injektáž zdiva bylo navrženo zkušební pole skládající se z devíti injekčních vrtů, rozmístěných tak, aby bylo možné injektovat a následně zkontrolovat ucelený blok zdiva.

Zkušební pole bylo situováno v pravé části hráze před profilem spodní výpusti. Do zkušebního pole byly zahrnuty svislé vrty ve středu koruny hráze i mírně ukloněné vrty na návodní stranu (5°) a vzdušnou stranu (7°).

Injekční vrty byly šachovnicově posunuty. V jedné části byla jejich vzájemná vzdálenost 2,0 m (dle PD) ve druhé je zmenšena na 1,5 m. Vrty byly očíslovány tak, že čísla určují i pořadí provádění injektáže. Pro kontrolu byly následně navrženy tři kontrolní vrty (viz Obr. 1).

Vrty byly vrtány vzhledem k pevnosti prostředí dvojitým jádrovákem 76 mm a 122 mm (wirelinovou technologií), osazovaným diamantovými (případně PDC) vrtnými korunkami v řezném průměru 76 mm a 122 mm. Vrtáno bylo při použití vodního vrtného výplachu. Vrtné jádro bylo ukládáno do vzorkovnic k následné geologické dokumentaci.

Injektáž byla prováděna jílocementovou směsí po etážích 3,0 m. Injektovalo se do nulové spotřeby při příslušném maximálním injekčním tlaku. Maximální injekční tlaky se pohybovaly od 0,4 do 1,4 MPa v závislosti na poloze etáže. Ve všech vrtech byla použita vzestupná injektáž. Následně bylo provedeno zhodnocení prací. Zásadní bylo zjištění, že zdivo hráze lze poměrně dobře injektovat pomocí jílocementových injekčních směsí. Vyzkoušení alternativní chemické injektáže bylo shledáno neopodstatněným.



Obr. 1 Schéma pôdorysného rozmístění vrtů

Vrty zkušební injecktáže byly oproti projektu [7] prodlouženy tak aby zasahovaly min 0,5 m do podloží hráze. Ve spodní části některých vrtů pak byla zastižena v podloží hráze zcela zvětralá žula, která se „rozvrtala“ až do charakteru písku. Prodloužení vrtů až pod základovou spáru hráze se osvědčilo jako cenný zdroj informací o úrovni a stavu založení hráze. Proinjektování této oblasti je také žádoucí.

Z výsledků vodních tlakových zkoušek (VTZ) vyplynulo, že zdivo hráze před zahájením injecktáže dosahovalo průměrné propustnosti 4,76 l/min/m při zkušební tlaku 0,3 MPa. Průměrná spotřeba jílocementové injeckční směsi vycházela 52,26 l/m'.

Kontrolní vrty byly hloubeny stejně jako vrty injeckční, jádrové vrtání, dokumentace jádra, VTZ. Dále byly na kontrolních vrtech provedeny kamerové prohlídky. Zdivo hráze po zkušební injecktáži podle výsledků VTZ na kontrolních vrtech dosahovalo průměrné propustnosti 1,60 l/min/m při stejném zkušební tlaku 0,3 MPa. Propustnost zdiva se tak prokazatelně snížila cca 4 krát.

Zkušební injecktáž byla považována za úspěšnou, protože došlo k prokazatelné změně (snížení) propustnosti a tedy i ke (zvýšení) kompaktnosti a homogenity zdiva po jeho injecktáži doložené výsledky VTZ ve vrtech, ale i dokumentací výnosu jádra. Na základě příznivých výsledků zkušební injecktáže byla dopracována realizační dokumentace tohoto stavebního objektu.

3 INJEKČNÍ CLONA

3.1 Podloží a jeho stav podle výsledků průzkumných prací

Hrázové zdivo je založeno na skalním podkladě (hrubozrnná liberecká žula). Jedná se o porfyrickou biotonickou žulu. Zdravá skála byla nalezena v hloubce 4 až 6 m pod terénem. Základová spára byla očištěna tlakovou vodou. Veškeré trhliny byly zality cemento-trastovou maltou a v místech „kde toho bylo třeba“ byly vybetonovány zazubené základy.

Utěsnění na základové spáře hráze nebo v jejím podloží se neprovádělo. Injeckční práce v dnešním pojetí ještě nebyly v té době používány.

První komplexnější informace o stavu podloží hráze v širším kontextu, byly zjištěny až po provedení předběžného inženýrsko geologického průzkumu v roce 1989 [1] a IG průzkumu v roce 2012 [3].

Z provedených průzkumů a jejich zhodnocení jsou pro podloží zásadní tato zjištění:

1. Ve všech vrtech byla pod úrovní základové spáry nalezena žula v různém stadiu narušení.

2. Levobřežní křídlo je převážně založeno na kompaktní, prakticky zdravé hrubozrnné žule. Při patě levého svahu je mohutnější tektonická porucha.
3. Ve střední části údolí je převážně zdravá žula, jejíž kvalita se mění zejména po toku.
4. Pravobřežní křídlo je založeno na hluboko zvětralém plutonu.
5. Pro celý zkoumaný profil platí, že i zdravá, jinak pevná žula je rozpukaná (nejčastější pukliny jsou téměř svislé $70^\circ - 90^\circ$), rozpadavost je kusová až bloková. Většina puklin je sevřená, místy druhotně vyhojená. Výrazná puklinová propustnost navazuje především na tektonická pásma.
6. Podložní hornina, je značně vodonosná, porušená různým způsobem, ztráty vody z nádrže podložím jsou proto značné.
7. Skalní podloží je porušeno výraznými puklinovými systémy. Hloubka otevřeného úseku puklinového systému je min do 15 m pod úroveň základové spáry hráze.
8. Podloží v podhráží je méně propustné než podloží pod přehradou. Uvedený fakt způsobuje zvýšení (nárůst) vztlaku pod přehradou.

3.2 Zkušební injektáž injekční clony

Injekční clona by měla vytvořit v podloží souvislý kompaktní prvek (prostředí), který bude omezovat proudění vody pod základovou spáru hráze a tím výrazně spolu s drenážními prvky snižovat hydrostatické vztakové síly působící na těleso hráze. Již z průzkumných prací bylo známo, že geologické a hydrogeologické poměry jsou na vodním díle Harcov velice složité, byla proto navržena zkušební injektáž.

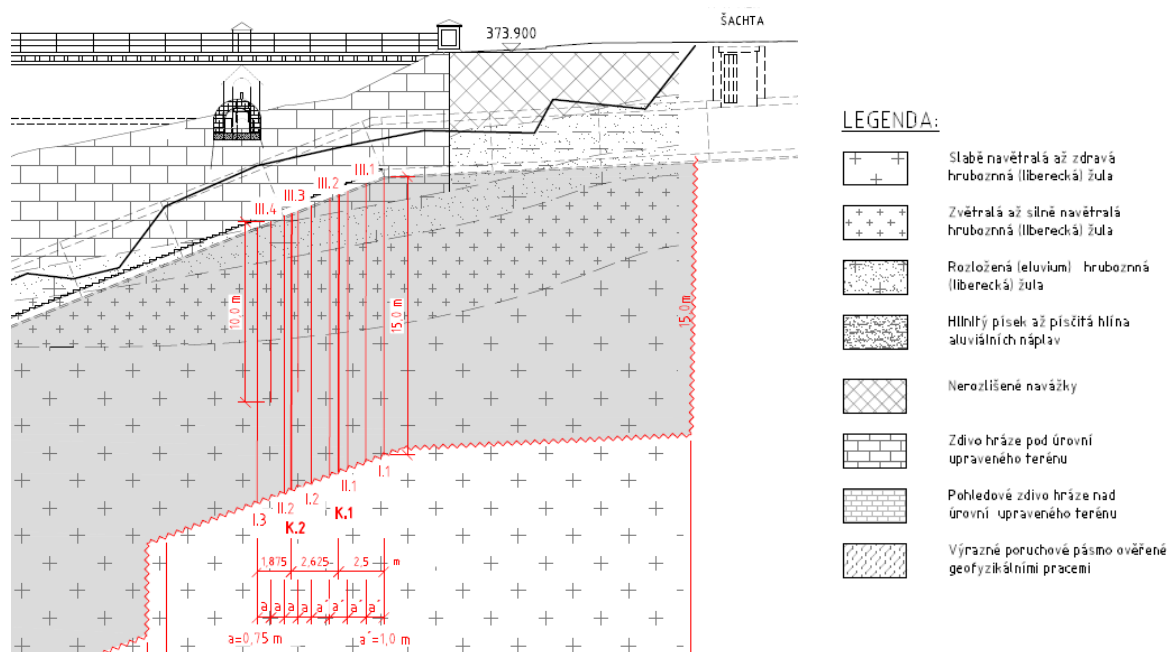
Účelem zkušební injektáže bylo na základě zkušebních vrtů, situovaných v souvislém zkušebním poli, ověřit injektovatelnost horninového prostředí s využitím navržených injekčních směsí. Cílem bylo navrhnout optimální provádění injektáží, tak aby byly splněny projektem požadované hodnoty kritéria přípustné propustnosti ($0,5 \text{ l/min/m}$ při tlaku $0,3 \text{ MPa}$) a byly optimalizovány vrtné práce. Jedním z úkolů tedy bylo i ověření navrženého konečného rozestupu vrtů i délek vrtů. Dále bylo potřebné ověřit a stanovit maximální injekční tlaky v jednotlivých etážích a další kritéria injektáže (konečné limitní spotřeby, atp.).

Z výsledků doposud provedených průzkumných prací vyplývalo, že v pravé části hráze je zastoupeno nejvíce horninových geotypů, včetně rozložené hrubozrnné žuly. Do těchto míst bylo proto navrženo zkušební injekční pole.

Z výsledků VTZ provedených při IGP vycházela vcelku vysoká propustnost podloží hráze (ztráty vody $4,3-9,4 \text{ l/m/min}$ při tlaku $0,3 \text{ MPa}$). Bylo možné tedy předpokládat injektování puklin v jinak zdravé žule i slabě navětralé až rozložené žule. Toto prostředí by mělo být dobře injektovatelné jílocementovými směsmi. Vysoce porušené horniny budou možná vyžadovat jako vhodnější použití velice jemně mletých cementů (mikrocement) v limitním případě chemické injekční směsi. V technologickém předpisu [8] bylo proto navrženo postupovat podle zásady: nejprve jílocementové směsi a v případě nevyhovujících výsledků pak mikrocementy a pak až polyuretany. Tento postup byl navržený i s ohledem na ekonomickou efektivnost tzn. od levnějších k dražším směsím.

Zkušební injekční pole se skládá z devíti injekčních vrtů, rozmístěných tak, aby bylo možné injektovat a následně zkontrolovat souvislý úsek injekční clony v podloží (viz Obr. 2). Injektováno bylo postupným zahušťováním injekční clony o vrtech třech pořadí.

Injektováno bylo v rovině injekční clony navržené PD [7], tedy v ose budoucí injekční chodby. Oproti předpokladům PD byla injektáž prováděna dříve, z podkladního betonu pro založení chodby. Po dokončení chodby a návodního předsypu se předpokládá utěsnění styku clony a prostoru základové spáry připojovací (fortifikační) injektáží.



Obr. 2 Schéma rozmístění vrtů jednotlivých pořadí v detailu podélného řezu

Vrty byly vrtány vzhledem k pevnosti prostředí (žulové zdivo) dvojitým jádrovákem 76 mm a 122 mm (wirelinovou technologií), osazovaným diamantovými (případně PDC) vrtnými korunkami v řezném průměru 76 mm a 122 mm. Vrtáno bylo při použití vodního vrtného výplachu. Vrtné jádro bylo ukládáno do vzorkovnic k následné geologické dokumentaci.

Již při prvním vrtu prvního pořadí se vyskytly značné problémy s výnosem jádra a stabilitou stěn vrtu. Zhotovitel proto průběžně měnil postupy vrtání a pro zmáhání havárií vrtných kolon upravoval i průměry vrtů. Nakonec bylo i nutností použití metody sestupné injektáže.

V podloží v profilu zkušebního injekčního pole se nacházelo velice variabilní horninové prostředí, kdy prakticky u „sousedních“ vrtů lze zastihnout v jednotlivých úrovních zcela zvětralou a rozloženou žulu a v dalším metru pak navětralou žulu i žulu čerstvou až slabě zvětralou.

Z výsledků VTZ vyplynulo, že podloží hráze v úseku injekčního pole před dokončením zkušební injektáže dosahovalo průměrné propustnosti 6,86 l/min/m při zkušebním tlaku 0,3 MPa.

V horních partiích vrtů bylo nutné provádět injektáž v sestupném uspořádání. V každém vrtu byla situace specifická. Injektáž byla prováděna jílocementovou směsí a velice jemnou cementovou směsí (mikrocement) po etážích 3,0 m, v anomáliích v jiných délkách. Injektovalo se do nulové spotřeby při příslušném maximálním injekčním tlaku. Maximální injekční tlaky se pohybovaly od 0,5 do 1,3 MPa v závislosti na poloze etáže. Po zastižení stabilního prostředí ve vrtech byla přednostně použita vzestupná injektáž.

Průměrná spotřeba jílocementové injekční směsi vycházela 50,62 l/m' a mikrocementové injekční směsi pak 65,29 l/m'.

Pro kontrolu injekčních prací byly provedeny dva kontrolní vrty. Kontrolní vrty byly hloubeny stejně jako vrty injekční, jádrové vrtání, dokumentace jádra, VTZ. Podloží hráze po zkušební injektáži dosahovalo průměrné propustnosti 0,81 l/min/m při zkušebním tlaku 0,3 MPa. Propustnost podloží se tak prokazatelně snížila více jak 8 krát.

Závěrem bylo možno konstatovat, že zkušební injektáž splnila očekávání. Zásadní je zjištění, že podloží hráze lze poměrně dobře injektovat pomocí jílocementových injekčních směsí a cementových směsí z velice jemně mletých mikrocementů. Vyzkoušení alternativní chemické injektáže mnohem dražšími polyuretany je za současných podmínek neopodstatněné. Důležité je ale i nepříznivé zjištění, že vlastní vrtné práce může v některých úsecích ztěžovat existence

poloh rozložené nebo značně zvětralé žuly. Toto prostředí vyžaduje velice opatrné a „citlivé“ jádrové vrtání a sestupnou metodu injektáže, která je nákladnější a časově náročnější.

Na základě výsledků zkušební injektáže byla dopracována realizační dokumentace tohoto stavebního objektu. Bylo nutno přehodnotit nejen projektem [7] navržený technologický postup, který předpokládal pouze injektáž vzestupnou, ale bylo možno změnit i navržené injektážní hmoty, což znamená výrazné úspory materiálových nákladů. Další změny se týkaly návrhu vrtů jednotlivých pořadí. Při realizaci se nyní předpokládá metoda zahušťování injekčních vrtů až do IV. pořadí. Různé jsou hloubky vrtů i jejich konečné rozestupy v reakci na předpokládané horninové prostředí.

4 KONTOLA KVALITY PROVÁDĚNÁCH PRACÍ

Kromě konečné kontroly horninového prostředí zřízením kontrolních vrtů s dokumentací jádra a VTZ. Jsou pravidelně prováděny kontrolní zkoušky injekčních směsí včetně jejich jednotlivých složek. Jsou kontrolovány reologické vlastnosti injekční směsi (hustota, viskozita podle Marche, doba tuhnutí a odстой vody) a pevnostní charakteristiky zatvrdlé injekční směsi. Samozřejmostí je kontrola dodržování technologických postupů. Ty v těchto složitých geologických podmínkách vyžadují operativní přístup a sofistikovanější rozhodovací procesy při vlastním provádění vrtných a injekčních prací.

ZOZNAM LITERATURY

- [1] *Geoindustria, n.p., L. Šrédl (1989): Harcov - přehrada, IGP, Praha.*
- [2] *VODNÍ DÍLA – TBD a. s., Ing. D. Richtr, Ing. T. Klemša (2008): Studie opatření k zajištění bezpečnosti vodního díla při povodních, Praha.*
- [3] *AZ CONSULT, spol. s.r.o., Mgr. K. Alföldi a kol. (2012): IG průzkum „VD Harcov, zajištění bezpečnosti vodního díla za povodní“, Ústí nad Labem.*
- [4] *VODNÍ DÍLA – TBD a. s., Ing. David Richtr, Ing. Tomáš Klemša (2015): Návrh opatření k zajištění bezpečnosti vodního díla při povodních, Praha.*
- [5] *VALBEK spol. s.r.o. (2017): dokumentace pro stavební povolení „VD Harcov, zajištění bezpečnosti vodního díla za povodní“, Ústí nad Labem.*
- [6] *AZ GEO, s.r.o., Ing. R. Králík (2017): doplňkový inženýrsko-geologický průzkum „VD Harcov, zajištění bezpečnosti vodního díla za povodní“, Ostrava.*
- [7] *VALBEK spol. s.r.o. (2020): dokumentace pro provedení stavby „VD Harcov, zajištění bezpečnosti vodního díla za povodní“, Ústí nad Labem.*
- [8] *VODNÍ DÍLA – TBD a. s., Ing. D. Richtr (03/2023): VD Harcov, zajištění bezpečnosti za povodní – SO 07 – Zdivo hráze - Technologický předpis pro zkušební injekční vrty, Praha.*
- [9] *VODNÍ DÍLA – TBD a. s., Ing. D. Richtr (08/2023): VD Harcov, zajištění bezpečnosti za povodní – SO 03 – Injekční clona - Technologický předpis pro zkušební injekční vrty, Praha.*

AUTOR

Ing. David Richtr, VODNÍ DÍLA - TBD a.s., Hybernská 1617/40, Nové Město, 110 00 Praha 1, Česká republika, richtr@vdtbd.cz

INOVÁCIA A MODERNIZÁCIA PLAVEBNÝCH KOMÔR STUPŇA GABČÍKOVO

UPGRADE OF GABČÍKOVO LOCKS

Ondrej Paštrnák¹, Karol Bakos²

Abstrakt: Strategickým cieľom projektu, ktorý podnik Vodohospodárska výstavba implementoval, bolo zvýšenie výkonnosti, spoľahlivosti a tým konkurencieschopnosti vodnej cesty na Dunaji, ktorá je súčasťou transeurópskej dopravnej siete (TEN-T). Okrem iných cieľov bolo cieľom projektu posilniť udržateľnosť vodnej dopravy medzi slovenskom a ostatnými krajinami na Dunajskej vodnej ceste ako aj, v súlade s politikou Európskej únie, podporovať tento ekonomicky efektívny a environmentálne šetrný druh dopravy, ktorý má dostatok voľnej kapacity. V rámci projektu sa realizovala komplexná výmena hlavných technologických celkov oceľových konštrukcií, stavebné úpravy, injektáž podložia, výmena riadiaceho a bezpečnostného systému.

Abstract: The strategic goal of the project implemented by the Vodohospodárska výstavba was to increase the performance, reliability and thus the competitiveness of the waterway on the Danube, which is part of the trans-European transport network (TEN-T). Among other goals, the aim of the project was to strengthen the sustainability of water transport between Slovakia and other countries on the Danube Waterway as well as, in accordance with the policy of the European Union, to support this economically efficient and environmentally friendly mode of transport, which has enough free capacity. As part of the project, a complex replacement of the main technological units of steel structures, construction modifications, grouting of the subsoil, replacement of the control and security system was implemented.

1 ÚVOD

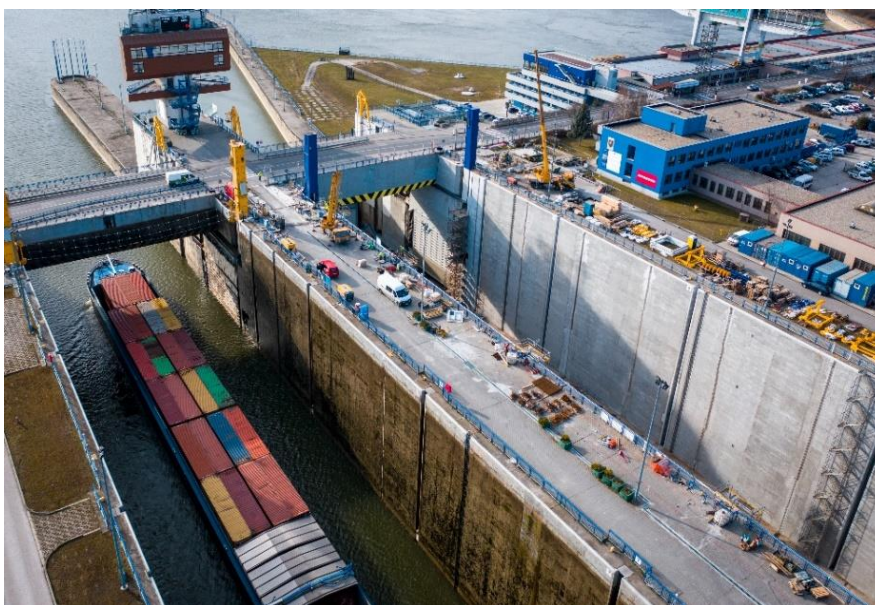
Vodné dielo Gabčíkovo bolo navrhnuté hlavne ako objekt pre zabezpečenie bezpečnej plavby po Dunaji, eliminovanie povodňových prietokov Dunaja a v nie poslednom rade na výrobu „zelenej“ elektrickej energie. Plavebné komory na stupni Gabčíkovo sú jedným z množstva objektov v rámci objektivej skladby SVD, ako jeho funkčná časť boli uvedené do prevádzky v októbri 1992. Za toto nie malé obdobie prevádzky sa vyskytli na začiatku v menších intervaloch bežné poruchy, ktoré sa postupne čoraz častejšie a v posledných cca 10 rokov prevádzky PLK Gabčíkovo väčšinou prevádzkyschopná len jedna komora, kým sa v druhej vykonávali len najnutnejšie opravy, aby bola opäť schopná prevádzky. Tieto skutočnosti už jasne nasvedčovali na potrebu radikálnejšieho zásahu. Na modernizáciu plavebných komôr sme vo februári 2016 požiadali Európsku komisiu zastúpenú Európskou agentúrou pre klímu, infraštruktúru a životné prostredie CINEA o grant z finančného nástroja na prepájanie Európy CEF vo výške 144 665 000 EUR. Poskytovateľom grantu je CINEA, príjemcom grantu je Ministerstvo dopravy SR a náš podnik VV, š.p. je implementačným subjektom. V novembri 2016 bola podpísaná Dohoda o grante s EK. Z finančného nástroja je projekt financovaný vo výške 85%, čo predstavuje 122 965 250 EUR a 15 % financuje podnik VV z vlastných zdrojov, čo predstavuje 21 699 750 EUR. Implementačná zmluva medzi MD SR a VV, š.p. bola podpísaná 22.11.2016. Zmluva o dielo po verejnom obstarávaní bola s úspešným dodávateľom - hlavným zhotoviteľom stavby Metrostav, a.s. podpísaná 31.1.2019.

2 NÁPLŇ INOVAČNÝCH PRÁC

V rámci Zmluvy o dielo boli hlavné činnosti rozdelené do troch sekcií:

- 5 Sekcia č. 1 predloženie dokumentácie pre realizáciu stavby - predložené 15.7.2019
- 6 Sekcia č. 2 práce na PPLK - ukončené 28.10.2021 (preberací protokol)
- 7 Sekcia č. 3 práce na ĽPLK - ukončené 19.12.2023 (preberací protokol)

Podľa zadávacích podmienok zapísané v Opise predmetu zákazky bolo potrebné vykonať výmenu všetkých oceľových konštrukcií ako Dolné vráta, Horné vráta, Záskokovej klapky horných vrát, Regulačných uzáverov vtokov a výtokov (okrem RU vtoku č. 1 a výtoku č. 7), Drážok a bitiev na strednom múre PLK vrátane zabezpečenia ich výhrevu ako aj k nim prislúchajúce armatúry muriva so spätnými zálievkami. V rámci IaM PLK boli vykonané nové podporné konštrukcie ako rozvody hydrauliky, rozvody vzduchu, dynamická ochrana na vtokoch a výtokoch (len PPLK), posúvače DN 600, opancierovanie rozvádzačov (len PPLK), úprava medzipilierov dolného zhlavlia v napúšťacích kanáloch, šachty pre PH 4x4 vtokov, výtokov a obtokov, poklapy na dne komory (Obr. 1). Súčasťou inovácie sú aj opatrenia na stabilizáciu podlažia ako komplexná renovácia podzákladia a sanácia porúch betónových konštrukcií vrátane dilatácií aj na nátokovom objekte. Pri rekonštrukcii objektov bola realizovaná aj obnova motorickej inštalácie a riadiaceho systému ako aj úpravy informačných a bezpečnostných systémov ako kamerový systém, meteo stanica, dohľadomer, brodová tabuľa, svetelná signalizácia, vysielačnica technika a záznamový systém. Osobitnou súčasťou inovácie boli rekonštrukčné práce na rozvodni vlastnej spotreby 110 kV a TS ako výmena ochrán, úpravy v rámci stavebnej časti ako nátery, rekonštrukcie technických zariadení na ORL, obnova prekrytia káblových kanálov, obnova oplotenia areálu VR 110 kV.



Obr. 1 Pohľad z „vtáčej perspektívy“ na PLK Gabčíkovo (práce na PPLK)

3 PRIEBEH INOVAČNÝCH PRÁC

V rámci realizácie inovačných prác (Obr. 2 až sa vo väčšine prípadov podmienky zhodovali s predpokladom a projekčným riešením. V takýchto prípadoch neboli potrebné žiadne úpravy na návrhu konštrukcií. Pri realizácii rekonštrukčných prác sa vyskytli komplikácie hlavne pri obnažení pôvodných konštrukcií, kde museli byť vykonané úpravy na konštrukčných riešeniach ako napr. ukotvenie Horných aj Dolných vrát, armatúry muriva na regulačných uzáveroch (na PPLK).



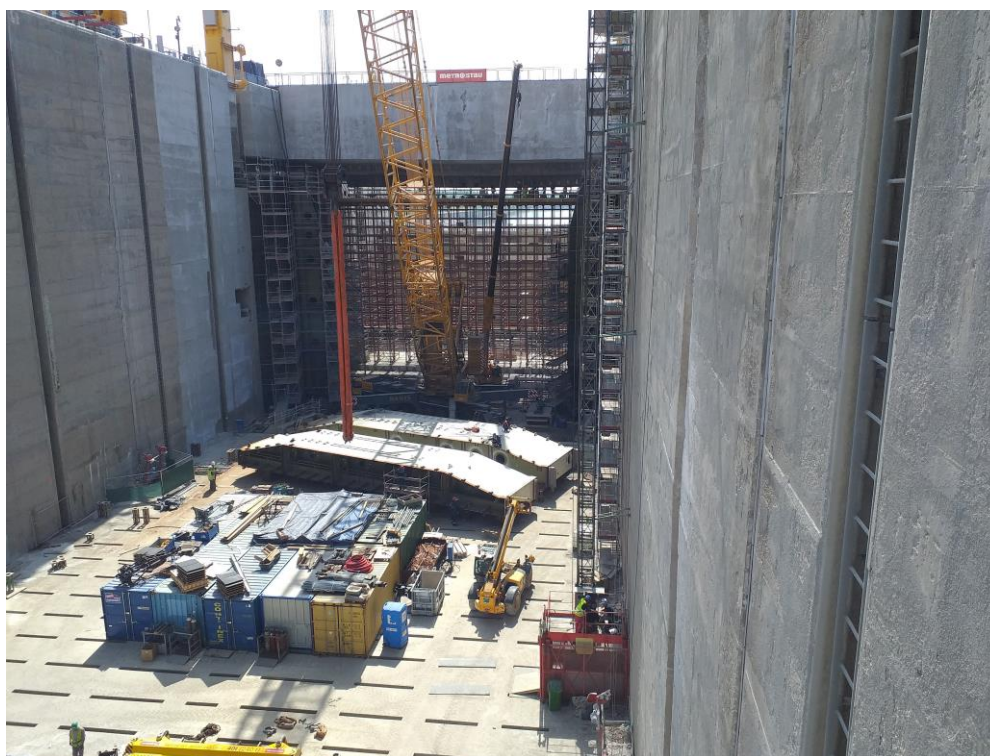
Obr. 2 Výroba Oceľových konštrukcií vo výrobní MTS v Prahe - Horné Počernice



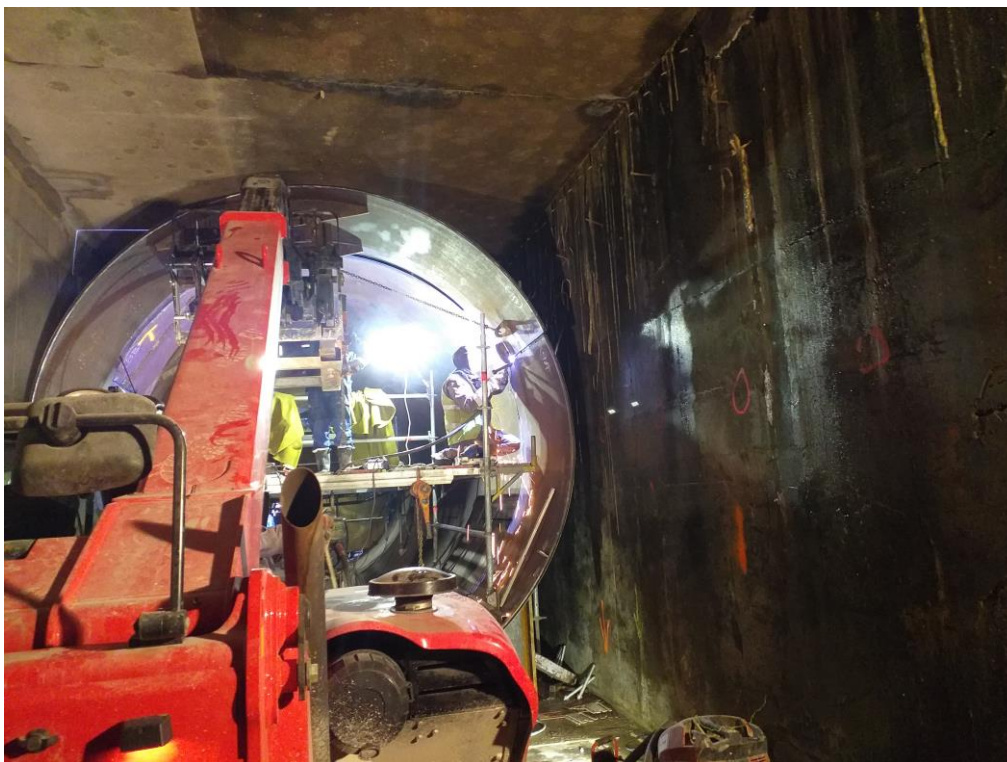
Obr.3 Montážne práce na obnove Horných vrát (pohľad z Veľkého provizórneho hradenia)



Obr. 4 Horné vráta počas komplexných skúšok (haťová prevádzka)



Obr. 5 Montážne práce na obnove Dolných vrát (v pozadí žeriav na manipuláciu s ocelovými konštrukciami s nosnosťou 550 t)



Obr. 6 *Stavebné práce na sanácii statických porúch výtokových kanálov EPLK - montáž ocelového potrubia*

Zvlášť výrazné technické problémy sa vyskytli pri prácach na EPLK. Po vytvorení suchého doku boli spozorované vážne trhliny na stenách výtokových kanálov č. 2 a 3, ktoré sa v doterajšej histórii kontrol v kanálovom systéme ešte nevyskytli. Museli byť oslovení odborníci (hlavne statici), ktorí po dôkladnej analýze zhodnotili ako mimoriadne vážny stav a neodporučili pokračovať v prácach (skúškach) bez jeho sanovania. Bol vypracovaný návrh sanácie na odstránenie statických porúch výtokových kanálov EPLK a až po jej realizácii sa mohlo pokračovať na mokrých individuálnych skúškach, následne komplexných skúškach a na záver skúšobnej prevádzke plavebných komôr ako preukázanie, že plavebné komory sú schopné bezpečnej prevádzky. Skúšobná prevádzka ako preukázanie funkčnosti boli vykonané na oboch komorách samostatne a až potom bolo možné prehlásiť ukončenie sekcie ako míľniku v rámci inovácie a modernizácie

AUTORI

Autor 1: Ing. Ondrej Pastrnák, Vodohospodárska výstavba š.p. P.O.BOX 45, 841 04 Bratislava, Karloveská 2, Slovenská republika ondrej.pastrnak@vzb.sk

Autor 2: Ing. Karol Bakos, Vodohospodárska výstavba š.p. P.O.BOX 45, 841 04 Bratislava, Karloveská 2, Slovenská republika karol.bakos@vzb.sk

ODPORÚČANIA K POSTUPU UTEŠŇOVANIA DILATAČNÝCH ŠKÁR VTOKOVEJ DOSKY VEG

RECOMMENDATIONS FOR SEALING EXPANSION JOINTS OF THE GHP INTAKE SLAB

Martin Bakeš¹, Marian Minárik², Tibor Mészáros³, Marek Mrva⁴

Abstrakt: Vtoková doska je betónový objekt zabezpečujúci napojenie prírodného kanála na bloky vodnej elektrárne Gabčíkovo (VEG), táto je v pozdĺžnom a priečnom smere dilatačne členená na menšie celky, tesnené dvomi vrstvami gumových profilov. Vzhľadom na vysoko priepustné štrkovité prostredie v oblasti VEG, by pri správnej funkcii uvedeného tesnenia, tlakové pomery v priestore základovej škáry VEG mali zodpovedať približne úrovni hladiny v odpadovom kanáli. Netesnosti tesnení dilatačných škár sa prejavujú zvýšenými úrovňami vztlakov, ktoré môžu dosiahnuť až úroveň hladiny vody v prírodnom kanáli, mať za následok vznik filtračných porúch spojených so vznikom kaverien a prejavmi nerovnomerného sadania, ovplyvneného zvýšenými úrovňami vztlaku na základovú škáru. Merania vztlakov a deformácii na VEG, v rámci výkonu technicko-bezpečnostného dohľadu, dlhodobo naznačujú prítomnosť takýchto porúch, pričom tieto boli v minulosti niekoľkokrát neúspešne sanované. S cieľom nájdania optimálneho technologického postupu utesnenia dilatácií a následne aj podložia, bol vytvorený projektový tím. Základom riešenia bolo zostavenie 3D numerického modelu záujmového prostredia, pre simuláciu rôznych variantov porúch dilatácií a podložia, ako aj postupu sanácie. V predkladanom článku prezentujeme výsledky numerického modelovania, ktoré boli rozhodujúcim podkladom pre stanovenie odporúčaní postupu sanácie.

Abstract: The intake slab is a concrete object ensuring the connection of the diversion canal to the Gabčíkovo hydropower plant (GHP) blocks. It is longitudinally and transversally divided into smaller units and sealed by two layers of rubber profiles. Given the highly permeable gravel environment in the GHP area, when the mentioned seal functions properly, the pressure conditions in the GHP foundation area should correspond to the water level in the tailrace canal. Leakage of expansion joint seals manifests as increased uplift pressure, which can reach up to the water level in the diversion canal, resulting in the formation of internal erosion associated with the formation of underground cavities and manifestations of differential settlement influenced by increased uplift force on the foundation slab. Measurements of uplift pressure and deformation on the GHP have indicated the presence of such defects for a long time. These defects have been unsuccessfully repaired several times in the past. With the aim of finding the optimal technological procedure for sealing the expansion joints and subsequently the subsoil, a work group was created. The core of the solution was the construction of a 3D numerical model of the environment of interest, for the simulation of different variants of failures of the expansion joints and the subsoil, as well as the remediation procedure. In this paper, we present the results of the numerical modelling and recommendations for the rehabilitation procedure.

1 ÚVOD

Napojenie prírodného kanála (PK) vodnej elektrárne Gabčíkovo (VEG) je riešený betónovou vtokovou doskou, členenou na dilatačné bloky. Tieto sú tesnené 2 radmi profilovej gummy, ktoré majú zabrániť prenikaniu vody z PK do podložia VE, tvoreného priepustnými dunajskými štrkami [1]. Realizácia uvedeného tesnenia bola pravdepodobne nezvládnutá, alebo došlo k jeho porušeniu pred napustením PK vplyvom poveternostných podmienok, ktorému bolo vystavené až 6 rokov po vybudovaní stupňa. Ihneď po napustení PK sa na meraniach vztlakov pod

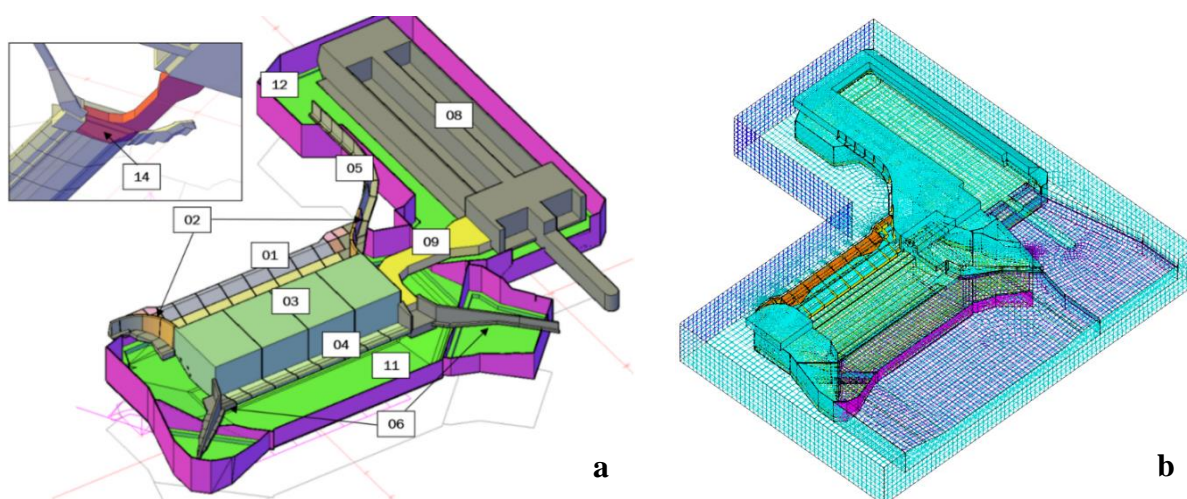
základovou doskou VEG prejavili anomálne vysoké hodnoty, ktoré nie je možné vysvetliť inak, ako netesnými dilatáciami. Vývoj meraní naznačuje degradáciu podložja vplyvom filtračných porúch, čo podporujú aj deformačné merania. Netesnosti dilatácií sú preukázané aj vizuálne, využitím potápačov, ktorí ich sanujú prakticky od uvedenia VEG do prevádzky, až do súčasnosti. S cieľom úspory finančných nákladov na tieto práce bol zriadený projektový tím, ktorého úlohou bolo komplexné posúdenie doteraz realizovaných prác, prognózovať ďalší vývoj porúch a nájsť najvhodnejšiu technológiu sanácie. Jednou z hlavných úloh tímu bolo numerické 3D modelovanie filtračného prúdenia v oblasti VEG, ktoré bolo vykonané na základe pasportizácie a digitalizácie výkresovej dokumentácie. V prekladanom príspevku sú prezentované výsledky riešenia úloh projektového tímu, jeho závery a odporúčania [2].

2 NUMERICKÉ MODELOVANIE

3D numerický model bol vytvorený v programe GeoStudio 2021 (modul Seep/W) a pozostáva zo 4 častí: geometria prostredia, sieť konečných prvkov, okrajové podmienky a fyzikálne vlastnosti materiálov. Bol vytvorený ako stacionárny, no umožňuje aj nestacionárne riešenie.

2.1 Geometria oblasti, sieť konečných prvkov a vlastnosti modelovaných materiálov

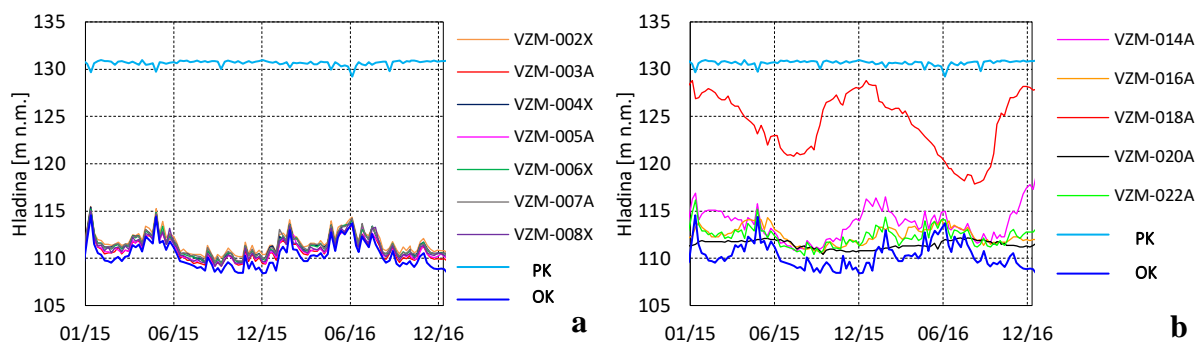
Pre vytvorenie numerického modelu bolo identifikovaných 6 hlavných a 8 vedľajších objektov (Obr. 1a). Maximálna presnosť geometrie, dodržaná pri väčšine hlavných objektoch, umožnila namodelovať skutočnú šírku dilatácií 25 mm, bez potreby pomerného prepočítavania hydraulických vlastností materiálu v dilatáciách. Sieť konečných prvkov bola vytvorená postupnou optimalizáciou základných rozmerov prvku pre každý geometrický objekt. Základné rozmery prvkov sa pohybujú od 1,0 m (dilatácie) až do 10,0 m (širšie prostredie modelu). Výsledná sieť konečných prvkov (Obr. 1b) je tvorená 159 471 uzlami a 464 351 šesťstennými prvkami. Počiatočné hodnoty nasýtenej hydraulickej vodivosti (k_{SAT}) materiálov boli uvažované nasledovne: podložie $1 \cdot 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, PTS $1 \cdot 10^{-7} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, tesniaca vaňa a výplňový betón $1 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ [3], otvorená dilatácia $0,50 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, otvorená dilatácia + porucha tesnenia $1,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Tieto boli v rámci kalibrácie mierne modifikované, v ráttane zohľadnenia anizotropie podložja.



Obr. 1 (a) Geometria riešenej oblasti – vtoková doska (01), vtokové krídla (02), bloky VE (03), vývar/výtoková doska (04), tesniaca vaňa VE (11), spojovací nábrežný múr (05), výtokové krídla (06), plavebné komory (PLK) (08), výtokové tunely z PLK (09), dolná rejda (10), tesniaca vaňa PLK (12), výplňové betóny PLK (14); (b) Sieť konečných prvkov

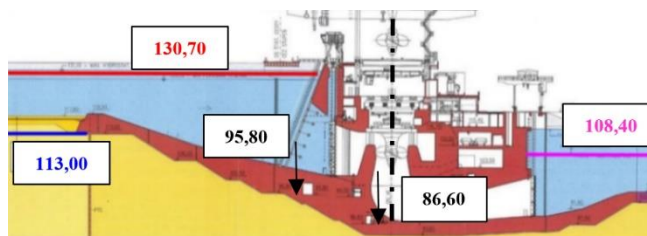
2.2 Analýza dát vstupujúcich do modelu a stanovenie okrajových podmienok

Rozhodujúcim ukazovateľom tesnosti dilatačných škár je priebeh vztlakov pod blokmi VE. Na Obr. 2 je znázornený časový priebeh vztlakov meraný: a) v chodbe na kóte 95,80; bližšie ku PK a b) v chodbe 86,60; bližšie k osi VE (viď Obr. 3), v období r. 2015 – 2016 (reprezent. obdobie).



Obr. 2 Časový priebeh vztlakov v chodbe 95,80 a 86,60 m n.m., v rokoch 2015 - 2016

Kým hladina v PK je počas tohto obdobia ustálená (cca 130,70 m n.m.), v OK dosahuje rozkvy do 7 m. V dôsledku založenia VE v tesniacej vani sú vztlaky v blízkosti osi VE takmer zhodné s hladinou v OK (Obr. 2a). Za predpokladu funkčného tesnenia dilatácií blokov vtokovej dosky, je možné považovať oblasť PK za hydraulicky oddelenú a jej prepojenie s oblasťou OK je len cez turbíny. Priebeh niektorých vztlakov v blízkosti PK (Obr. 2b) však dosahuje vyššie hodnoty, ako hladina vody v OK, dokonca vo vrte VZM-018A sú blízke hladine v PK. Najvyššie hodnoty sú zaznamenané v zimnom období, resp. najnižšie v letnom, vplyvom tepelnej rozťažnosti betónov. Anomálne vysoké hodnoty nameraných vztlakov vo vrte VZM-018A preukazujú poruchu tesnenia dilatácií na vtokovej doske, pričom tento stav priamo ohrozuje bezpečnosť VEG (filtračné poruchy, nerovnomerné deformácie). Uvedené dáta tvorili základ pre stanovenie okrajových podmienok (OP) pre simulovanie porúch na 3D numerickom modeli. Z dôvodu, aby čo najväčší podiel vztlaku na ZŠ VE prislúchal hladine z PK, bol vybraný stav z 01/2016, kedy platili nasledovné podmienky: 1. max. otvorené dilatácie (zima), 2. hladina v PK na max. úrovni, 3. hladina v OK je ustálená na min. úrovni. OP boli stanovené nasledovne (Obr. 3): OP na dilatáciách vtokovej dosky simuluje tlak vody pôsobiaci na vtokovú dosku, resp. na vrchnú plochu dilatácií. OP bola priradená na každú dilatáciu a jej veľkosť bola zvolená ako piezometrická výška hladiny v PK na kóte 130,70 m n.m. OP hornej vody pôsobí na všetky vertikálne plochy na vonkajšej hranici modelu a reprezentuje piezometrickú výšku hladiny podzemných vôd v širšom okolí (113,00 m n.m.). OP dolnej vody reprezentuje hladinu v OK (108,40 m n.m.).

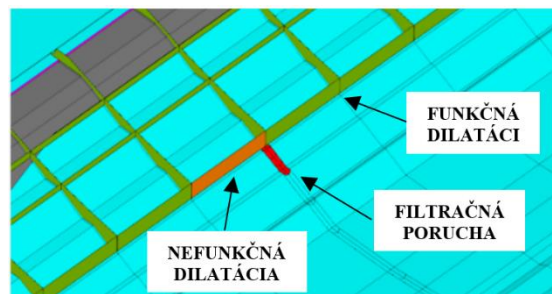


Obr. 3 Stanovenie OP v priečnom reze

2.3 Varianty výpočtu, kalibrácia modelu a výsledky výpočtu

Na zjednodušenom modeli bolo riešených 5 variantov simulácie porušenia dilatačných škár, z ktorých vyplynulo, že najlepšie výsledky boli dosiahnuté v prípade, ktorý predpokladal poruchu na jednej dilatácii, v blízkosti osi VE. V ďalšej fáze bol model kalibrovaný v 3 etapách: 1. čiastočne účinné tesnenie dilatácií, kde bolo cieľom spresniť hydraulické vlastnosti jednotlivých materiálov modelu, v rátane anizotropie podložia a priepustnosti otvorených dilatácií. 2. vplyv netesných dilatácií na výskyt anomálne vysokých hodnôt niektorých

vztlakov, s cieľom určenia čo najvhodnejších hydraulických vlastností, simulujúcich poruchu tesnosti dilatácie; 3. nadväzuje na výsledok z predchádzajúceho, s cieľom simulácie stavu, pri ktorom by mohlo dôjsť k nárastu tlaku vo vrte VZM-018A na hodnotu blízku tlaku v PK. Posledný krok kalibrácie bol riešený v 2 variantoch, reprezentujúcich rôzne scenáre vzniku a vývoja filtračnej poruchy v podloží, pri kombinácii rôznej „hydraulickej vodivosti“ filtračnej poruchy a netesnej dilatácie (simulácia tesnosti dilatácie prostredníctvom OP nebola použitá). Cieľové hodnoty kalibrácie (stav z 01/2016) najvernejšie reprezentuje prípad, ktorý uvažuje s filtračnou poruchou v oblasti pod dilatačnou škárou medzi blokmi VE č. II a III (os VE). Rozsah filtračnej poruchy bol predpokladaný v zmysle Obr. 4, teda tesne za vrutom VZM-018A. Väčší rozsah, smerom ku OK bol tiež preskúmaný, no bol vylúčený, pretože sa neprejavil na meraniach v chodbe na kóte 86,60. V uvedenej variante bola filtračná porucha uvažovaná vysokopriepustným prostredím, čím bola simulovaná kaverna (filtračná porucha).

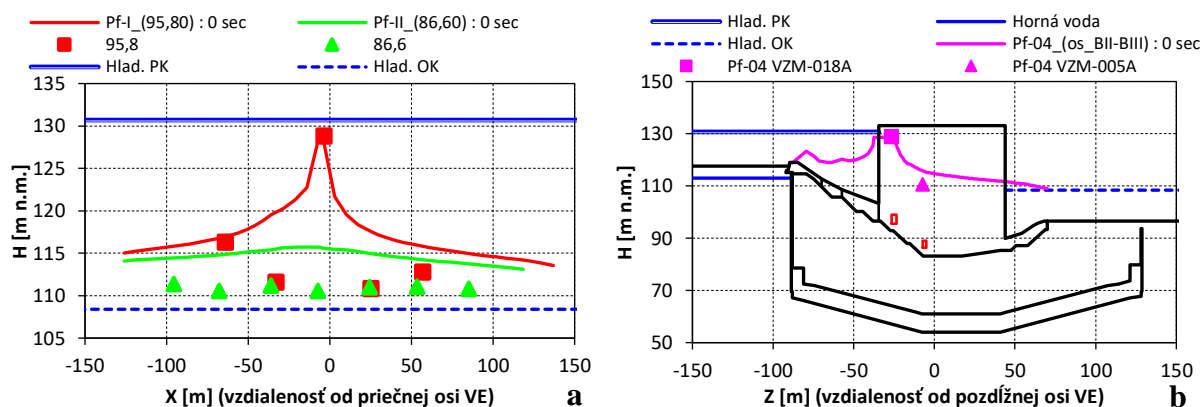


Obr. 4 Predpokladaná filtrač. porucha

Výsledky výpočtu uvedeného variantu sú znázornené na Obr. 5, a) v pozdĺžnom reze VE a b) pričnom reze, medzi blokmi VE č. II. a III. Súvislé línie znázorňujú vypočítané hodnoty z numerického modelu a bodové dáta merania in-situ (cieľové hodnoty kalibrácie z 01/2016).

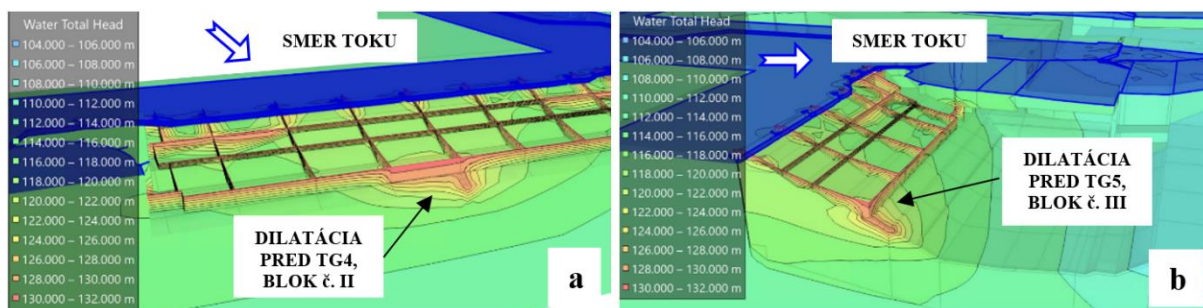
Reálny bol tiež druhý variant vzniku filtračnej poruchy, no vzhľadom na podobné výsledky mu nebola venovaná pozornosť. O progresívnom zhoršovaní sa (vymývaní) podložia VE svedčí postupné zvyšovanie maximálne dosahovaných hodnôt v zimnom období vo vrte VZM-018A. Už pri uvažovaní hydraulickej vodivosti $k_{x,suf} = 0,5 \text{ m.s}^{-1}$ je výsledok veľmi blízky nameraným dátam. Takáto hodnota bola považovaná za reálnu pre vymyté štrkopiesky.

Najnepriaznivejší scenár, ktorý bol predmetom kalibrácie (posledný krok) znázorňuje prípad, kedy by sa kaverna, resp. kontaktná erózia na ZŠ, dostala až do vývaru. Pravdepodobne by nasledovala spätná erózia, ktorá by mala za následok zväčšenie priestoru priesakového kanála, následný nárast priesakových rýchlostí, vplyvom čoho by došlo k ďalšiemu napredovaniu erózie. Dôsledkom takýchto javov by mohlo byť až zníženie únosnosti podložia a stabilitná porucha betónového bloku VE, prípadne porušenie tesniacich pásov dilatácií strihom, vplyvom nerovnomerného sadania. Takýto prípad by bol spojený s nárastom tlaku vo vrtoch situovaných na chodbe 86,60 a jeho následným poklesom, pri prepojení kaverny s OK. Namerané dáta ani zďaleka takúto situáciu nenaznačujú, no akémukoľvek anomálnemu nárastu vztlaku vo vrtoch v chodbe 86,60 je potrebné ihneď venovať pozornosť. Pre lepšiu identifikáciu prípadných oslabených polôh je dlhodobo odporúčané rozšíriť monitoring o 12 vztlakomerných vrtov.



Obr. 5 Finálny variant kalibrácie - porušená dilatácia a filtračná porucha

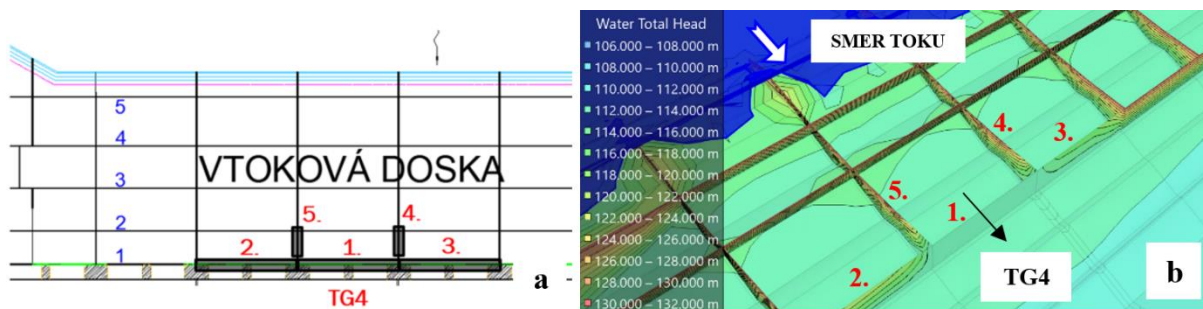
Na Obr. 6 sú znázornené výsledky výpočtu finálneho variantu kalibrácie, prostredníctvom piezometrických výšok: a) v pozdĺžnom reze, tesne pred dilatáciou medzi vtokovou doskou a blokmi VE a b) v priečnom reze, medzi blokmi č. II a III VE (pohľad smerom na blok č. III).



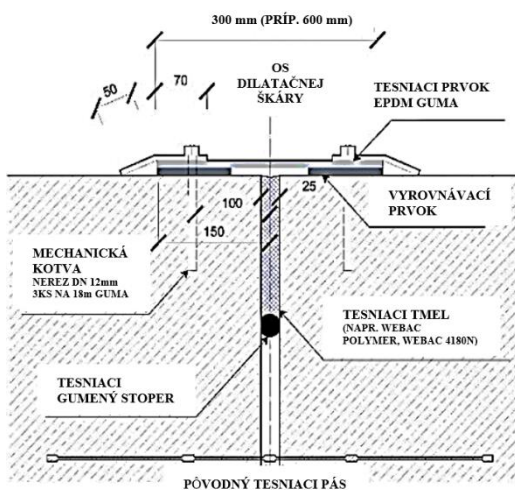
Obr. 6 Finálny variant kalibrácie - piezometrické výšky v pozdĺžnom a priečnom reze

3 NÁVRH POSTUPU SANAČNÝCH PRÁČ A TECHNOLOGIE TESNIENIA

Modelovanie sanovania dilatácií bolo realizované tak, že z vrchnej plochy „sanovanej“ dilatácie bola odstránená OP, simulujúca tlak vody z PK. Uvedená OP zároveň ostala aktívna na všetkých ostatných „nesanovaných“ dilatáciách. Sanácia bola simulovaná na finálnom variante výpočtu, opísanom v predchádzajúcom texte. Odporúčaný bol nasledovný postup: 1. utesnenie jednej dilatácie medzi vtokovou doskou a blokom VE, 2. utesnenie susednej dilatácie, 3. utesnenie kolmej dilatácie medzi prvými dvoma blokmi atď. (Obr. 5a). Práce bolo odporúčané realizovať v zime, pri max. otvorených dilatáciách, najlepšej dohľadnosti vo vode a pre efektívnu videokontrolu kvality prác. Výsledky postupnej sanácie sú znázornené na Obr. 7b.



Obr. 7 (a) Navrhnutý postup utesňovania dilatácií; (b) Piezometrické výšky po sanácii



Obr. 8 Detail návrhu tesnenia

Návrh technológie tesnenia dilatácií bol vypracovaný, na základe pasportizácie doteraz realizovaných prác a vyhodnotenia ich efektívnosti, ako aj skúseností členov projektového tímu. Odporúčané boli 2 varianty, pričom dokonalejší variant 2 je znázornený na Obr. 8. Navrhnutý postup tesnenia je nasledovný: 1. mechanické vyčistenie povrchu sanovanej dilatácie a škáry do hĺbky 30 cm tlakovou vodou; 2. ak je to možné, aplikuje sa gumový stoper; 3. dilatácia sa vyplní tesniacou hmotou; 4. gumový pás š. 300 (resp. 600 mm) sa z oboch strán pripevní prítlačnými lištami atď. Okrem postupu prác, boli uvedené aj podrobné odporúčania a podmienky na ich realizáciu a kontrolu ich kvality.

4 ZÁVER

Na koniec predkladaného článku sú uvádzané niektoré z najdôležitejších záverov a odporúčaní, ktoré vyplynuli z riešenia jednotlivých čiastkových úloh projektového tímu. Namerané hodnoty vztlatku vo vrte VZM-018A sú vysoko nad očakávanými hodnotami, pričom je zrejmý a preukázaný vplyv tepelnej rozťažnosti betónov, v závislosti na ročnom období. V prípade spoľahlivých merných zariadení nie je možné dosahované úrovne vysvetliť iným spôsobom, ako vplyvom prenikania vody cez netesné dilatačné škáry vtokovej dosky. Pre objasnenie vztlakových pomerov pod VEG, je dlhodobo odporúčané rozšírenie monitorovacieho systému o 12 nových vrtov. Výsledky variantného riešenia kombinácií porušenia dilatačných škár na predbežnom numerickom 3D modeli identifikovali najpravdepodobnejší variant porušenia len na jednej dilatačnej škáre, v tesnej blízkosti oblasti, v ktorej sa nachádza vrt VZM-18A. Následne bol numerický model vo viacerých krokoch kalibrovaný, pričom po kalibrácii bol vybraný najhodnovernejší variant, ktorý uvažuje okrem porušenia jednej dilatácie, aj s filtračnou poruchou v oblasti pod dilatačnou škárou medzi blokmi VE č. II a III (os VE). Rozsah filtračnej poruchy je predpokladaný tesne pred vrtom VZM-018A. Numerickým modelovaním bol riešený aj postup sanácie porušenej dilatácie pred vtokom do TG4. Výsledky výpočtov naznačujú, že pre dosiahnutie efektu sanácie je potrebné utesniť aj susedné dilatácie. V práci tím na záver navrhuje konkrétne technologické spôsoby utesnenia dilatačných škár (dve alternatívy) a etapizáciu sanačných prác.

ZOZNAM LITERATÚRY

- [1] ZVĚDĚLÍK: *Sústava VD Gabčíkovo-Nagymaros, Stupeň Gabčíkovo - Vodná elektrárňa, Spodná stavba, II. časť, Predpolie vtokov 2. časť – vtoková doska, Hydroconsult Bratislava, november 1986, 47 príloh.*
- [2] MINÁRIK, M. a kol.: *Odporúčania k postupu utesňovania dilatačných škár vtokovej dosky VEG – Záverečná správa - Projektový tím pre tesnenie dilatácií, VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA, ŠTÁTNY PODNIK, Bratislava, júl 2022, 98 s., 2 prílohy.*
- [3] HRAŠKO: *Sústava VD Gabčíkovo-Nagymaros, Vykonávací projekt II. stavby, Ochrana stav. jamy proti sp. vodám, Tesniaca vaňa VE, Hydroconsult Bratislava, marec 1980, 28 príloh.*

AUTORI

Autor 1: Ing. Martin Bakeš, PhD., VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA, ŠTÁTNY PODNIK, Karloveská 2, P.O. BOX 45, 841 04, Bratislava, Slovenská republika, martin.bakes@vzb.sk

Autor 2: Ing. Marian Minárik, PhD., VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA, ŠTÁTNY PODNIK, Karloveská 2, P.O. BOX 45, 841 04, Bratislava, Slovenská republika, marina.minarik@vzb.sk

Autor 3: Ing. Tibor Mészáros, PhD., VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA, ŠTÁTNY PODNIK, Karloveská 2, P.O. BOX 45, 841 04, Bratislava, Slovenská republika, tibor.meszaros@vzb.sk

Autor 4: Ing. Marek Mrva, VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA, ŠTÁTNY PODNIK, Karloveská 2, P.O. BOX 45, 841 04, Bratislava, Slovenská republika, marek.mrva@vzb.sk

REALIZOVANÉ A PŘIPRAVOVANÉ REKONSTRUKCE KORUN PŘEHRADNÍCH HRÁZÍ VE SPRÁVĚ POVODÍ LABE, STÁTNÍ PODNIK

COMPLETED AND PRAPARED DAM CRESTS REHABILITATIONS DAMS OPERATED BY POVODÍ LABE, STÁTNÍ PODNIK

Pavel Křivka¹, Ivan Beran², Jana Shánělová³, Irena Kvapilová⁴,
Ing. Jitka Hofmeisterová⁵

Abstrakt: Na některých vodních dílech ve správě státního podniku Povodí Labe byly v posledních letech realizovány významné rekonstrukce korun přehradních hrází. Na dalších přehradách jsou rekonstrukce korun přehrad v pokročilé fázi přípravy. Některé rekonstrukce jsou realizovány ve spolupráci nebo výhradně správci komunikací, které jsou umístěné na korunách hrází. V příspěvku jsou popsány specifické technické postupy uplatněné na jednotlivých vodních dílech. Na vodním díle Pastviny byly rekonstrukcí zásadně změněny parametry koruny hráze. Na vodním díle Křižanovice byly vyměněny mostní nosníky nad hrazeným bezpečnostním přelivem. Připravovaná rekonstrukce koruny hráze vodního díla Les Království bude respektovat požadavky na zachování historického rázu této inženýrské stavby.

Abstract: In recent years, significant reconstructions of dam crests have been carried out on some water structures under the administration of the Povodí Labe, státní podnik. On other dams, the rehabilitation of the dam crests is in an advanced stage of preparation. Some reconstructions are carried out in cooperation with the owners of the roads located on the dam crests. The contribution describes specific technical measures applied on individual dams. On the Pastviny dam, the parameters of the dam crest were significantly changed by the reconstruction. On the Křižanovice dam, the concrete bridge girders above the gated spillway were replaced. The design of the Les Království dam crest rehabilitation respects the specific requirements for preservation of this technical and cultural heritage.

1 VD PASTVINY (DIVOKÁ ORLICE, Ř. KM 96,850)

Vodní dílo Pastviny včetně vyrovnávací nádrže a dvou vodních elektráren bylo postaveno v letech 1933-1938. Hlavními účely vodního díla jsou zmírnění průchodu velkých vod v území pod přehradou, nadlepšování průtoku v níže ležícím úseku toku v období sucha a energetické využití vody ve špičkové vodní elektrárně. Původně byla hydroenergetická část vybudována jako přečerpávací, využívající níže položenou vyrovnávací nádrž Nekoř (Pastviny II).

Přehradní hráz Pastviny je gravitační, zděná z lomového kamene, půdorysně obloukovitě zakřivená o délce v koruně 193 m a výšce 38,5 m nad základovou spárou. V tělese hráze jsou vedeny podélně ve dvou výškových úrovních revizní chodby. Ve střední části hráze je předsazena strojovna návodních uzávěrů a rychlouzávěru přivaděče vodní elektrárny. Po koruně hráze vede silniční komunikace, která byla z úsporných důvodů v předválečném období provedena nad přelivy jako zúžená. Při rekonstrukci koruny hráze bylo přemostění korunového přelivu rozšířeno dle původního projektu. Pro vypouštění vody z nádrže slouží dvě

hrázové spodní výpusti DN 1 400. Každá spodní výpust je ovládána dvěma uzavěry. Vodní elektrárna, pracující ve špičkovém režimu, má jednu horizontální Francisovu turbínu.

Pro převádění povodňových průtoků je vodní dílo Pastviny vybaveno nehrazeným šestipolovým korunovým přelivem situovaným v levé části hráze. Od přelivu je voda odvedena strmým dlážděným skluzem do vývaru u vzdušní paty hráze, který je zakončen stupňovitým železobetonovým prahem.

1.1 Popis stavu VD před rekonstrukcí

Technický stav betonových pilířů pod mostovkou, říms, plošného těsnění, dilatací mostovky, vozovky, kabelového kanálu i zábradlí koruny hráze vodního díla Pastviny byl hloubkově konstrukčně ve špatném stavu, což potvrdil i diagnostický průzkum z roku 2007. Ve všech konstrukcích docházelo k alkalické reakci. Vnitřní degradace se projevovала masivním mramorováním s odpadáváním částí těchto konstrukcí. Vlivem absence řádné izolace docházelo k zatékání dovnitř konstrukcí a následné degradaci betonu.

Betonové zábradlí neodpovídalo současným normám a vyskytovaly se na něm také poruchy, jako praskliny na sloupcích a poškození vodorovných tyčí způsobené korozi vnitřní výztuže. Poruchy pilířů nesoucí mostovku byly v posledních letech výrazně progresivnější, jejich konstrukce byla hloubkově porušena karbonatácí. Z konstrukce vytékala voda se železitým zbarvením.

Žulová dlažba vozovky byla místy porušená a zvyšovala tak dynamické namáhání mostovky. Asfaltová zálivka žulové dlažby vozovky částečně chyběla. Vlivem výrazně zúžené vozovky, směrově téměř pravoúhlého nájezdu a zvýšeného provozu přes korunu hráze, docházelo na levobřežním zavázání hráze k častému poškozování všech exponovaných konstrukcí koruny hráze.

1.2 Popis řešení rekonstrukce

Celková rekonstrukce hráze, která proběhla od července 2021 do listopadu 2022, zahrnovala obnovu samotné koruny, její zavázání a navazující komunikaci. Koruna hráze je tvořena dvěma různými konstrukčními celky. Směrem k pravému břehu je pevná část koruny hráze, uprostřed zakončená rizalitem - rozšířenou částí. Mezi ní a levým břehem je na hrázi umístěn bezpečnostní přeliv, přemostěný mostem o šesti polích. Rekonstrukce zahrnovala i související objekty, jako dotčené inženýrské sítě, přilehlé části místní komunikace, odvodnění koruny hráze, osvětlení koruny hráze a zařízení TBD.

Nově realizovaná koruna hráze respektuje stávající těleso hráze a uspořádání místní komunikace na obou zavázáních. Celkový architektonický vzhled hráze byl jen mírně ovlivněn. Z bezpečnostních důvodů byla šířka koruny hráze upravena. Původní šířka 6,7 m byla rozšířena na 7,6 m. Zásadní změnou byla změna šířky mostu nad přelivem ze 4,15 m na 7,6 m. Mostní pilíře byly také rozšířeny. Bylo nutné, aby nové zábradlí splňovalo normy, což vedlo ke změně původního konstrukčního uspořádání zábradlí. Celkový návrh rekonstrukce koruny tak byl kompromisem mezi funkcí, bezpečností a minimálními změnami vzhledu. Rekonstrukce zahrnovala kompletní odstranění mostního příslušenství a demolici vodorovné nosné konstrukce mostu a odbouráním konstrukce spodní stavby. Demoliční práce si vyžádaly podbednění prostoru pod mostem z důvodu zajištění spadu bouraného materiálu do nádrže a do prostoru vzdušného líce a vývaru.

Nosná konstrukce mostu přes přelivy byla navržena jako spojitá nosná konstrukce. Tato konstrukce je spřažená ze železobetonových (předpjatých) prefabrikovaných nosníků se železobetonovou monolitickou sprahující deskou. Nad podporami jsou provedeny železobetonové monolitické příčníky, přes které jsou uloženy nosné konstrukce. V nosné konstrukci jsou osazeny mostní odvodňovače a odvodňovače celoplošné izolace s vyústěním na návodní líc přelivu. Z klimatických důvodů jsou vpusti a vyústující trubky vyhřívány. Na začátku a konci nosné konstrukce mostu jsou pak osazeny povrchové ocelové dilatační závěry. Kotvení konstrukce chodníku je provedeno v kombinaci kotevní výztuže z nosné konstrukce a ocelových kotev nakotvených do povrchu přes celoplošnou izolaci mostovky. Chodníky na mostě jsou z monolitického železobetonu šířky 1,30 m. Konstrukce vozovky je původní, s dlažbou ze žulových kostek. Pro nové nebo rozšířené pilíře, prahy, mostovku a vozovku bylo zpracováno cca 1 250 m³ betonu a do nové vozovky zabudováno 480 tun žulových kostek.

Původní zařízení pro měření vodorovných deformací na koruně hráze bylo při rekonstrukci částečně odstraněno a zařízení TBD bylo nutno obnovit a doplnit. V rámci stavby bylo naistalováno nové zařízení pro měření vodorovných posunů koruny hráze metodou záměrné přímky pomocí nového optického přístroje. Původní kontrolní body pro měření vodorovných posunů hráze metodou deviačních úhlů byly nahrazeny a doplněny novými body na vzdušném líci hráze těsně pod korunou. Při stavbě došlo k poškození pozorovacího pilíře na levém břehu, byla porušena jeho stabilita a bylo tak nutno změnit jeho umístění. Pravý pozorovací pilíř byl ochráněn a zůstal původní. Nově bylo zavedeno měření svislých posunů kontrolních bodů na koruně hráze metodou VPN. Na korunu hráze bylo nově osazeno 26 ks nivelačních bodů včetně 12 ks na konstrukci přemostění. Ve skalních výchozech pravobřežního a levobřežního zavázání byly zřízeny 2x 2 ks pevných nivelačních bodů.

Rekonstrukce byla extrémně náročná kvůli velmi stísněnému prostoru staveniště a rovněž i požadavku investora na zajištění plnohodnotné provozuschopnosti díla pro hospodaření s vodou i pro výrobu elektrické energie. Projekční přípravu zajistila firma MDS projekt s.r.o., Vysoké Mýto [1] a realizaci provedla firma STRABAG Rail a.s. za 65 mil. Kč bez DPH. Projekt VD Pastviny, rekonstrukce koruny hráze byl spolufinancován Evropskou unií – NextGenerationEU v rámci programu Ministerstva zemědělství - Národní plán obnovy. Celková výše poskytnuté dotace činila 34,975 mil. Kč bez DPH.

2 VD KŘIŽANOVICE (CHRUDIMKA, Ř. KM 30,400)

Projekt výstavby VD Křižanovice, který byl zahájen v roce 1948 a dokončen v roce 1953, navazoval na předchozí přehradní stavby na řece Chrudimce (VD Hamry a VD Seč). Jeho součástí byla i realizace vyrovnávací nádrže Práčov ve Svídnici s trubním přivaděčem z přehrady a vodní elektrárna. Hlavním účelem VD je zajištění pitné vody pro Chrudimsko a Pardubicko a využití vody pro energetické účely.

Přehradní hráz Křižanovice je gravitační a betonová, s délkou 130 m a výškou 31,7 m. V tělese hráze je revizní chodba a strojovna pro spodní výpusti a přivaděč vodní elektrárny. Po koruně hráze vede silniční komunikace.

Pro vypouštění vody slouží dvě spodní výpusti (DN 2 000 a DN 600), každá s dvěma uzávěry. Je zde také malá vodní elektrárna pro energetické využití zůstatkového průtoku. Přivaděč špičkové vodní elektrárny Práčov I je trubní, železobetonový, o průměru 2,4 m a délce 3 158 m.

Z vyrovnávací komory je voda vedena do špičkové vodní elektrárny Práčov I. Korunový bezpečnostní přeliv má dvě pole, každé hrazené klapkou. Vodárenský odběrný objekt je umístěn v tlakovém přivaděči vodní elektrárny Práčov I a vede k němu 4 km dlouhé potrubí.

2.1 Rekonstrukce koruny hráze

Po koruně hráze je vedena komunikace III. třídy spojující obec Křižanovice s Nasavrky. Z hlediska majetkového uspořádání koruny hráze se jedná o zajímavý případ, kdy k vlastní komunikaci bez chodníků a zábradlí, dále k celému přemostění přelivu včetně zábradlí a chodníků má příslušnost hospodařit Pardubický kraj. K ostatním částem a součástí koruny hráze má právo hospodařit Povodí Labe, státní podnik.

Během pravidelných kontrol prováděných správcem vodního díla a firmou VODNÍ DÍLA - TBD, a.s., bylo konstatováno nadměrné zatékání do tělesa hráze. Po eliminaci možných příčin a zkoušek prováděných obsluhou vodního díla byla jako jedna z hlavních příčin stanovena nefunkčnost odvodňovacího systému komunikace na hrázi. V roce 1997 provedl Pardubický kraj poslední dílčí rekonstrukci komunikace a chodníků včetně izolace a odvodnění. To bylo napojeno na původní svíslé odvodňovací šachty s příčně uloženými troubami ještě z dob výstavby. Realizované opatření však nevedlo zcela k omezení zatékání do tělesa hráze.

Barvicí nálevové zkoušky odvodňovacího systému koruny hráze, které proběhly v srpnu 2015, prokázaly jednoznačně netěsnosti odvodnění. Vzorky obarvené vody se objevily nejen na místech, kde byly průsaky již dříve sledovány, ale také v revizní chodbě hráze, v prostoru revizních šachet. Vzhledem k tomu, že ke snížení průsaků nedošlo ani po injektáži pracovní spáry IV. bloku v roce 2019, bylo díky vstřícnosti správce komunikace, rozhodnuto o kompletní rekonstrukci komunikace včetně chodníků, zábradlí, odvodnění a přemostění bezpečnostního přelivu, jehož špatný stavebně technický stav byl prokázán samostatným diagnostickým průzkumem.

Investorem stavby je Pardubický kraj, prostřednictvím SÚS Pardubického kraje. Projektová dokumentace byla vypracována společností MDS projekt, s.r.o. Vysoké Mýto [2]. Zhotovitelem stavby byla vybrána firma EUROVIA CS, a.s., náklady na rekonstrukci jsou 50,415 mil. Kč bez DPH. Vlastní realizace byla zahájena v červnu 2023 se smluvním termínem dokončení v říjnu 2024.

Stavba je dělena do následujících stavebních objektů:

1. Dopravně inženýrské opatření – uzavření komunikace III. třídy po dobu stavby mezi obcemi Křižanovice – Nasavrky a stanovení objízdných tras.
2. Koruna hráze (Pardubický kraj) – přemostění, vozovka – demolice stávajícího 2 polového mostu z předpjatých nosníků MPT (jedny z nejstarších v českých zemích) a odbourání konstrukce spodní stavby až do úrovně 0,4 m pod stávající niveletu a nahrazení novou nosnou konstrukcí – prostými nosníky s uložením na elastomerová ložiska, rozpětí obou polí 2 x 15,72 m, délka mostu je 34,10 m, výška nosné konstrukce 0,84 m, šířka mostu 7,30 m. V nosné konstrukci budou osazeny mostní odvodňovače a odvodňovače celoplošné izolace s vyústěním pod podhled nosné konstrukce. V pochozích římsách šíře 1,15 m budou osazeny chráničky pro inženýrské sítě. Na vnějších stranách římsy bude provedeno monolitické železobetonové zábradlí výšky 1,1m. Vozovka na celé koruně hráze (151,91 m) bude provedena v konstrukčních vrstvách jako původní tj. žb deska, ochrana izolace z litého asfaltu a betonová vozovka s příčným sklonem 2,5 % k návodnímu líci. V místech

- dilatace hráze jsou navrženy dilatační spáry a po 5 – 6 m budou provedeny smršťovací spáry proříznutím a zatmelením.
3. Koruna hráze (Povodí Labe, státní podnik) – římsy, zábradlí – rekonstrukce říms s chráničkami a revizními šachtami včetně odvodnění šachet. Na římsách je navrženo žb zábradlí výšky 1,1 m. Součástí tohoto objektu je i obnova sjezdu do vodní nádrže při levém zavázání.
 4. Osvětlení komunikace na hrázi a kamerový systém – osvětlení hráze bude mít stejné parametry jako stávající – svítidla LED, kompletní výměna kabelového vedení.
 5. Napájení a ovládání strojoven – v rámci stavby je provedeno provizorní přeložení kabelů tak, aby zůstala zachována možnost manipulace uzávěrů z horních strojoven.
 6. ČEZ kabel – přeložka kabelu k uzávěrům v majetku ČEZ.

V rámci stavby byla jak ze strany zhotovitele, tak ze strany provozovatele VD přijata opatření k ochraně objektů, které by mohly být při realizaci akce poškozeny. Jednalo se především o ochranu klapek hrazení bezpečnostního přelivu a střechy dolní strojovny. Po dobu stavby je snižovaná hladina v nádrži. Důležitou podmínkou byla nutnost zachování manipulace se spodními uzávěry a zachování monitoringu VD po celou dobu stavby.

Další z podmínek provozovatele byla, aby zhotovitel díla přijal taková opatření, která by zabránila poškození zejména pohyblivých mechanismů ovládání VD umístěných v horní strojovně. Bohužel vlivem pracovní nekázně zhotovitele, nedošlo přes opakované upozornění k dostatečné ochraně těchto strojních částí, které tak byly dlouhodobě vystaveny nadměrné prašnosti způsobené bouracími pracemi. Zatím nedošlo k poškození těchto mechanismů, ale po dokončení opravy komunikace a mostu bude nutno před jejich uvedením do provozu provést důkladné očištění, výměnu mazacích náplní a celkovou kontrolu funkčnosti.

Do konce března 2024 byly provedeny tyto práce: přeložky kabelů, bourání vozovky v celé délce hráze, odstranění mostních nosníků a osazení nových, armovacích práce pro železobetonovou spřahující desku mostovky a její betonáž, armování a betonáž chodníků na přemostění, příprava pro zřízení sjezdu do vodní nádrže při levém břehu u hráze.

V průběhu stavby jsou průběžně řešeny se zhotovitelem a investorem stavební detaily odvodnění svršku komunikace, které je navrženo novým drenážním systémem vedoucím mimo jiné přes horní strojovnu VD, opevnění sjezdu do zdrže u levého břehu hráze a detaily navázání nových betonových konstrukcí vozovky a mostu na spodní stavbu VD. Před dokončením díla se také předpokládá provedení opravy popraskaných obvodových zdí horních strojoven. V souladu s vyhláškou č. 471/2001 Sb. probíhá na vodním díle TBD a to dle zpracovaného Programu TBD pro období změny VD stavbou. Předpoklad dokončení díla je listopad 2024.

3 VD LES KRÁLOVSTVÍ (LABE, Ř. KM 1 041,43)

Přehrada Les Království byla postavena v letech 1910 – 1919 na řece Labi v podhůří Krkonoš. V době dokončení se jednalo o největší přehradní nádrž v Československé republice, co do zadržovaného množství vody. Hlavním účelem přehradní nádrže je zmírnění průchodu velkých vod v území pod přehradou. Dalšími účely jsou využití odtoku z nádrže k výrobě elektrické energie v průběžné vodní elektrárně a nadlepšování průtoku v Labi pod nádrží.

Vodní dílo tvoří přehradní gravitační, zděná hráz, půdorysně obloukovitě zakřivená. K vypouštění vody z nádrže slouží celkem pět spodních výpustí (1 hrázová a 4 v obtocích). Pro převádění povodňových průtoků je dílo vybaveno třemi nehrazenými bezpečnostními

přelivy (korunový o pěti polích ve střední části hráze a dva šachtové přelivy umístěné symetricky k ose hráze a zaústěné do levého, resp. pravého obtokového tunelu. Oba obtokové tunely ústí do upraveného koryta pod hrází. Vodní elektrárna, umístěna při pravém břehu pod hrází, je osazena turbosoustrojím se dvěma horizontálními Francisovými turbínami.

Od roku 1964 je vodní dílo Les Království chráněno jako národní technická památka a od roku 2010 jsou přehrada i vodní elektrárna zapsány mezi národní kulturní památky.

V letech 2018 – 2019 proběhla rekonstrukce domu hrázného, obou průjezdových bran na koruně hráze a levé šoupátkové věže. S ohledem na památkovou ochranu byly při rekonstrukci budov použity materiály a stavební prvky, které odpovídají historickým originálům.

3.1 Technický stav koruny hráze

Koruna hráze je půdorysně zakřivená o poloměru zakřivení 200 m, délka v koruně je 218 m a šířka koruny je 7,2 m. Po koruně hráze vede silnice č. III/32544 s chodníky po obou stranách. Obousměrná vozovka na koruně je široká pouze 4,2 m a oba chodníky mají šířku 1,10 m. Na levém i pravém závazání hráze navazují na zakončení hráze opěrné kamenné zdi navazujících odstavných ploch. Na koruně zdi je osazeno stejné pískovcové zábradlí jako na koruně hráze a podél zdi vede stejný chodník jako na koruně hráze.

Vodní dílo Les Království je v provozu více než 100 let a postupně se projevují příznaky jeho stárnutí. V roce 1958 proběhla rekonstrukce koruny hráze, kdy došlo k výměně povrchu vozovky, zároveň byla provedena i částečná hydroizolace koruny hráze a její odvodnění. Koruna hráze v současné době již nemá zcela funkční hydroizolaci a odvodnění a dochází tak k zatékání vody do konstrukce hráze. V posledních letech je komunikace na koruně hráze přetěžována dopravou (vč. nehodovostí), což neblaze působí na stavbu vodního díla. V současnosti je na koruně usměrněna rychlost na 30 km/hod, výška vozidla max. na 3,8 m a tonáž vozidla na nejvýše 9 t. Tato dopravní opatření jsou však nedostačující (malá šířka vozovky na koruně pro obousměrný provoz, trasa v nepřehledném oblouku). I malé nehody působí značné škody na vodním díle – najíždění na chodníky vede k poškození dlaždic zakrývajících kabelový žlábek, drobné nárazy do zábradlí vyžadují jeho odborné kamenické rozebrání, přeskládání, znovuukotvení atp. V zimním období se na konstrukci hráze nanášejí zbytky solí z ošetřování komunikace před a za hrází.

3.2 Majetkoprávní problematika

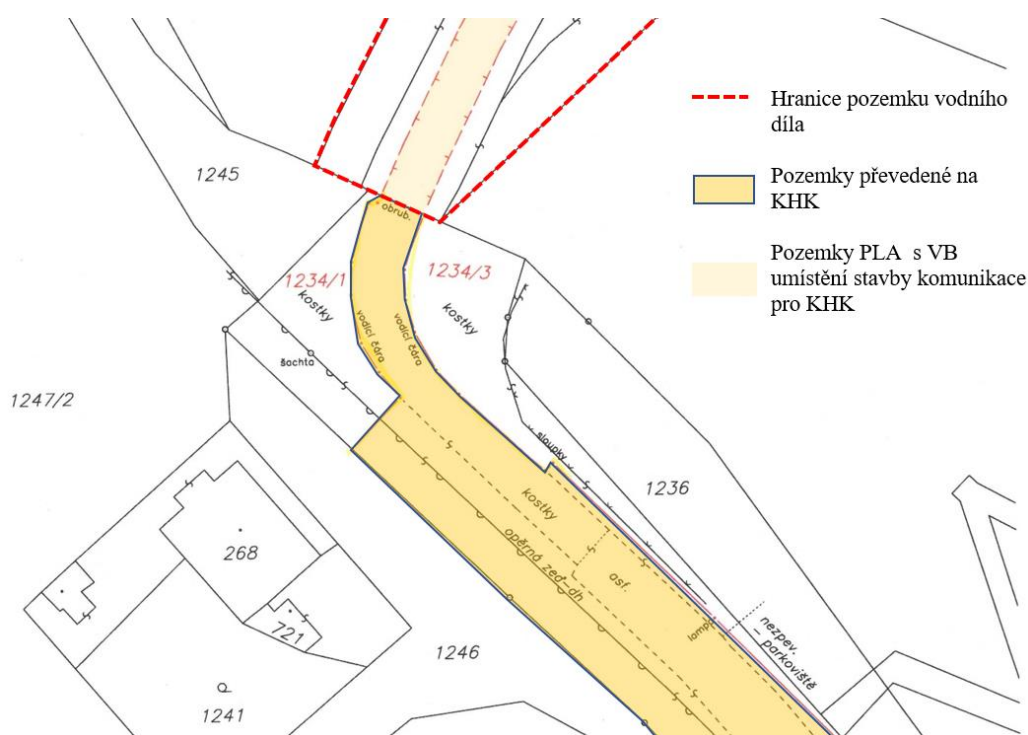
Od roku 2020 spolupracují Povodí Labe, státní podnik, Královéhradecký kraj a Správa a údržba silnic královéhradeckého kraje na majetkoprávním vypořádání staveb a pozemků za účelem realizace společné rekonstrukce koruny hráze a souvisejících částí vodního díla a komunikací. Předmětem majetkoprávního narovnání byly pozemky a stavební konstrukce nejen na koruně hráze, ale i v obou závazáních koruny. Konkrétně se jednalo o silnici III/32544 vedoucí přes korunu hráze, objekt přemostění korunového bezpečnostního přelivu, odstavné plochy v obou závazáních koruny a jejich opěrné zdi, chodníky na koruně a podél opěrných zdí navazujících na hráz, opěrné zdi příjezdové komunikace na obou březích Labe.

Po vzájemné shodě došlo k narovnání vlastnických vztahů následovně:

1. Souvrství vozovky na koruně hráze (mezi vyvýšenými obrubníky) včetně odvodnění je součástí silnice č. III/32544 ve vlastnictví Královéhradeckého kraje (správce Správa silnic

- KHK). Ostatní části hráze jsou ve vlastnictví ČR s právem hospodaření pro Povodí Labe, státní podnik.
2. Vozovka příjezdové silnice č. III/32544 a pozemky pod ní jsou ve vlastnictví Královéhradeckého kraje (správce Správa silnic KHK) – vymezení hranice pozemků silnice a navazujících zpevněných ploch bylo na základě stavebně technického provedení dlažeb.
 3. Opěrné zdi v souběhu s příjezdovou silnicí (na obou březích) jsou ve vlastnictví Královéhradeckého kraje, v úsecích přiléhajících k pozemkům s právem hospodařit pro Povodí Labe, státní podnik jsou jeho majetkem (Obr. 1).

Výše stručně popsané majetkoprávní vypořádání je nezbytné jak pro připravovanou společnou investici státního podniku Povodí Labe a Královéhradeckého kraje, tak i pro budoucí zajištění provozu jednotlivých částí stavby.



Obr. 1 Výřez z geometrického plánu pro majetkoprávní vypořádání v pravém zavázání hráze

3.3 Příprava rekonstrukce / opravy koruny hráze

V současné době se dokončuje zpracování projektové dokumentace. Inženýrská činnost pro zajištění stavebního povolení by měla být dokončena v r. 2024. Zpracovatelem projektové dokumentace je firma OPTIMA, spol. s r.o., Vysoké Mýto [3]. Celkové náklady na realizaci se dle cenové úrovně II/2023 odhadují na 58 mil. Kč bez DPH.

Dle požadavků investora budou navržené konstrukce respektovat historický ráz památky a současně musí splňovat i náročné požadavky na materiály z hlediska povětrnosti a provozu vozidel. Původní pískovcová dlažba komunikace na koruně hráze byla v roce 1958 nahrazena dlažbou žulovou z důvodu velkého obrusu již od tehdejší dopravy. Dnes je zatížení dopravou násobně vyšší oproti stavu z 60-tých let minulého století. Projektová dokumentace předpokládá jako pojezdnou vrstvu pískovcovou dlažbu (15x10 cm) výšky 100 mm, uloženou na lože z drti 2-5mm výšky 40 mm, s podkladem z litého asfaltu výšky 30mm a hydroizolací uložené na spádovém betonu výšky 100-150 mm s KARI sítí. Nově bude proveden i systém odvodnění

komunikace. Lokální zdroj pískovce (kamenolom Vyhnánov) je schopen dodat dlažbu s potřebnými atesty, nicméně odolnost proti obrusu je nižší než u dlažby žulové.

Nášlapná konstrukce chodníků bude provedena z obdobného materiálu jako dlažba vozovky na koruně hráze s tím, že rozměr dlažebních desek i materiál bude projednán s Národním památkovým ústavem. Projekt bude řešit mimo jiné i bezbariérový přístup a celkově i bezpečný pohyb osob po hrázi. Obdobně jsou i nadstandardní památkářské a estetické požadavky kladeny na masivní kamenné zábradlí na hrázi a zavazovacích křídlech. Všechny prvky zábradlí jsou z pískovce shodného se zdívkou hráze a jednotlivé prvky spojovány buď čepem, nebo pojivem – maltou. Stavebně technické řešení opravy předpokládá očištění zábradlí tlakovou vodou, přeložení uvolněných prvků a přespárování. Konečný výběr materiálu pro spárování bude rovněž předmětem projednání s NPÚ.

Z důvodu sdružené investice Povodí Labe, státní podnik a Královéhradeckého kraje je tato rozdělena do několika samostatných stavebních objektů, podobjektů a provozních souborů. Projekt bude mimo výše uvedené jiné řešit i například modernizaci zařízení TBD na koruně hráze a nový kamerový systém, opravu stávající kabeláže na koruně a v závazáních hráze vč. obnovy osvětlení, dopravní řešení pohybu vozidel na koruně, opravy spárování návodního a vzdušního líce hráze.

SEZNAM LITERATURY

- [1] MDS PROJEKT s.r.o., Ing. T. Bajer (2018): dokumentace pro provedení stavby „VD Pastviny, rekonstrukce koruny hráze“, Vysoké Mýto.
- [2] MDS PROJEKT s.r.o., Ing. T. Bajer (2020): dokumentace pro provedení stavby „Most ev. č. 33765-2 Křižanovice VD“, Vysoké Mýto.
- [3] OPTIMA spol. r. o, Ing. Z. Neudert (2023): jednostupňová dokumentace, v rozsahu pro povolení stavby, výběr zhotovitele a provedení stavby „VD Les Království, Oprava a rekonstrukce koruny hráze“, Vysoké Mýto.

AUTOŘI

Autor 1: Ing. Pavel Křivka, Ph.D., Povodí Labe, státní podnik, Víta Nejedlého 951/8, 500 03 Hradec Králové, Česká republika, krivkap@pla.cz

Autor 2: Ing. Ivan Beran, Povodí Labe, státní podnik, Víta Nejedlého 951/8, 500 03 Hradec Králové, Česká republika, berani@pla.cz

Autor 3: Ing. Jana Šánělová, Povodí Labe, státní podnik, Závod Pardubice, Cihelna 135, 530 09 Pardubice, Česká republika, shanelovaj@pla.cz

Autor 4: Ing. Irena Kvapilová, Povodí Labe, státní podnik, Závod Pardubice, Cihelna 135, 530 09 Pardubice, Česká republika, kvapilovai@pla.cz

Autor 5: Ing. Jitka Hofmeisterová, Povodí Labe, státní podnik, Závod Jablonec nad Nisou, Želivského 5, 466 05 Jablonec nad Nisou, Povodí Labe, státní podnik, Česká republika, hofmeisterovaj@pla.cz

REALIZÁCIA SANAČNÝCH PRÁČ NA DERIVAČNÝCH KANÁLOCH HYDROENERGETICKEJ SÚSTAVY VODNÝCH STAVIEB KRPEĽANY - SUČANY - LIPOVEC

IMPLEMENTATION OF REHABILITATION WORKS ON THE DERIVATION CHANNELS OF HYDROENERGETIC SYSTEM OF WATER STRUCTURES KRPEĽANY - SUČANY - LIPOVEC

Marián Caban¹, Ivan Voštinár²

Abstrakt: Aj vodné stavby podliehajú nezadržateľnému procesu starnutia a ich zvyšujúci sa vek prináša zvýšený výskyt porúch, ktoré môžu ohrozovať ich bezpečnosť. Sústava vodných stavieb Krpeľany - Sučany - Lipovec je v prevádzke už viac ako šesťdesiat rokov a jej hydrotechnické konštrukcie objektívne vykazujú rôzne typy stavebno-technických problémov. Z pohľadu bezpečnosti najväčšie ťažkosti tejto sústave spôsobujú poruchy návodného betónového tesnenia derivačných kanálov. Vplyvom dlhoročnej prevádzky, účinkom vody a klimatických podmienok je výskyt takýchto porúch očakávaný, avšak nepriaznivým dôsledkom sú priesaky cez telesá hrádzí, ktoré sa propagujú do podlažia alebo na ich vzdušnú stranu. Dlhodobé pôsobenie priesakov v kombinácii so sufóznymi javmi môže ohrozovať filtračnú ako aj celkovú stabilitu kanálových hrádzí. Na udržanie bezpečného prevádzkového stavu správca vodných stavieb (Slovenský vodohospodársky podnik, š. p.) v uplynulom období navrhol a následne zrealizoval súbor sanačných prác na poškodenom betónovom tesnení. Predkladaný príspevok prezentuje konkrétne technické činnosti, ktoré správca za ostatné obdobie, v súvislosti s odstraňovaním priesakových lokalít, zrealizoval.

Abstract: Water structures are also subject to an unstoppable aging process, and their increasing age also brings an increased occurrence of malfunctions that can threaten their safety. The system of water structures Krpeľany - Sučany - Lipovec has been in operation for more than sixty years, and its hydrotechnical structures objectively show various types of construction-technical problems. From the point of view of safety, the biggest difficulties for this hydroenergetic system are caused by malfunctions of the water side concrete sealing of the derivation channels. Due to the effect of long-term operation, the effect of water and climatic conditions, the occurrence of such faults is expected, but the adverse consequence is seepage through the embankment of the dike, which are propagated into the underlay or on their air side. The long-term effect of seepages in combination with suffusion effects can threaten the filtration as well as the overall stability of channel dikes. In order to maintain a safe operating condition, the administrator of the water structures (Slovenský vodohospodársky podnik, š. p.) in the past period proposed and subsequently implemented a set of rehabilitation works on the damaged concrete sealing. The submitted report presents the specific technical activities that the water management company carried out during the previous period in connection with the removal of seepage locations.

1 SÚSTAVA VODNÝCH STAVIEB KRPEĽANY - SUČANY - LIPOVEC

Výstavba vážskych kaskád bola realizovaná v rokoch 1932 - 1963 a tak patria k najstarším vodným stavbám na Slovensku. Hornovážska sústava vodných stavieb Krpeľany - Sučany -

Lipovec, s haťou v Krpeľanoch, bola vybudovaná v rokoch 1953 až 1960 za účelom využitia hydroenergetického potenciálu s denným vyrovnaním prietokov. Sústava má tri stupne, pričom stupeň Krpeľany prerodzuje prietok Váhu na energetické využitie (derivačný kanál) a zároveň zabezpečuje sanitárny prietok do starého koryta Váhu. Na derivačnom kanáli s dĺžkou 17,2 km sú vybudované dva stupne VE Sučany v staničení km 8,715 a VE Lipovec v km 15,768. Po energetickom využití vody na VE Lipovec je táto zaústená, prostredníctvom odpadového kanála, opäť do vodohospodársky významného vodného toku Váh. Jednotlivé derivačné kanále sú tvorené prírodným a odpadovým kanálom, dĺžka Sučianskeho derivačného kanála je 8,76 km (z toho 7,21 km tvorí prírodný kanál) a dĺžka Lipoveckého kanála je 6,93 km (z toho 6,53 km je prírodný kanál). Odpadové kanále predstavujú časť kanálov pod VE, ktorá je v prevažnej miere zapustená do jestvujúceho terénu, pričom svahy sú opevnené kamennou dlažbou, resp. prefabrikátmi, z hľadiska bezpečnosti sú teda relevantnejšie prírodné kanále, ktorých konštrukcia je prevažne nad pôvodným terénom.

2 Prívodné kanále a ich konštrukcia

Priečny profil prívodných kanálov (ďalej aj PK) je realizovaný v lichobežníkovom tvare, pričom jeho podstatná časť je vybudovaná nad pôvodným terénom v násype. Kapacita kanálov je nadimenzovaná na maximálnu hltnosť turbín $210 \text{ m}^3/\text{s}$ s pozdĺžnym sklonom 1,9 ‰. Návodný svah hrádzí a dno sú tesnené betónovým tesnením hrúbky 15,0 až 20,0 cm siahajúcim cca 0,75 ~ 1,0 m nad maximálnu prevádzkovú hladinu. Realizované bolo finišermi v pásoch (lamelách) šírky cca 7,0 m a dilatačné škáry medzi lamelami betónového tesnenia boli utesnené gumovými povrazcami s cementovou zálievkou vystuženou oceľovým prútom priemeru 7 mm. Dno kanálov sa betonovalo v pásoch 10,0 až 15,0 m. Šírka PK v dne je rôzna a pohybuje sa v rozpätí od 11,0 do 25,0 m. Sklony návodných, resp. vzdušných svahov sú 1:2, 1:2,5 a 1:3. Hrádze sa sypali a hutnili po vrstvách hrúbky 0,6 až 0,8 m, prevažne z hrubozrnných zahlinených štrkov. Koruna hrádzí a vzdušné svahy sú zahumusované a zatrávnené. Pri bežnej energetickej prevádzke hĺbka vody v kanáli kolíše medzi maximálnou prevádzkovou hladinou a minimálnou prevádzkovou hladinou v intervale 1,3 m, v tzv. rozkyve prevádzkových hladín.

3 PORUCHY BETÓNOVÉHO TESNENIA PRÍVODNÝCH KANÁLOV

Sústava vodných stavieb Krpeľany - Sučany - Lipovec je v prevádzke už viac ako šesťdesiat rokov a z pohľadu jej bezpečnosti a prevádzkyschopnosti sú najväčším stavebno-technickým problémom poruchy návodného betónového tesnenia derivačných kanálov (Obr. 1).



Obr. 1 Ukážka poškodenia betónového tesnenia na PK Sučany (pri zníženej hladine v PK)

Vplyvom dlhoročnej prevádzky, účinkom vody a klimatických podmienok je výskyt takýchto porúch očakávaný, avšak nepriaznivým dôsledkom sú priesaky cez telesá hrádzí, ktoré sa propagujú do podlažia alebo na ich vzdušnú stranu. Dlhodobé pôsobenie priesakov v kombinácii so sufóznymi javmi môže ohrozovať filtračnú ako aj celkovú stabilitu kanálových hrádzí. Na prírodných kanáloch Sučany - Lipovec, z pohľadu poškodení betónového tesnenia, je problematická hlavne oblasť rozkvyvu prevádzkových hladín, kde až 80 % betónových lamiel bolo poškodených (stav po inventarizácii poškodení v roku 2014). Oblasť rozkvyvu hladín bola značne porušená predovšetkým pozdĺžnymi trhlinami rôznej šírky a dĺžky, ktoré mali za následok priesaky telesami hrádzí. Charakteristika priesakov bola rôzna, prejavovali sa podmáčanou päťou hrádze alebo vývermi nad päťou a v ojedinelých prípadoch aj vývermi na vzdušnom svahu hrádze (Obr. 2, Obr. 3). Pre zabezpečenie bezpečného prevádzkového stavu hrádzí zrealizoval vodohospodársky prevádzkovateľ SLOVENSKÝ VODOHOSPODÁRSKY PODNIK, štátny podnik sanačné práce na poškodenom betónovom tesnení. V priebehu rokov 2015 - 2021 zabezpečil osadenie bitúmenovej fólie do oblasti rozkvyvu prevádzkových hladín, a to do všetkých priesakových úsekov, čo znamenalo jej aplikáciu na celkovej dĺžke viac ako 10 km. Na základe uvedených prác sa počet aktívnych priesakových úsekov rapídne znížil a stav návodného betónového tesnenia sa oproti roku 2014 zlepšil, t. j. miera bezpečnosti vodných stavieb Sučany a Lipovec sa zvýšila. Napriek uvedených opravám naďalej pretrvávali tri priesaky na PK Lipovec, a to v km 10,130, v úsekoch km 13,300 - 13,500 a km 15,050 - 15,200, všetky na ľavostrannej hrádzi. Priesak v km 10,130 bol charakterizovaný viacerými vývermi na päte hrádze, úsek 13,200 - 13,500 podmáčanou päťou a úsek km 15,050 - 15,200 vývermi nad päťou ako aj podmáčanou päťou hrádze.



Obr. 2 *Prejavy priesaku v km 10,130 na ľavostrannej hrádzi PK Lipovec*

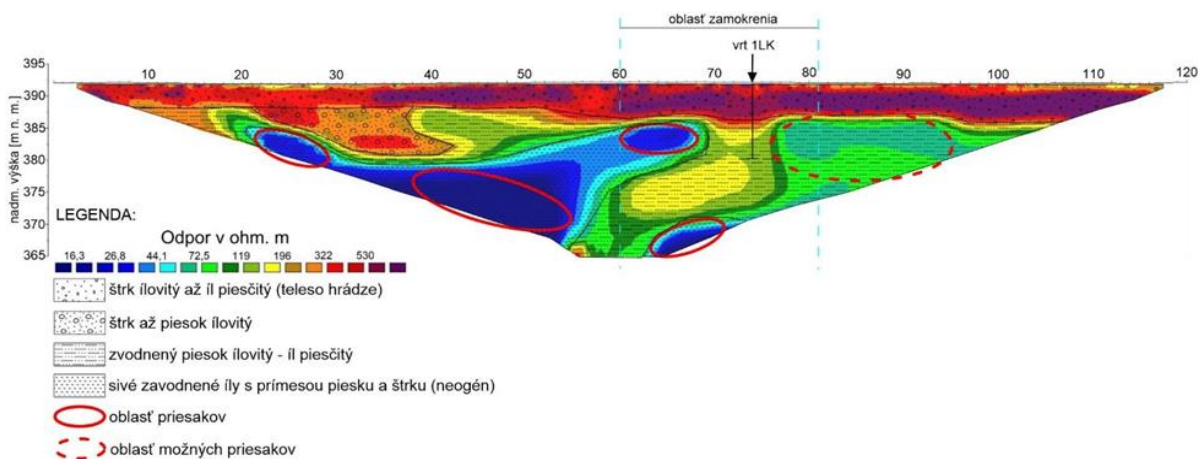


Obr. 3 *Podmáčaná päť ľavostrannej hrádze PK Lipovec v km 13,300 - 13,500*

Hladina v PK Lipovec bola následne znížená na úroveň minimálnej prevádzkovej hladiny, pri ktorej priesaky v km 10,130 a v úseku 13,200 - 13,500 aktívne neboli. Správca vodných stavieb

zabezpečil obhliadku uvedených lokalít prostredníctvom potápačov, ktorí identifikované poškodenia betónového tesnenia sanovali injektážou z dôvodu snahy o minimalizáciu vplyvu na energetickú prevádzku kaskády. Uvedené sanačné zásahy za plnej prevádzky však nevedli k uspokojivej eliminácii týchto priesakov.

Za účelom presnejšej lokalizácie preferovaných priesakových dráh bola následne zabezpečená, v spolupráci s poverenou organizáciou na výkon dohľadu (VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA, štátny podnik), realizácia povrchových geofyzikálnych meraní, ktoré boli vykonané v km 10,130 (Obr.4). Merania boli realizované v októbri 2022 v 2 profiloch, 1. profil bol osadený na svahu hrádze (dĺžka 94 m) a 2. profil na korune hrádze s dĺžkou 126 m. Použitá bola metóda elektrickej odporovej tomografie, ktorá slúži na meranie hĺbkových rezov merného odporu v sledovanom prostredí. V oboch profiloch bolo zachytené samotné teleso hrádze ako oblasť najvyšších merných odporov, pričom na 2. profile bolo interpretovaných viac oblastí znížených odporov, ktoré indikujú preferované priesakové dráhy pod telesom hrádze.



Obr. 4 Grafická interpretácia 2. profilu

Vzhľadom na nutnosť odstránenia obmedzení vyplývajúcich z TBD pri energetickej prevádzke Hornovážskej kaskády, ktoré bolo možné dosiahnuť len elimináciou predmetných priesakov a vzhľadom na výsledky geofyzikálnych meraní správca vodných stavieb rozhodol o potrebe realizácie sanačných prác na návodnom betónovom tesnení pri vypustených kanáloch Sučany - Lipovec. Sanačné práce boli realizované v priebehu augusta až októbra 2023. Pred zahájením samotných prác bol vodohospodárskym prevádzkovateľom vypracovaný dočasný manipulačný poriadok vodnej stavby II. kategórie Krpel'any - Sučany - Lipovec a projektová dokumentácia vrátane harmonogramu tejto „mimoriadnej revízie derivačnej sústavy“.

4 SANAČNÉ PRÁCE NA DERIVAČNÝCH KANÁLOCH SUČANY - LIPOVEC V ROKU 2023

Základné stavebno-technické riešenie sanácie priesakov pozostávalo z dodatočného utesnenia existujúceho návodného betónového tesnenia derivačného kanála špeciálnou tesniacou bitúmenovou geomembránou Coletanche ES2 celoplošne v celom prietóčnom profile (Obr.5). Realizácii pokládky geomembrány však predchádzali prípravné a sanačné práce. Už počas postupného prázdnenia kanálovej sústavy vykonávali technický pracovníci Povodia horného Váhu, Prevádzkového strediska Turiec pasportizáciu porúch betónového návodného tesnenia za účelom dodržania časového harmonogramu prác. Súbežne prebiehala prvá etapa prípravných prác - výkop ryhy pre fixáciu tesniacej bitúmenovej geomembrány nad betónovým tesnením. Po výlove rybej obsádky a úplnom vyprázdnení kanálovej sústavy boli zahájené práce na

príprave podkladu pre pokládku geomembrány Coletanche ES2 otryskaním betónového tesnenia tlakovou vodou s následnými dobetónavkami nábehov a schodiskových stupňov. Zamestnanci SVP, š. p. boli rozdelení do pracovných čiat s jasne zadefinovanými činnosťami v rámci konkrétnych úsekov prírodných kanálov, tak aby bolo zabezpečené efektívne odstránenie všetkých identifikovaných porúch v celej ich dĺžke. Jestvujúce praskliny, nerovnosti a poškodené časti betónového tesnenia boli reprofilované sanačnými maltami. Taktiež dilatačné a pracovné škáry boli postupne vyplňané gumoasfaltom, bitúmenovými, či polyuretánovými tmelmi a sanačnými maltami. Súbežne prebiehalo koordinované odtážovanie a odvoz sedimentov spred vtokov na stupeň VE Lipovec.



Obr. 5 Realizácia pokládky geomembrány v km 15,050 - 15,200

Po dokončení prípravných prác a úprave podkladu bolo zrealizované utesnenie bitúmenovou geomembránou ES2, pokládkou v celom priečnom profile Lipoveckého kanála v staničeníach 10,070 - 10,170 a 15,050 - 15,200 (Obr. 6). Zvislé pásy geomembrány šírky 5,100 m s vodotesne pretavenými presahmi po 20 cm, ukladané z oboch strán boli v strede profilu kanála šachovnicovo napájané. V hornej časti nad betónovým tesnením bola membrána zakotvená v kotevnej ryhe a ešte fixovaná kotevnou sponou z betonárskej ocele o priemere 12 mm. Priečne bolo zafixovanie membrány zabezpečené pozinkovanou pásovinou 5/50 mm, kotvenou každých 40 cm nerezovými skrutkami do betónu. Pre tesné pripojenie geomembrány k betónovému povrchu, sa v mieste pod fixačnou lištou aplikoval tesniaci bitúmenový tmel. Kotviaca lišta sa nakoniec prekryla ďalším pásmom geomembrány šírky 35 cm. Spätným zásypom ryhy zemnej kotvy a finálnou úpravou terénu boli práce ukončené. Dva priesaky sa sanačným zásahom podarilo úplne eliminovať, tretí výrazne obmedziť na intenzite.



Obr. 6 Dokončená pokládka geomembrány v celom profile kanála v km 10,070 - 10,170

5 ZÁVER

Opravy kanálových betónových tesnení pripravené a zrealizované výlučne vlastnými pracovníkmi správcu vodnej stavby SVP, š. p., Povodie horného Váhu, Odštepny závod Ružomberok významne prispeli k bezpečnosti a prevádzkyschopnosti vodnej stavby Krpeľany - Sučany - Lipovec. V neposlednom rade prispeli tiež k predĺženiu jej celkovej životnosti. Avšak vzhľadom na technický stav a nezadržateľný proces starnutia návodného betónového tesnenia prírodných kanálov Sučany - Lipovec bude potrebné zabezpečenie značných finančných prostriedkov na komplexné celoplošné pretesnenie návodných strán kanálov. Do času získania financií a následnej realizácie komplexnej opravy je potrebné, pre udržanie bezpečnosti kanálových hrádzí, aby boli priebežne odstraňované všetky prípadné poruchy návodného betónového tesnenia, tak ako to správca vodnej stavby v rámci svojich možností v rokoch 2015 - 2023 úspešne realizoval.

ZOZNAM LITERATÚRY

- [1] Berezňaninová, D., Voštinár, I. (2024): VS Krpeľany - Sučany - Lipovec : 21. etapová správa o dohľade počas trvalej prevádzky za HR 2022 - 2023. VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA, š. p., Bratislava, 270 s.
- [2] SVP š.p. OZ Ružomberok 2023, Dočasný manipulačný poriadok pre vodnú stavbu Krpeľany- Sučany- Lipovec
- [3] PROJEKTOVÁ DOKUMENTÁCIA, VS Krpeľany-Kanál K-S-L, oprava betónového tesnenia. Ružomberok 2023

AUTORI

Autor 1: Ing. Marián Caban, SLOVENSKÝ VODOHOSPODÁRSKY PODNIK, štátny podnik, Povodie horného Váhu, odštepny závod, Jána Jančeka 36, 034 01 Ružomberok, Slovenská republika, marian.caban@svp.sk

Autor 2: Ing. Ivan Voštinár, VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA, š. p., úsek TBD, odbor bezpečnosti vodných stavieb, oddelenie TBD - Žilina, Teplička nad Váhom 1517, Slovenská republika, ivan.vostinar@vzb.sk

REKONSTRUKCE UZÁVĚRŮ SPODNÍCH VÝPUSTÍ NA VODNÍCH DÍLECH POVODÍ VLTAVY

RECONSTRUCTION OF LOWER OUTLET GATES ON WATERWORKS OF POVODÍ VLTAVY

Martin Král¹, Michal Butkai², Pavel Wolf³

Abstrakt: Státní podnik Povodí Vltavy, stejně jako ostatní správci vodních celků, sehrává zásadní roli v udržení spolehlivosti a bezpečnosti vodních děl. Tento článek shrnuje některé poznatky a zkušenosti vyplývající z provedených rekonstrukcí uzávěrů spodních výpustí na vybraných vodních dílech. V rámci rekonstrukce VD Sedlice proběhla kompletní výměna šoupátkových uzávěrů za nová desková šoupata s elektropohony. VD Hracholusky podstoupilo rekonstrukci, která spočívala v doplnění a úpravě vedení tabulových rychlouzávěrů, přičemž většina stavebních prací probíhala pod vodní hladinou. Na VD Strž došlo ke kompletní výměně potrubí spodních výpustí a montáži jak nových revizních, tak regulačních šoupátkových uzávěrů. Při rekonstrukci kuželových uzávěrů obtokového potrubí na VD Orlík se zhotovitel potýkal s komplikovanou dopravou rozměrných technologických dílů skrze chodby v tělese hráze. VD Švihov prošlo modernizací v podobě kompletní výměny technologie rozstřikovacích uzávěrů. Posledním vybraným vodním dílem je VD Žlutice, kde byly v rámci rekonstrukce MVE původní klapkové uzávěry z důvodu kavitace nahrazeny novými segmentovými uzávěry.

Abstract: The Povodí Vltavy State Enterprise, like other water body administrators, plays a crucial role in maintaining the reliability and safety of water works. This article summarises some findings and experiences resulting from the reconstruction of lower outlet gates on selected waterworks. As part of the reconstruction of the Sedlice dam, the gate valves were completely replaced with new plate gate valves with electric actuators. The Hracholusky dam underwent reconstruction, which consisted in the addition and modification of the line of the plate quick-action gates, with most of the construction work taking place below the water level. At the Strž dam, the piping of the lower outlets were completely replaced and both new inspection and control slide gates were installed. During the reconstruction of the cone gate of the bypass pipeline at the Orlík dam, the contractor had to deal with the complicated transport of large technological parts through corridors in the dam body. The Švihov dam was modernised by a complete replacement of the spray gate technology. The last selected water works is Žlutice dam, where, as part of the reconstruction of the hydropower station, the original flap gates were replaced by new segmented gates due to cavitation.

1 ÚVOD

Státní podnik Povodí Vltavy již od svého vzniku spravuje a hospodaří s vodními díly na Vltavě a v jejím povodí tak, aby byla vždy dodržena spolehlivost a bezpečnost těchto staveb. Tento příspěvek představuje vybrané rekonstrukce spodních výpustí, které byly v posledních několika letech provedeny. Stavební práce na takto významných vodních dílech jsou vždy komplikovaná, ať už jde o práce prováděné i několik desítek metrů pod vodní hladinou,

transport těžkých komponentů skrze těleso hráze, či podmínky zachování minimálních průtoků v toku pod vodním dílem během odstavení spodních výpustí.

VD Sedlice

Vodní dílo Sedlice se nachází na vodním toku Želivka a bylo postaveno v letech 1921–1927 za účelem akumulovat vodu pro výrobu špičkové elektrické energie. Na vodním díle se nachází pouze jedna spodní výpust se dvěma regulačními uzávěry DN 800 s ručním pohonem. V roce 2023 započala kompletní výměna obou uzávěrů za nová desková šoupata s elektropohony (Obr. 1) a doplnění obtokového potrubí s regulačním uzávěrem pro převod minimálního zůstatkového průtoku. Tento průtok musel být zachován i během výstavby, kdy tato jediná spodní výpust musela být odstavena. K tomu zhotovitel využil dočasnou konstrukci násosky, která vodu převáděla přes bezpečnostní přeliv (Obr. 2).



Obr. 1 Desková šoupata na VD Sedlice



Obr. 2 Dočasná konstrukce násosky

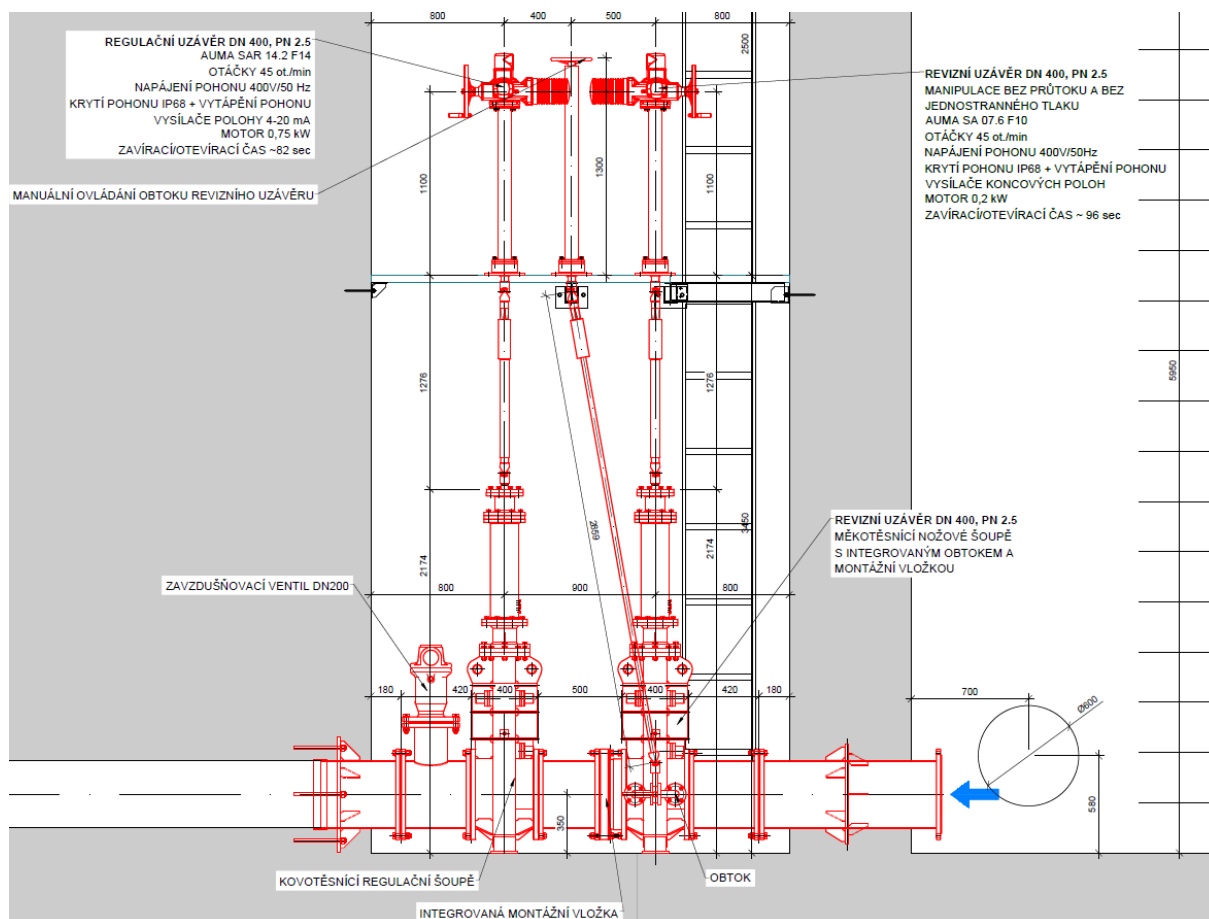
VD Hracholusky

Přehrada Hracholusky stojí na řece Mži a již od roku 1964, kdy byla uvedena do trvalého provozu, akumuluje vodu zejména pro regionální průmysl. Během pravidelných technickobezpečnostních prohlídek byla zjištěna již rozsáhlá degradace bočního vedení tabulových rychlouzávěrů a pro zajištění funkčnosti a bezpečnosti vodního díla bylo rozhodnuto o jejich výměně. Stavební práce byly zahájeny 07/2022 a spočívaly zejména v demontáži původního ocelového bočního vedení a odřezání ocelových a železobetonových konstrukcí pod vodní hladinou v hloubce až 25 metrů. V další fázi proběhla výroba a montáž jak nového nerezového bočního, tak i protivodního vedení včetně svařování a betonáže pod vodní hladinou. Vše za pomoci pracovních potápěčů.

VD Strž

Na vodním díle Strž ležící nedaleko Žďáru nad Sázavou došlo v rámci technologicko-stavebních prací ke kompletní výměně obou větví potrubí spodních výpustí DN 400. Výměna musela probíhat v časové posloupnosti tak, aby v průběhu výměny byla zachována

provozuschopnost alespoň jedné z výpustí. Před zahájením demontáže byl nátok zahrazen za pomoci pracovních potápěčů. V další fázi technologické části proběhla instalace 2ks nových revizních a 2ks regulačních šoupětových nožových uzávěrů umístěných na potrubí spodních výpustí v revizní šachtě (Obr.3).



Obr. 3 Výkres sestavy spodní výpusti (SWECO Hydroprojekt a.s., 2021)

VD Orlík

Orlická přehrada na řece Vltavě je naším největším vodním dílem. S ohledem na velký výškový rozdíl, který se zde nachází, jsou jakékoliv práce uvnitř vodního díla problematické. Stejně tak tomu bylo při rekonstrukci technologie na odvodňovacím potrubí spodních výpustí, která musela být dopravena z přístupových plat na hrázi, přes prostory hráze a dále přístupovými chodbami až na místo montáže v revizní chodbě (Obr.4). Zde proběhla kompletní výměna 2 ks regulačních kuželových uzávěrů DN400 s jmenovitým tlakem PN 10 (Obr., Obr.6). Při zpětném napojení montážní vložky na původní litinové potrubí došlo vlivem silné degradace potrubí k jeho prasknutí. Nově muselo být nastaveno pomocí převlečné těsnící manžety, která umožňovala nové pevné spojení litinového potrubí s přírubou kuželového uzávěru.



Obr. 4 *Přesun původního uzávěru*



Obr. 5 *Osazený uzávěr (Ševčík HYDRO s.r.o.)*

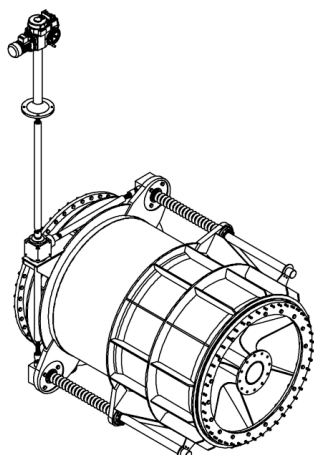


Obr. 6 *Dokončené kuželové uzávěry (Ševčík HYDRO s.r.o.)*

VD Švihov

VD Švihov (Želivka) bylo vybudováno v letech 1965–1975 na vodním toku Želivka s hlavním účelem zajištění kvalitního zdroje surové vody pro úpravnu pitné vody. Dnes již dodává vodu pro aglomeraci více než 1,2 mil. obyvatel. Veškeré práce tak musejí být prováděny za zvýšených bezpečnostních opatření. Stejně tak proběhla i v roce 2021 modernizace technologického zařízení spodních výpustí. V objektu byly osazeny nové regulační rozstříkací uzávěry a provedeny související úpravy vč. nových povrchových ochranných potrubí a opacňování komory RU (Obr.7, Obr. 8). Provedením rekonstrukce regulačních uzávěrů byla zajištěna vyšší

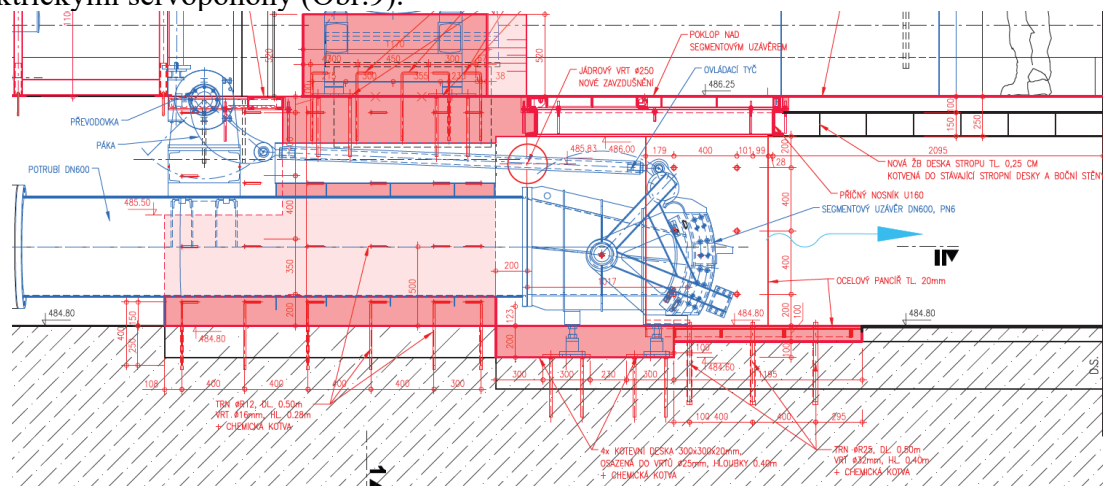
bezpečnosť provozu, spoľahlivosť a životnosť zariadení, vrátane nového ŘS s možnosťou vzdialeného ovládania.



Obr. 7 Model uzávěru (AQUATIS a.s., 2020) **Obr. 8** Dílenské práce na rozstřikovacím uzávěru (Ševčík HYDRO s.r.o.)

VD Žlutice

Žlutická přehrada leží asi 4 km nad městem Žlutice na vodním toku Střela. Byla vybudována v letech 1965–1968 a je osazena dvěma spodními výpustěmi DN600 z nichž odbočují přírodní potrubí pro 2 turbíny typu Bánki, které zde byly instalovány v letech 1996-1997. Během rekonstrukce MVE v období 2022-2023 byly původní regulační klapkové uzávěry z důvodu kavitace a degradace nahrazeny novými segmentovými uzávěry DN600 poháněnými elektrickými servopohony (Obr.9).



Obr. 9 Podélný řez technologie (AQUATIS a.s., 2023)

AUTOŘI

Autor 1: Ing. Martin Král, Povodí Vltavy, státní podnik. Holečkova 3178/8, 150 00 Praha 5, Česká republika, martin.kral@pvl.cz

Autor 2: Ing. Michal Butkai, Povodí Vltavy, státní podnik. Holečkova 3178/8, 150 00 Praha 5, Česká republika, michal.butkai@pvl.cz

Autor 3: Ing. Pavel Wolf, Povodí Vltavy, státní podnik. Holečkova 3178/8, 150 00 Praha 5, Česká republika, pavel.wolf@pvl.cz

REKONSTRUKCE VODNÍHO DÍLA JEZEŘÍ

RECONSTRUCTION OF THE JEZEŘÍ DAM

Blahoslav Kluc

Abstrakt: Vodní dílo Jezeří bylo vybudováno v letech 1902 – 1904 knížetem Moritzem Lobkovicem za účelem zásobování pitnou a užitkovou vodou. Vodárenské využití trvalo do roku 2002, kdy byl zastaven provoz úpravny vody. Od roku 2003 je vodní dílo, coby kulturní památka, vedeno jako záložní zdroj. Vzhledem ke stáří a technickému stavu vodního díla byla v období od 2014 – 2018 provedena diagnostika jednotlivých konstrukcí, která zahrnovala geotechnický a stavebně-technický průzkum včetně průzkumu erbu Lobkoviců. Z provedených průzkumů vyplynula potřeba celkové rekonstrukce vodního díla. Rekonstrukce vodního díla Jezeří je rozdělena do tří etap: 1. etapa zahájena v roce 2017 obsahuje vypuštění nádrže se zajištěním stability odběrné věže, odlovení živočichů a zabezpečení obojživelníků proti návratu. Ve 2. etapě, která byla zahájena v roce 2022, bylo provedeno odtěžení sedimentů a ochrana přístupové komunikace. 3. etapa byla zahájena současně s 2. etapou v roce 2022 a jejím úkolem je vlastní rekonstrukce vodního díla. Vlastní rekonstrukce se zabývá zejména demolicí odběrné věže, která bude opět vybudována včetně historizující věžičky. Nahrazení odbouraného návodního líce novou hydroizolací a vyzdění nového líce pomocí tvárníc specifické velikosti. Na vzdušném líci má být staré spárování nahrazeno novým. Ukončení rekonstrukce je plánováno na červen 2025.

Abstrakt: The Jezeří dam was built between 1902 and 1904 by Prince Moriz Lobkovic in order to supply drinking and utility water. Water use lasted until 2002, when the operation of the water treatment was stopped. Since 2003, the dam, as a cultural monument, has been maintained as a backup resource. Due to the age and technical condition of the dam, a diagnosis of individual structures was carried out between 2014 and 2018, which included a geotechnical and construction-technical survey, including a survey of the coat of arms of the Lobkovichs. The conducted surveys revealed the need for a total reconstruction of the dam. The reconstruction of the Jezeří dam is divided into three stages: The 1st stage started in 2017 includes draining the reservoir, ensuring the stability of the intake tower, catching the animals and securing the amphibians against return. In the 2nd stage, which started in 2022, the removal of sediments and the protection of the access road were carried out. The 3rd stage was started at the same time as the 2nd stage in 2022 and its task is the actual reconstruction of the dam. The actual reconstruction deals mainly with the demolition of the intake tower, which will be rebuilt, including the historical turret. Replacement of the demolished upstream face with new hydroisolation and bricking of the new face using blocks of a specific size. On the downstream face, the old joint seal will be replaced with a new one. Completion of the reconstruction is planned for June 2025.

1 ÚVOD

Vodní dílo Jezeří v blízkosti města Chomutova v Severozápadních Čechách vybudované Moritzem Lobkovicem a považované za kulturní památku doznalo technického stavu, který vyžadoval kompletní rekonstrukci. Vlastní rekonstrukce vodního díla byla zahájena v roce 2022.

2 PARAMETRY VODNÍHO DÍLA PŘED REKONSTRUKCÍ

Vodní dílo Jezeří je zařazeno do III. kategorie z hlediska technicko-bezpečnostního dohledu a je tvořeno tížnou hrází, zděnou z lomového kamene na cementové maltě s návodním lícem z betonových tvárnic. Obloukový půdorys je vyklenutý proti vodě s poloměrem asi 120 m. Výška hráze nad terénem je 17,5 m, délka 86,4 m a šířka koruny hráze včetně obrubníků je 4,60 m. Ve středu hráze 6,0 m od návodního líce stojí kruhová odběrná betonová mokrá věž o vnějším průměru 3,0 m zakončena osmibokou nástavbou z opracovaných kamenných bloků. Ve věži je umístěno ruční ovládání tří šoupat (výpustné a odběrné zařízení). Vodní dílo je opatřeno bočním nehrazeným přelivem o délce přelivné hrany 11,8 m s kaskádovým skluzem se 16 stupni s převýšením 19,1 m. Spadišťové koryto zaústíje do klenbového mostu délky 14,0 m. Celkový objem nádrže je 53 tis. m³ na zatopené ploše 0,64 ha.

3 PŘÍPRAVA PŘED REKONSTRUKCÍ VODNÍHO DÍLA

3.1 Vypořádání majetkových vztahů

Vodní dílo Jezeří umístěné v Národní přírodní rezervaci Jezerka (NPR) bylo do roku 2011 v majetku Lesy Jezeří k. s. a leží na hranici katastrálního území Podhůří u Vysoké Pece (okres Chomutov) a katastrálního území Jezeří (okres Most). Společnost I. H. Farm s. r. o. odkoupila od společnosti Lesy Jezeří k. s. lesy v prostoru NPR a to v rozporu se zák. č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny, kdy státu přísluší předkupní právo na pozemek v NPR. Postup Lesů Jezeří k. s. byl napaden Ministerstvem Životního prostředí (MŽP), které podalo 19. 12. 2014 žalobu o nahrazení projevu dobré vůle k Okresním soudům (OS) Most a Chomutov. OS Most již rozhodl ve prospěch MŽP a správa majetku byla svěřena Agentuře ochrany přírody a krajiny ČR (AOPK). Zájemem Povodí Ohře s. p. bylo získat od AOPK pozemky, které jsou součástí vodního díla Jezeří a jsou tak nezbytné pro činnost Povodí Ohře s. p. Příslušné povodí tak odkoupilo pozemky, které AOPK získalo rozhodnutím OS Most. Podobný postup se předpokládá i po rozhodnutí OS Chomutov.

3.2 Provedené průzkumy

3.2.1 Rodový erb, nápis na vzdušném líci, atika

Z provedeného průzkumu bylo patrné, že je třeba provést kompletní opravu rodového znaku Lobkoviců. Původní nápis „MORIZ – SPERRE“, po kterém jsou patrné pouze zbytky nápisu, má být zcela obnoven. V době průzkumu byla atika celoplošně omítnutá. Vzhledem k tomu, že je atika porušena hustou sítí širokých trhlin a dochází k odpadávání štukových vrstev, bude také obnovena.

3.2.2 Geotechnický průzkum

Průzkum byl zaměřen na podloží rekonstruované lesní cesty, která lemuje vodní dílo zleva. Celkem byly provedeny 4 vrтанé sondy, které byly v některých případech upraveny na kopané rýhy. Z průzkumu vyplývá, že povrch stávající cesty je tvořen kombinací kamenné dlažby, šterku a organické hlíny. Výstupem průzkumu bylo doporučení ošetření příjezdové cesty, nicméně bude dále zachován její původní ráz.

3.2.3 Stavebně-technický průzkum

V rámci průzkumu byla provedena vizuální obhlídka, dále byly provedeny nedestruktivní zkoušky např. zkoušky Schmidtovým tvrdoměrem korelovány s výsledky z jadrových odvtů a bouraných sond. Průzkum prokázal složení krytých částí a jejich kvalitu, resp. potřebu opravy na základě zjištěných poruch. Rozsah průzkumu byl stanoven v celém rozsahu přehrady a jejich funkčních částí. Výsledkem bylo zjištění, že je třeba přistoupit k rekonstrukci VD Jezeří komplexně.

3.3 Vypuštění vodního díla a těžení sedimentů

V rámci I. etapy zahájené v roce 2017 bylo provedeno vypuštění vodního díla a zajištění stability stávající odběrné věže. Pro vypuštění VD bylo provedeno zahrazení prvního sedimentačního bazénu na nátoku do VD a převod vody pomocí obtokového koryta. VD bylo kompletně vypuštěno, sediment ponechán v nádrži.

V rámci II. etapy zahájené současně s III. etapou v roce 2022 bylo provedeno vytěžení sedimentu. Pro zpřístupnění lokality byla provedena ochrana přístupové komunikace (stávající štětované cesty) a zpevnění manipulační plochy před vzdušním lícem. Těžení samotného sedimentu bylo provedeno pomocí těžké techniky (nakladače) a přenášeno z nádržního prostoru přes těleso hráze do podhráží pomocí vany přenášené jeřábem. Jeřáb byl umístěn v podhráží a zajišťuje významnou manipulaci sedimentů včetně transportu různého materiálu.

4 VLASTNÍ REKONSTRUKCE

4.1 Rodový erb, nápis na vzdušním líci, atika

4.1.1 Rodový erbovní znak rodiny Lobkoviců a nápis na vzdušním líci

Erbovní znak včetně nápisu a atika je uváděn jako SO 07. Navržený postup obnovy obsahuje demontáž rozlámaných a volných částí, preventivní předzpevnění uvolněných partií, očištění ulpívajících nečistot mechanicky skalpely a omytí párou pod mírným tlakem. Následuje biosanace algicidním a fungicidním roztokem ředěným etanolem, celoplošné nanesení konsolidačního roztoku na silikátové bázi (nejdůležitější krok), injektáž trhlin materiálem na vápenné bázi. Obnova spárování mezi reliéfem znaku a stěnou hráze. Dále doplnění veškeré chybějící modelace a tvarosloví na základě historické dokumentace, pasivování odhalených korodujících armatur a nanesení nátěrů proti korozi. Po lokální lazurní retuši následuje celoplošné provedení závěrečné konzervace a hydrofobizace. [2]

4.1.2 Atika

Oprava atiky odpovídá stejnému postupu uvedenému v opravě rodového erbovního znaku.

4.2 Vzdušný líc hráze – SO 01

Na vzdušním líci byla v souladu s PD mechanicky za pomoci bouracích kladiv odbourána výplň spár do předpokládané hloubky 120 mm s následným očištěním spár a při zajištění mezery mezi kameny pro následné spárování. Dále bylo lokálně přezděno degradované kamenné zdivo.

Spárování se provádí ve dvou vrstvách, nahrubo a následně načisto nesmrštitelnou cementovou maltou MC30. Pro zlepšení vlastností malt je do malt přidáván reaktivní zušlechťovač. Povrch spár je uhlazen kovovou spárovačkou. Dále se předpokládá úprava vnitřních prostor domků spodních výpustí a obnovení nátěrů ocelových konstrukcí.

4.3 Návodní líc hráze – SO 02

Návodní líc je podroben kompletní obnově, při které je proveden výkop v patě hráze a následné postavení lešení. Po odbourání návodního líce následuje celoplošné očištění tlakovou vodou tlakem vody do 200 bar. Dále je třeba nahrubo přespárovat rybinu, která byla v koruně hráze ověřena rozsáhlou sondou a je velmi kvalitně vyzděna z lomového kamene. Dalším krokem je nastříkání hydroizolace na bázi EVA polymeru v tloušťce vrstvy 4 mm s následným nástřikem ochranné betonové vrstvy betonu C25/30 v tloušťce cca 25 mm. Pro zarovnání vybourané části, vytvoření plochy pro kladení tvarovek návodního líce a rovněž jako protiváha pro provedení přípojovací injektáže jsou v místě ukončení bouracích prací vybetonovány základové prahy monolitického betonu C30/37 – X F3. Návodní líc se pak zdí maximálně po dvou vrstvách prefabrikovanými tvarovkami o rozměrech 350 x 245 x 165 mm z betonu C30/37 – XF3, poté se zalije meziprostor betonem C30/37 – XF3. Před zavadnutím cementové malty jsou spáry vyškrábnuty na hloubku cca 30 mm a následně přespárovány. Na konci je třeba provést betonáž výkopu u paty hráze betonem C20/25 do výšky 2,5 m a zpětný zásyp výkopu místní zeminou po vrstvách max. tl. 300 mm na PS 95 % nebo $I_d = 0,8$. Dokončovací práce obsahují provedení kamenné rovnání před návodním lícem s vyklínováním při použití čedičového kamene středního zrna 300 mm. [2]

4.4 Koruna hráze – SO 03

Po mechanickém odbourání betonové koruny hráze v tloušťce cca 400 mm pomocí ručních sbíjecích kladiv, přístupové lávky k odběrné věži a přemostění spadiště následuje položení spádové vrstvy betonu C30/37 tl. 80 – 150 mm v příčném spádu 1,5 % směrem k návodnímu líci hráze a hydroizolace asfaltovým hydroizolačním pásem s nosnou vložkou ze skelné tkaniny po dilatačních celcích 5,1 m. Hydroizolační pás je položen po dvou vrstvách a celoplošně nataven. Poté jsou betonovány betonové římsy z betonu C30/37 – XF3 na vzdušní straně v šíři 1,0 m a na návodní straně v šíři 0,6 m a tl. cca 380 mm. Následuje pokládka velkoplošné dlažby tl. 60 mm do šterkopískového lože tl. 320 mm, formát dlažby 500 x 500 mm, dlaždice HBG 6-60 v přírodní barvě. Přemostění kaskádového spadiště je vytvořeno betonovou deskou C 30/37 – XF3 spráženou se čtyřmi stávajícími ocelovými profily IPN 260 se sklonem 1,5 % směrem k návodnímu líci. Přístupová lávka k odběrné věži je tvořena betonovou deskou šířky 1,15 m, délky 5,89 m, tl. 0,15 m z betonu C 30/37 – XF3 vyztuženou ocelí B500B. Betonový blok schodiště z betonu C 30/37 vyztužený sítěmi KARI půdorysného rozměru 1,25 x 1,17 m je kotven do koruny hráze. [2] Záměr reprofilace krakorců byl v průběhu stavby s ohledem na špatný technický stav změněn na náhradu krakorců prefabrikáty. Na konci je zamýšlena zpětná montáž a úprava zábradlí.

4.5 Odběrná věž – SO 04

Postup rekonstrukce odběrné věže lze definovat následujícími kroky – dočasné statické zajištění tubusu odběrné věže, které bylo provedeno v I. etapě. Podrobná pasportizace historizující věžičky a následně postupné rozebrání historizující věžičky. Jednotlivé kameny byly dle PD očíslovány a jejich přesná poloha byla zaevidována za účelem jejich zpětného umístění,

k čemuž slouží pasport. Následuje demolice betonového tubusu a základové patky, odvrtání a vystrojení mikropilotového založení do skalního podloží na hloubku cca 6,0 m ve sklonu 2° od svislice. Po vytvrdnutí zálivky byla již provedena kořenová část mikropiloty. Kořen byl injektován po etážích 0,5 m do dosažení tlaku 2,0 MPa. Při spotřebě injektážní směsi 30 l/etáž aktivovanou cementovou suspenzí $c/v = 2,3/1$ bylo injektování přerušeno a po zatvrdnutí injektážní směsi daná etáž reinjektována (do dosažení výše uvedeného tlaku). Betonová patka se odlila z betonu C30/37 – XF3, vyztužena ocelí B500B. Tvar patky odpovídá původnímu tvaru. Byla realizována betonáž nového monolitického ŽB tubusu odběrné věže o průměru 2,9 m a tloušťky stěny 0,45 m. Vnitřní průměr tubusu je 2,0 m. Tubus byl odléván do oboustranného bednění po záběrech výšky max. 2,2 m z betonu C30/37 – XF3, vyztužen ocelí B500B. V určených etážích měly být do bednění osazeny prostupy pro spodní výpusti a vodárenské odběry, nicméně ve skutečnosti byl monolit tubusu vylit a následně byly otvory vytvořeny jádrovými vývrty. Každá pracovní spára je utěsněna gumovým těsněním (např. Sika – gumový těsnicí pás Tricosal F 300 Elastomer) a doplněna vždy dvojicí bobtnacích pásků na bázi akrylátu.

Vystrojení tubusu – nové technologické vybavení. Stávající ocelové konstrukce (táhlo pod klenbou, dveře a okenní rámy) jsou repasovány, tzn. opískovány na stupeň Sa 2,5, natřeny základní vrstvou a 2 – 4 vrstvami vrchního nátěru černého odstínu na bázi polyuretanu v celkové tloušťce min. 300 μm . [2] Následuje zpětná výstavba historizující věžičky a betonáž jímký sedimentů.

4.5.1 Odběrné a výpustné potrubí

Účelem stavby navrženého opatření je rekonstrukce stávajících spodních výpustí 2x DN 200 s jedním nátokem na plnohodnotné dvě nezávislé spodní výpusti DN 300, a dále rekonstrukce odběrných míst v rámci rekonstrukce věžového odběrného objektu. Základní parametry jsou pak v případě spodních výpustí – ocelová potrubí DN 300, ocel 1.4301 – dl. 21,6 + 23,25 m, v případě odběrných míst pak ocelová potrubí DN 200, ocel 1.4301 – dl. 2x 1,0 m. Nátoky odběrných míst budou opatřeny přírubovými, vtokovými koši DN 200 z oceli 1.4301.

Věžový odběrný objekt je navržen jako trvale zaplavený. Ovládání šoupat spodních výpustí a odběrů bude pomocí ovládacích tyčí přeneseno do obslužného domku na vrcholu věžového odběrného objektu. [2]

4.6 Bezpečnostní přeliv – SO 05

V rámci opravy bezpečnostního přelivu má dojít k přespárování bočních kamenných zdí, k opravě dna a stupňů a zdí na nátoku. Rovněž dojde k opravě sedimentačních jímek.

Postupovat se má v objektu BP následovně: celoplošné očištění tlakovou vodou tlakem do 200 bar, mechanické vysekání spár pomocí ručních pneumatických bouracích kladiv a vyčištění do hloubky 120 mm. Následuje přezdění a přespárování kamenného zdiva nesmrštitelnou cementovou maltou MC30, povrch spár bude uhlazen kovovou spárovačkou. Poté bude odbouráno stávající dno a betonáž nového betonového dna. Betonová deska přelivné hrany a horní řada kamenného zdiva bude odbourána. Samotná betonová hrana má být provedena z betonu třídy C30/37 – XF3 při použití KARI sítí 8/100 a dodržení horní hrany přelivu na kótě 470,57 m n. m. Stávající pravobřežní zeď objektu BP vykazuje poruchy, stejně tak závěrná zídka se zazděným vejčítým potrubím obtoku. Pravobřežní zeď přelivu bude odbourána do úrovně 4 horních řad zdiva. Zeď bude zpětně vystavěna s využitím prefabrikátu připravovaných pro nové vyzdění návodního líce. Pro betonové části je použit beton C30/37 – XF3, vyztužení bude provedeno pomocí KARI sítí 8/100.

Závěrná zídka bude ubourána v rozsahu celého horního stupně. Způsob obnovy spár je obdobný jako v předhozích částech. Při odbourání přelivu a pravobřežní zdi bude sneseno celkem 7 ks ledolamů, které jsou tvořeny ocelovými nosníky z kolejnic. Ledolamy budou opískovány na stupeň čistoty Sa2,5 a opatřeny novou protikorozi ochranou na bázi polyuretanu v celkové tloušťce min. 30 μm . Následně bude provedeno mechanické vysekání spár sedimentačních jímek a odstranění betonu z dna jímek. Po přespárování a případném proinjektování kaveren bude dno znovu nabetonováno v mocnosti cca 150 mm. Dno bude provedeno z betonu třídy C30/37 – XF3. [2]

4.7 Příjezdová komunikace – SO 08

Zpevnění přístupových komunikací a plochy pod hrází bylo provedeno ve II. etapě výstavby. Dle podmínek AOPK musí být po dokončení III. etapy rekonstrukce uvedeny komunikace do původního stavu. Dle PD bylo zvažováno odstranění panelů a jejich podsypů. [2] Ve skutečnosti byl použit v podhrází štěrkový zhutněný posyp, který bude odstraněn, následně bude povrch urovnán, případně dosypán. Panely pak byly použity pouze jako podklad pro jeřáb. Z přístupové štětované cesty bude odstraněn zhutněný posyp o šířce 4,0 m mechanicky zpevněného kameniva frakce 4 - 8 a 8 -16 tl. 200 mm, poté bude odstraněna separační geotextílie 300 g/m^2 . Po revizi cesty dojde k případným lokálním opravám štětování.

5 ZÁVĚR

K rekonstrukci VD Jezeří se přikročilo s ohledem na výsledky geotechnického a stavebně-technického průzkumu, kdy bylo patrné, že bez komplexního zásahu není možné zachovat toto historické dílo pro příští generace v bezpečném a provozuschopném stavu.

ZOZNAM LITERATÚRY

- [1] Vít, P. (2014): *VD Jezeří – rekonstrukce - Stavebně-technický průzkum a diagnostika*
- [2] Vít, P., AZ Consult spol. s. r. o. (2014): *VD Jezeří – rekonstrukce – III. etapa, projektová dokumentace*

AUTOR

Ing. Blahoslav Kluc, Povodí Ohře s. p., ul. Bezručova 4219, Chomutov, Česká republika,
Kluc@poh.cz

STABILIZÁCIA JUHOVÝCHODNEJ HRÁDZE VODNEJ STAVBY VIHORLAT (ZEMPLÍNSKA ŠÍRAVA)

STABILIZATION OF THE SOUTHEAST DAM OF THE WATER RESERVOIR VIHORLAT (ZEMPLÍNSKA ŠÍRAVA)

Peter Pončák¹, Alena Šoltisová², Jaroslav Vaľo³, Alena Miščiková⁴

Abstrakt: Vodná stavba Vihorlat, verejnosti známa pod názvom Zemplínska Šírava, je situovaná ako bočná nádrž v povodí Čiernej vody a rozprestiera sa na úpätí pohoria Vihorlat severovýchodne od Michaloviec. Vybudovaná bola v rokoch 1961 – 1966 v súčinnosti s realizáciou vodohospodárskych úprav na Východoslovenskej nížine. Zhoršený stav odtokových pomerov v šachtách zberného drénu priesakov juhovýchodnej hrádze a negatívny vplyv klimatických podmienok na zmenu štruktúry zemín použitých na výstavbu hrádzí, ktoré sú v prevádzke 58 rokov, sú v podstatnej miere príčinou nepriaznivých trendov vývoja pozorovaných javov na korune a vzdušnom svahu hrádze. V tejto súvislosti prebiehajú práce na zabezpečení projektovej dokumentácie celkovej rekonštrukcie hrádze. Pred realizáciou samotnej rekonštrukcie pristúpil operatívny správca vodnej stavby k oprave drenážneho systému juhovýchodnej hrádze. Cieľom príspevku je poukázať na technické riešenie spôsobu obnovenia odtoku priesakových vôd z priečných drénov cez zberné potrubie na päte vzdušnej strany hrádze a návrh riešenia samotnej stabilizácie hrádze vodnej stavby.

Abstract: The Vihorlat water reservoir, known to the public under the name Zemplínska Šírava, is situated as a lateral reservoir in the basin Čierna voda and extends at the foot of the Vihorlat mountain range northeast of Michalovce. It was built between 1961 - 1966 in collaboration with the implementation of water management improvements in the East Slovak Plain. The deteriorated condition of the drainage system in the shafts of the seepage collection drain of the southeastern dam and the negative influence of climatic conditions on the change in the structure of the soils used for the construction of the dams, which have been in operation for 58 years, are to a significant extent the cause of the unfavorable trends in the development of the observed phenomena on the crown and aerial slope of the dam. In this context, work is underway to secure project documentation for the overall reconstruction of the dam. Before the reconstruction itself was carried out, the operative manager of the water reservoir began to repair the drainage system of the south-eastern dam. The aim of the contribution is to point out the technical solution of the method of restoring the outflow of seepage waters from the transverse drains through the collection pipe at the foot of the air side of the dam and the proposal of the solution for the stabilization of the dam of the water reservoir structure itself.

1 ÚVOD

Mimoriadne závažnou otázkou vplyvu vodných stavieb na okolité prostredie je ich bezpečnosť, resp. miera rizika zlyhania týchto strategických vodohospodárskych diel. Z výsledkov štatistických údajov je za posledné obdobie zaznamenaný výrazný pokles porúch a havárií priehrad. Aj napriek tejto skutočnosti nemôžeme toto riziko podceňovať. Jednou z najčastejších príčin porúch a havárií sú priesaky. Tento rizikový faktor je v našich podmienkach starostlivo monitorovaný, pričom sledovanie slúži ku kontrole vodnej stavby a ku kontinuálnemu posudzovaniu jej bezpečnosti. Parametre pohybu podzemných a priesakových vôd sú na každej kategorizovanej vodnej stavbe sledované pozorovacím systémom.

Príspevok poukazuje na zhoršené odtokové pomery pozorované v zbernom potrubí v rámci drenážneho systému na juhovýchodnej hrádzi vodnej stavby Zemplínska Šírava, vplyvom prerastajúcich koreňov nežiaducej vegetácie stromov a invázných rastlín cez spoje potrubia a na technické riešenie rekonštrukcie a obnovy odvodňovacieho systému.

2 POPIS ZÁUJMOVÉHO ÚZEMIA

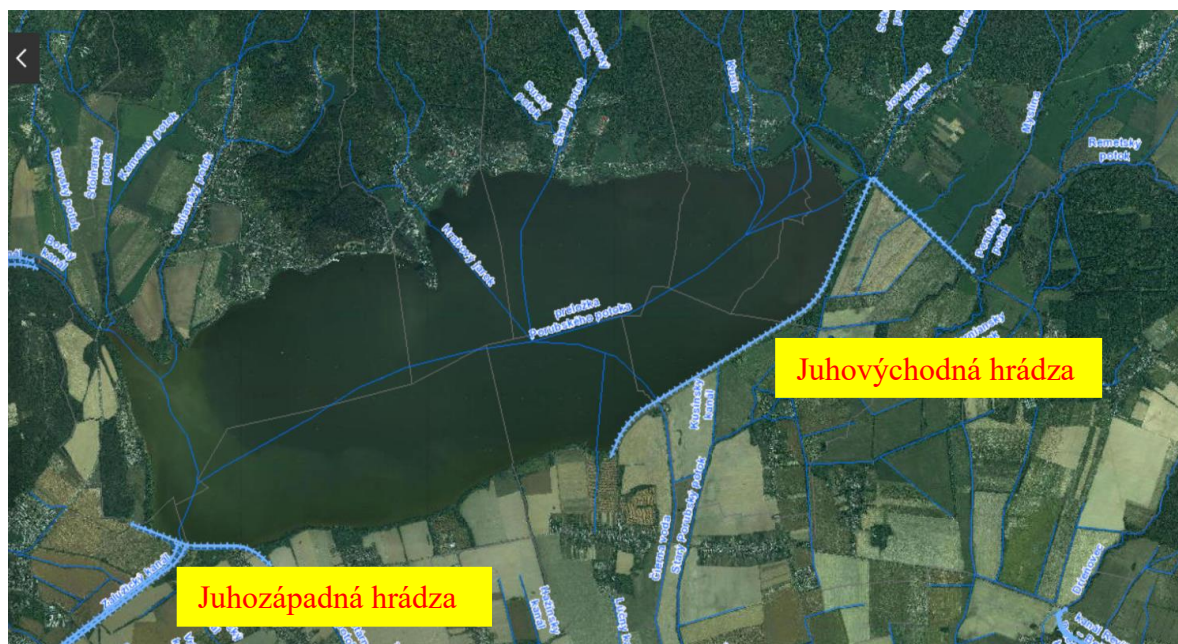
Hlavným účelom vodnej stavby (VS) Zemplínska Šírava je sploštenie povodňovej vlny, akumulácia vody pre hospodárske využitie, extenzívny chov rýb a rekreačné využitie. Vybudovaním nádrže bolo povodie Čiernej vody rozdelené na dve časti. Vlastná nádrž Zemplínskej Šíravy je ohraničená juhovýchodnou hrádzou s dĺžkou 5,4 km a juhozápadnou hrádzou s dĺžkou 2,0 km. Do nádrže je voda privádzaná z Laborca od vodohospodárskeho uzla v Petrovcich nad Laborcom prírodným kanálom s dĺžkou 4,7 km. Do koryta Laborca je voda z nádrže vypúšťaná dnovým segmentovým výpustom bezpečnostného priepadu Zalužice, vybudovaným v juhozápadnej hrádzi (Obr.1). Na vypustenie stáleho priestoru nádrže slúži dnový výpust Lúčky, cez ktorý sa voda vypúšťa do toku Čierna voda. Severnú časť nádrže ohraničuje prirodzený terén.



Obr. 1 Pohľad na akumuláciu vodnú nádrž Zemplínska Šírava (zdroj: www.svp.sk)

Vodná plocha Zemplínskej Šíravy zaberá rozlohu 32,9 km² pri maximálnej hladine vody v nádrži na úrovni 117,10 m n. m. Oblasť nádrže sa nachádza v morfolologickej depresii na mladých kvartérnych nespevných sedimentoch, budovaných ílovitými až ílovito-piesčitými nepriepustnými hlinami, tvoriacimi nadložnú vrstvu hrubú 6 až 8 m, pod ktorou je zvodnená štrkopiesková vrstva. Povodie nádrže je z väčšej časti identické s hornou časťou povodia rieky Laborec. Z geologického hľadiska sa jedná o typicky flyšovú oblasť zloženú z pieskov, zlepcov a ílov. Klimaticky možno oblasť Zemplínskej Šíravy zaradiť do oblasti teplej, mierne suchej, s chladnou zimou. Zimy sú pomerne krátke so silnými mrazmi a letá dlhé s teplotami nad 30 °C, čo je typické pre kontinentálne podnebie. Priemerný ročný úhrn zrážok v predmetnej oblasti je na úrovni 700 mm, priemerná ročná teplota vzduch dosahuje 9,1 °C. Snehová

pokryvka sa v predmetnom území vyskytuje v priemere 59,1 dní. Hlavnými objektami vodnej stavby sú: vodohospodársky uzol v Petrovciach nad Laborcom (rozdeľovací a regulačný objekt), juhovýchodná hrádza s objektom dnového výpustu v Lúčkach, juhozápadná hrádza s bezpečnostným priepadom v Zalužiciach a odpadový kanál do Laborca (Obr. 2).



Obr. 2 Situácia VS Zemplínska Šírava (zdroj: www.svp.sk)

Juhovýchodná hrádza, ktorá je predmetom príspevku, je konštrukčne riešená ako homogénna zemná hrádza sypaná prevažne z hlinitoílovitých materiálov. Kóta koruny hrádze je na úrovni 117,69 m n. m. Maximálna výška hrádze nad základovou škárou je 14 m, sklon návodného svahu je 1 : 3 až 1 : 3,5, sklon vzdušného svahu 1 : 2 až 1 : 3,25. Na vzdušnej päte hrádze je drenážny systém, pozostávajúci zo zvislého komínového filtra siahajúceho asi do polovice výšky hrádze, pozdĺžneho drénu a priečných drénov odvádzajúcich každých 50 – 100 metrov vodu do zberného drénu v päte hrádze.

3 MERANIE PRIESAKOV NA JUHOVÝCHODNEJ HRÁDZI VODNEJ STAVBY

Vodná stavba Zemplínska Šírava je zaradená v databáze kategorizovaných vodných stavieb z hľadiska technicko – bezpečnostného dohľadu (TBD) do I. kategórie TBD. Územne spadá do pôsobnosti SVP, š. p., Povodie Bodrogu, OZ Trebišov. Pravidelné merania na predmetnej vodnej stavbe vykonáva Vodohospodárska výstavba, š. p., Bratislava, ktorá zároveň zabezpečuje dohľad nad vodnou stavbou. Dohľadom nad vodnými stavbami I. kategórie, v zmysle vyhlášky MŽP SR č. 119/2016 Z. z. v znení neskorších predpisov, sa sledujú javy a skutočnosti, ktorých zmena môže objektívne signalizovať ohrozenie bezpečnosti a prevádzkyschopnosti vodnej stavby. Merania sa vykonávajú na merných zariadeniach a v miestach, kde by mohlo dôjsť k náhlej zmene sledovaných javov, napríklad k vzniku šmykových plôch, terénnych deformácií, k zmenám v usporiadaní a v spojení tesniacich a drenážnych prvkov. Množstvo priesakov na JV hrádzi predmetnej vodnej stavby vyhodnocuje štátom poverená organizácia v štyroch profiloch:

1. vo vyústení pozdĺžneho zberného drénu pri dnovom výpuste na pravej a ľavej strane
2. vo vyústení pozdĺžneho zberného drénu do Kusínskeho potoka
3. v štôlni dnového výpustu
4. v šachtách z priečných drénov od km 2,100 po km 4,658.

Z výsledkov meraní zosumarizovaných v Etapových správach o TBD za obdobie rokov 2018 a 2019, ktoré vypracovala Vodohospodárska výstavba, š. p., Bratislava (VV, š. p.), bolo skonštatované, že proces merania priesakov v šachtách na zbernom potrubí od km 2,100 až 4,658 je problematické pre zaplavovanie šachiet vzdutou vodou, v dôsledku zhoršených odtokových pomerov v zbernom potrubí (Obr. 3). Na základe výsledkov meraní poverená organizácia vykonala zmonitorovanie drenážneho systému pomocou kamery a vyšpecifikovala najproblematickejšie úseky. V auguste 2019 pristúpil správca toku k prečisteniu šacht priesakov vysokotlakovým prúdom vody. V úseku km 2,400 až 2,800 prebehlo prečistenie úspešne, avšak pri prečistení šachty v km 3,650 došlo k prasknutiu vysokotlakovej hadice. Po jej oprave pokračovalo prečistenie šachiet v km 3,650 až 4,000, avšak v predmetnom úseku dochádzalo k zakaleniu vody. Na základe zistenia tejto skutočnosti bola vykonaná kontrola šachiet kamerou na podvozku s otočnou hlavou, ktorú realizovala poverená organizácia. Počas kontroly zamestnancami VV, š. p., boli pozorované v spojoch zberného drénu prerastané korene.



Obr. 3 Čistenie pôvodného betónového potrubia (autor: Ing. Pončák)

Vzhľadom na zistené skutočnosti a vek vodnej stavby bola na prehliadkach TBD prijatá úloha zabezpečiť celkovú rekonštrukciu drenážneho systému vodnej stavby, resp. jeho kompletnú obnovu. Výsledky meraní zvislých posunov a výsledky geofyzikálnych meraní poukázali na dôsledky nefunkčného drenážneho systému v danom úseku a na potrebu celkovej rekonštrukcie vodnej stavby – drenážneho systému JV hrádze a zmiernenie vzdušného sklonu hrádze.

4 OBNOVENIE ODTOKU PRIESAKOVÝCH VÔD Z PRIEČNYCH DRÉNOV CEZ ZBERNÉ POTRUBIE NA PÄTE VZDUŠNEJ STRANY JUHOVÝCHODNEJ HRÁDZE

Operatívny správca toku zabezpečoval v minulosti bezproblémové fungovanie zberného drénu pravidelným preplachovaním úsekov potrubia medzi jednotlivými zbernými šachtami. Aj napriek tomuto úsiliu nebolo možné v roku 2020 kamerou s otočnou hlavou na samohybnom vozíku zmonitorovať niektoré úseky potrubia. Týkalo sa to aj úsekov, kde došlo v roku 2002 k výmene kameninového potrubia za plastové. Bolo evidentné, že stupeň poškodenia potrubia zberného drénu narastal a pravidelný preplach vysokotlakovým čističom neprinášal z dlhodobého hľadiska požadované výsledky.

V roku 2021 pristúpil správca toku, po odsúhlasení CHKO Vihorlat, k odstráneniu nežiadúcej vegetácie stromov a náletového krovia, ktorého koreňový systém prerástol do pôvodného betónového zberného potrubia DN 300.

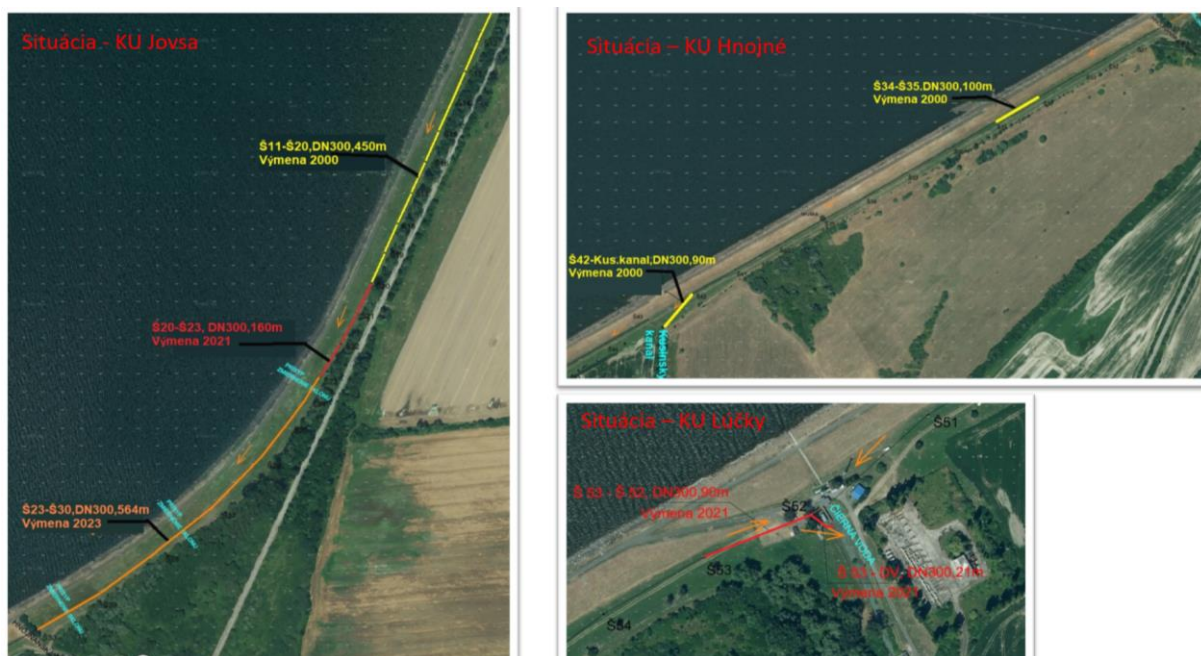
Následne v priebehu roka 2022 zabezpečil operatívny správca toku údržbu predhrádzia v hkm 3,120 – 5,000 spojenú s terénnymi úpravami po výruboch. Bolo zabezpečené odstránenie pňov a vyplnenie priestoru po pňoch zeminou.

Samotná výmena pôvodného betónového zberného potrubia DN 300 za potrubie PP RW DN 315 sa realizovala po etapách priebežne v rokoch 2000, 2021, 2023 a pokračuje aj v roku 2024 (Obr. 4, 5).

Tab. 2 Etapy výmeny zberného potrubia (zdroj: dokumentácia SVP, š. p.)

Rok	Šachty	Úsek
2000	Š11 – Š20	JV hrádza od Jovsy po Lúčky
	Š34 – Š35	Hnojňanská rampa
	Š42	Kusínsky kanál - zaústenie
2021	Š20 – Š23	JV hrádza od Jovsy po Lúčky
	Š52 – Š53	Dnová výpusť Čierna voda - zaústenie
2023	Š24 - Š30	JV hrádza od Jovsy po Lúčky

V rámci výmeny betónového zberného potrubia sa správca toku stretával s nevhodne realizovanými úsekmi z čias výstavby drenážneho systému JV hrádze. Mnohokrát sú to zistené protispády na nivelete potrubia, nesprávne zrealizované šachty, v ktorých je vtok nižšie ako výtok, čo spôsobuje zhoršenie odtoku, zaplavovanie, následné upchávanie a nefunkčnosť zberného potrubia.



Obr. 4 Zrealizované úseky výmeny zberného potrubia JV hrádze (autor: Ing. Pončák)



Obr. 5 *Výmena zberného potrubia – rok 2021 (autor: Ing. Pončák)*

V roku 2023 zabezpečil správca toku prečistenie Kusínskeho kanála od nánosov a náletových drevín v rkm 0,000 – 0,845. Do predmetného kanála je zaústené zberné potrubie od šachty Š1 v hkm 4,745 po šachtu Š42 v hkm 1,990 v katastrálnom území obce Jovsa.

5 ZÁVER

Správca toku pokračuje v ďalších výmenách zberného potrubia v úseku JV hrádze Zemplínskej Šíravy. Po zrealizovaní výmeny a sfunkčnení zberného potrubia od priečných drénov uvažuje správca toku so zmiernením sklonov vzdušného svahu hrádze z pôvodného sklonu 1 : 2 v hornej po 1 : 3,25 v dolnej časti hrádze na súvislý sklon 1 : 3. Po úprave sklonu vzdušného svahu hrádze je možné rozšírenie koruny hrádze o 1,0 až 1,5 m v smere k vzdušnej strane hrádze. Po vykonaní predchádzajúcich opatrení uvažuje správca toku s komplexnou rekonštrukciou koruny hrádze. V rámci drobnej údržby správca toku priebežne zabezpečuje dopĺňanie kamennej nahádzky na návodný svah hrádze, za účelom ochrany koruny hrádze pred vlnobitím. Po uskutočnení všetkých plánovaných etáp obnovy ochrannej hrádze v plánovanom úseku bude vodná stavba plniť svoju funkciu v požadovanom rozsahu a zvýši sa jej bezpečnosť.

ZOZNAM LITERATÚRY

[1] *Vodohospodárska výstavba, š. p.: Etapové správy o TBD na VS Zemplínska Šírava*

AUTORI

Autor 1: Ing. Peter Pončák, SVP, š. p., Povodie Bodrogu, OZ Trebišov, M. R. Štefánika 25, 075 01 Trebišov, e-mail: peter.poncak@svp.sk

Autor 2: Ing. Alena Šoltisová, PhD., SVP, š. p., Povodie Bodrogu, OZ Trebišov, M. R. Štefánika 25, 075 01 Trebišov, e-mail: alena.soltisova@svp.sk

Autor 3: Ing. Jaroslav Vaľo, SVP, š. p., Povodie Bodrogu, OZ Trebišov, M. R. Štefánika 25, 075 01 Trebišov, e-mail: jaroslav.valo@svp.sk

Autor 4: Alena Miščíková, SVP, š. p., Bratislava, pracovisko: Ďumbierska 26, 040 01 Košice, e-mail: alena.miscikova@svp.sk

VD JOSEFŮV DŮL – ASPEKTY STÁRNUTÍ, ODHAD BUDOUCÍHO VÝVOJE A MOŽNOSTI ZACHOVÁNÍ TĚSNÍCÍ FUNKCE NÁVODNÍHO ASFALTOBETONOVÉHO PLÁŠTĚ

JOSEFŮV DŮL DAM, ASPHALTIC-CONCRETE UPSTREAM FACINGS - THE ASPECTS OF AGING, THE ESTIMATION OF THE FUTURE BEHAVIOUR AND POSIBILITIES TO GUARANTEE ITS SEALING FUNCTION

Jaromír Pešava¹, Ondřej Švarc², Jan Kurka³

Abstrakt: Příspěvek shrnuje dosavadní zkušenosti správce vodního díla Josefův Důl s návodním asfaltobetonovým (AB) pláštěm hlavní a boční hráze a nastiňuje možnosti budoucího zajištění jeho spolehlivé těsnicí funkce. Obsahuje výsledky měření deformací a těsnicí funkce pláště v kontextu konstrukčního uspořádání a průběhu výstavby VD. Uceleně jsou popsány charakteristické typy poruch, jejich opravy a poslední zkušenosti získané při realizaci technických opatření směřujících k prodloužení životnosti konstrukce AB pláště. V roce 2015 byla na návodním líci boční hrázi provedena instalace 2 zkušebních polí ochranné bitumenové geomembrány COLETANCHE. Stárnutí exponovaného materiálu na vodním díle bylo po téměř osmi letech provozu (v roce 2023) experimentálně posouzeno metodou optického srovnání se vzorky nové geomembrány poskytnuté výrobcem za účelem odhadu jeho další životnosti v podmínkách VD Josefův Důl.

Abstrakt: The paper summarizes facts about the current experience of the Josefův Důl dam operator with the behaviour of the asphaltic-concrete (AC) upstream facings on the main dam and the saddle dam. It contains the evaluation of the AC upstream facing movements as well as its sealing function related to the specifics of its design and the process of construction. The characteristic types of defects, their repairs and the latest experience gained during the implementation of technical measures aimed at extending the service life of the AC upstream facing are described. In 2015, the installation of 2 test fields of protective bituminous geomembrane COLETANCHE was carried out on the upstream face of the saddle dam. After almost eight years of operation (in 2023) the aging of the exposed material on the dam was experimentally assessed using the method of optical comparison with samples of the new geomembrane in order to estimate its further service life in the environment of the Josefův Důl dam.

1 ÚVOD

Od začátku provozu vodního díla Josefův Důl je sledována a hodnocena funkce návodního těsnicího asfaltobetonového (AB) pláště jako jednoho z konstrukčních prvků vodního díla, který má přímý vliv na provozuschopnost díla a následně i na jeho bezpečnost. Od ukončení ověřovacího provozu vodního díla začalo postupně docházet k vizuálně patrným změnám a stárnutí této konstrukční vrstvy, resp. její poslední přidané vrstvy. Objevily se projevy lokálních poruch, potrhání a shrnutí části AB pláště na boční hrázi. Kromě nutnosti zajistit opravy těchto poruch vyvstala pro správce vodního díla také otázka zajištění spolehlivé těsnicí funkce AB pláště do budoucna. Rozhodnutí o volbě způsobu řešení bude vycházet také z dosavadních zkušeností správce vodního díla, které jsou zmiňovány v tomto příspěvku.

2 ZÁKLADNÍ ÚDAJE O VODNÍM DÍLE JOSEFŮV DŮL

Vodní dílo Josefův Důl je situováno v katastru obce Josefův Důl u Jablonce nad Nisou v Jizerských horách v okrese Jablonec nad Nisou v Libereckém kraji. Přehrada byla vybudována v období let 1976 – 1980 na vodním toku Kamenice (ř.km 30,2) nad obcí Josefův Důl. Hlavním účelem vodního díla je akumulace vody pro vodárenské zásobování města Liberec a okolí, dotace průtoků do toku Kamenice se zajištěním minimálního zůstatkového průtoku pod nádrží, částečná ochrana území ležícího pod nádrží před účinky velkých vod, nadlepšení průtoků při havarijním znečištění vody v toku pod nádrží a energetické využití zůstatkového průtoku. Celkový objem nádrže je 22,628 mil.m³. Z hlediska technickobezpečnostního dohledu je vodní dílo zařazeno do I. kategorie.

Vodní dílo je tvořeno dvěma hrázi - hlavní (HH) přes údolí Kamenice a boční (BH) na levém břehu. Funkční objekty zahrnují sdružený objekt (spodní výpusti a vodárenský odběr), šachtový bezpečnostní přeliv, odpadní tunel a vývar pod hrází. Surová voda do úpravní vody Bedřichov je vedena vodárenským potrubím instalovaným ve štole délky 2,6 km. Hlavní hráz je délky 360 m s korunou na kótě 735 m n.m., konstrukčně je hráz zemní, sypaná z žulových eluvií, s asfaltobetonovým (AB) těsnícím pláštěm. Podloží hráze je těsněno betonovou podzemní stěnou a injekční clonou, která byla realizována z injekční chodby (délka 419 m) situované v návodní patě hráze. Na konstrukci stropu injekční chodby je napojen návodní AB plášť. Ve vzdušné části hráze je vybudován komínový drén, na který navazuje plošný drén při základu vzdušné paty hráze. Boční hráz je délky 360 m s korunou na kótě 735 m n.m., konstrukčně rovněž zemní, sypaná z žulových eluvií, s návodním AB těsnícím pláštěm. Napojení pláště do skalního podloží je provedeno betonovou těsnicí ostruhou bez injekční chodby.

3 ÚDAJE O AB TĚSNÍCÍM PLÁŠTI A JEHO PROVOZU

3.1 Skladba AB pláště

Návodní těsnění je na obou hrázích tvořeno dvouvrstvým AB pláštěm ve sklonu 1:2 položeným na podkladní vrstvu štěrkodrti tl. 25 cm ve skladbě:

- HH (13 540 m²): - 8 cm těsnící VABH (vodostavební asfaltobeton hutný) s pečeti + dodatečná vrstva (4 cm – 11 pásů)
- 10 cm VABM (vodostavební asfaltobeton mezerovitý)
- BH (8 460 m²): - 8 cm těsnící VABH (hutný) s pečeti + dodatečná vrstva (4 cm – celá plocha)
- 10 cm VABM (mezerovitý)

Pod VABM je podle záznamů z výstavby na obou hrázích vrstva štěrkodrti smíšené s hlinitopísčítým materiálem hráze. Tato skutečnost byla ověřena při odběru vzorků v rámci diagnostického průzkumu, viz kap. 6.2.

3.2 Provoz AB pláště

Po ukončení sypaní těles hrází v období výstavby VD byly v létě 1982 zhotoveny oba AB pláště. Vzhledem k výskytu povrchových válcovacích trhlinek byl povrch pláště opatřen dodatečnou vrstvou VABH v tl. 40 mm. Na HH tak bylo položeno celkem 11 pásů v celé délce spádnice a na BH byla doplněna přidaná vrstva v celé ploše. Zatímco na HH byla přidaná vrstva položena ještě v roce 1982, na BH byla tato vrstva doplněna až na jaře 1983. Časový odstup pokládky zřejmě způsobil nedostatečné přilnutí přidané vrstvy, které je s největší

pravděpodobností hlavní příčinou zvýšených deformací a poruch na plášti BH, které na HH pozorovány nejsou.

Z důvodu snížení teplotního namáhání pláště způsobeného slunečním svitem byl po pokládce povrch BH a horní části HH opatřen reflexním nátěrem bílé barvy. Již v první etapě ověřovacího provozu (1984) se nátěr na bázi syntetické barvy separoval a poškodil pečeť i horní vrstvu VABH. Nátěr byl mechanicky odstraněn a povrch sanován modifikovanou asfaltovou hmotou „Dopraflex V“.

V dalším období provozu se kvůli nevhodnému technickému řešení stavebních konstrukcí v koruně hráze a jejich nekvalitnímu provedení objevilo rozevírání podélných spár vlnolamu, základu zábradlí a konstrukce chodníku u obou hrází. Byla tak porušena těsnost s rizikem vnikání srážkových vod a tajícího sněhu do hrázového tělesa s možným nepříznivým vlivem na konstrukci těsnícího návodního pláště. Vzhledem k tomuto problému byla v roce 1997 na BH a v roce 2003 na HH provedena oprava návodní části koruny hrází spočívající v rozebrání její konstrukce s jejím nahrazením monolitickou železobetonovou deskou s římsou plnicí současně i funkci vlnolamu.

Od roku 1999 byly průběžně opravovány lokální poruchy přidané vrstvy, a to především na BH, kde vznikaly v úrovni pohybu hladiny vody rozevírající se trhliny, viz kap. 5. Trhliny byly nejprve sanovány různými druhy studených AB směsí. Životnost těchto oprav byla ale jen velmi krátká, a proto byly v dalších letech opravy prováděny za tepla hutněnou obalovanou směsí. V souvislosti se snížením hladiny vody v nádrži z důvodu probíhající sanace povrchů věžového objektu v roce 2009 se dočasně zvětšila plocha oslunění povrchu AB pláště a tím se zvýšilo i riziko vzniku deformací této vrstvy v důsledku nadměrného oteplení zejména na BH. Jako opatření byl tehdy instalován systém ochlazování povrchu AB pláště BH skrápěním vodou čerpanou z nádrže, což se v praxi ukázalo jako nevhodné z hlediska separace přidané vrstvy pláště BH. V létě roku 2015 došlo na BH nad úroveň hladiny k usmýknutí a odplavení části přidané vrstvy AB pláště v ploše o velikosti cca 1 m². V srpnu 2015 bylo při místním šetření rozhodnuto, že obnažená plocha nebude provizorně opravována a v poškozeném místě bude zřízena referenční plocha pro testování způsobu celoplošné opravy přidané vrstvy AB pláště. Následně byla na dvou polích BH (každé šířky 10 m) odstraněna dodatečně přidaná vrstva AB pláště (místy odloučená i spojená s hlavní těsnící vrstvou) a na tuto plochu byla položena bitumenová geomembrána COLETANCHE. Tato vrstva byla na každém ze dvou polí položena po spádnicí ve 2 pásech a po obvodě (vyjma horního okraje) vodotěsně natavena na VABH tl. 80 mm. Horní okraj pásů byl přichycen k vlnolamu způsobem, který umožňoval odvod par a současně byl technicky zajištěn proti zatékání srážkových vod. Vyhodnocení referenční plochy je předmětem kap. 6.3.

4 MĚŘENÍ DEFORMACÍ A TĚSNOSTI AB PLÁŠTĚ V RÁMCI VÝKONU TECHNICKOBEZPEČNOSTNÍHO DOHLEDU

4.1 Sledování deformací povrchu AB pláště

Pro sledování deformací AB pláště jsou na obou hrázích instalovány kontrolní body (KB) ze silonových kuželů přilepených na povrch pláště. Celkem 42 dlouhodobě měřených KB je rozmístěno do dvou výškových úrovní v horní části návodního svahu a 21 měrných profilů (9 na HH a 12 na BH). Měření svislých a vodorovných posunů KB, prováděné metodami velmi přesné nivelace a záměrné přímky, je od roku 2014 doplněno měřením 3D posunů metodou ATR s vyrovnáním v programu EasyNet.

Na HH je výsledný relativní pohyb povrchu AB pláště vůči násypu tělesa hráze až překvapivě nízký, trvalý pohyb ve směru sklonu svahu („stékání“) dosahuje průměrných hodnot do 1 mm

za rok. Na BH je relativní posun povrchu pláště vůči hrázi stejně jako u HH v čase trvalý bez zjevných vývojových změn, prostorově je ale velice nevyrovnaný. Roční přírůstky se pohybují od minimálních posunů srovnatelných s HH až po hodnoty okolo 6 mm za rok. Velké rozdíly vysvětlujeme skutečností ověřenou při odstraňování přidané vrstvy před pokládkou bitumenové geomembrány COLETANCHE v roce 2015, a to lokálním nespojením přidané vrstvy s podkladem, způsobeným zřejmě časovým odstupem při její pokládce. V „nepřilepených“ plochách jsou pozorované šikmé posuny největší a vznikají i nejzávažnější deformační poruchy. K objasnění, proč se trhliny v přidané vrstvě objevují téměř výhradně v úrovni kolísání hladiny vody v nádrži, přispělo doplňkové měření relativních posunů pláště na síti hřebů instalovaných v roce 2009. Bylo prokázáno, že ve všech sledovaných profilech se rychlost pohybu pláště se vzdáleností od vlnolamu plynule zvyšuje a maxim dosahuje právě v zóně kolísání hladiny. V trvale zatopených horizontech se pak sesuvný pohyb pláště skokově zpomalí.

4.2 Sledování průsaků AB pláštěm

S ohledem na konstrukční řešení těsnicího pláště, v jehož skladbě chybí drenážní vrstva, která by případný průsak spolehlivě sváděla k určenému místu jímání, je sledování průsaků pláštěm omezené na měření průsaků z drenů za chodbu (HH), resp. těsnicí ostruhou (BH), a plošné drenáže pod tělesy hrází. Zjištění podílu vod pocházejících z průsaku těsněním z celkového měřeného množství na výtocích z drenáží je nereálné, hodnocení těsnicího účinku pláště je tak odkázáno na sledování změn průsaků v závislosti na dalších měřených veličinách. Žádné změny, které by signalizovaly snížení těsnosti AB pláště, zatím nebyly zaznamenány.

5 POPIS STAVU AB PLÁŠTĚ

V souvislosti s vyskytujícími se poruchami na konstrukci AB pláště HH i BH byla správcem VD provedena v letech 2009 a 2015 pasportizace poruch.

Na HH je dlouhodobě pozorováno porušení dodatečné vrstvy VABH v tloušťce 40 mm. Jsou patrné vodorovné trhliny s vývojem náletové vegetace, která urychluje degradaci dodatečně položené vrstvy. Na původní vrstvě AB pláště je patrný degradovaný (resp. zcela chybějící) mastix s místním a prozatím omezeným vypadáváním zrn z povrchové vrstvy VABH.

Na BH je dlouhodobě sledováno porušení dodatečně položené vrstvy VABH (tl. 40 mm) s výskytem následujících typů poruch:

Sjíždění po svahu – vyskytuje se téměř v celé ploše pláště nad úrovní hladiny – nerovnoměrně, příčinou sjíždění jsou vysoká teplota, napojení jednotlivých vrstev ve skladbě pláště a orientace návodního svahu ke světovým stranám.

Puchýře - výskyt tohoto typu poruchy byl patrně způsoben zatékáním vody pod dodatečně přidanou těsnicí vrstvou, případně i tlakem vodních par.

Vyboulení pláště - ke vzniku tohoto typu poruchy došlo zatečením vody pod dodatečně položenou těsnicí vrstvou s následným snížením hladiny vody v nádrži a tlakem zadržené vody na AB vrstvu.

Trhliny - vznikají jako důsledek sjíždění po svahu, zpravidla jako horizontální, nad hladinou vody v nádrži nebo v oblasti kolísání hladiny, kde je zaznamenán největší šikmý posun vrstvy po svahu.

Odlupování - lokálně bylo zjišťováno oddělování a odlupování přidané VABH.

6 PROVEDENÉ PRŮZKUMY

6.1 Georadarové měření

V červnu 2014 provedla společnost ČEZ, a.s. na základě smlouvy o spolupráci se správcem VD georadarové měření AB pláště na obou hrázích [2]. Měření na 17-ti referenčních plochách (HH: 8 ploch, BH: 9 ploch) v oblasti hladiny zásobního prostoru bylo uskutečněno přístrojem Hilti PS 1000 (max. detekční hloubka pro lokalizaci předmětu byla udávána 300 mm), který je využíván mimo jiné pro určení nehomogenit - dutin. Z výstupů tohoto měření vyplynulo, že AB plášť obou hrází není zcela kompaktní, místy se vyskytuje nesoudržnost jednotlivých vrstev těsnění s možností zadržování vlhkosti (i mezi hlubšími vrstvami). Skryté vady jako dutinky a dutiny nebyly při měření radarem detekovány.

6.2 Diagnostický vrtný průzkum

V souladu se závěry práce [3] byl v říjnu 2022 uskutečněn diagnostický vrtný průzkum AB pláště obou hrází. Rozsah průzkumu byl určen prací [4]. Jádrovým vrtáním (průměr 150 mm) bylo zajištěno celkem 16 vzorků (HH: 8 vzorků, BH: 8 vzorků) z konstrukce AB pláště. Odvrty byly situovány do dvou výškových úrovní (1. nad hladinou, 2. v místech kolísání hladiny). Pro účely diagnostiky byly provedeny tři skupiny laboratorních zkoušek dle [4]. Jednalo se o zkoušky pro ověření skladby pláště, dále o zkoušky pro ověření stavu jednotlivých vrstev AB pláště a stárnutí materiálu a skupinu zkoušek na asfaltovém pojivu. Závěry zprávy o diagnostickém průzkumu [5] konstatují, že vzorky obsahují nadprůměrné množství rozpustného pojiva uspokojivé kvality. Spojení vrstev se jeví také uspokojující, kromě jednoho vzorku na HH, kde došlo k oddělení přidané vrstvy již při vrtání. Výsledky příčného tahu byly z pohledu požadavků dle ČSN 73 6160 výborné. Výsledky zkoušek stanovení penetrace jehlou dle ČSN EN 1426 a stanovení bodu měknutí dle ČSN EN 1427 jsou na minimální hranici požadavků použití.

Od plánované druhé etapy jádrových odvrtníků z úrovně trvale pod hladinou bylo ustoupeno, protože nebyl naplněn předpoklad, že by vzorky odebrané nad hladinou a v místě kolísání hladiny vykazaly podstatnou degradaci materiálu. Výsledky diagnostiky na podobných dílech ukázaly, že pod vodou dochází k degradaci materiálu pomaleji a kvalita AB je vyšší než u vzorků odebraných z nezatopených nebo střídavě zatápěných částí těsnícího pláště [4].

6.3 Srovnávací optická metoda stárnutí COLETANCHE

V návaznosti na zřízení dvou referenčních ploch osazením dvojice pásů bitumenové geomembrány na BH (2015) provedlo v říjnu 2023 ČVUT Praha, fakulta stavební vyhodnocení stárnutí bitumenové membrány COLETANCHE ES4 na VD Josefův Důl prostřednictvím optické metody [6]. Pro srovnávací analýzu digitálním mikroskopem ZEISS Axio Zoom byly odebrány 4 vzorky exponované membrány na BH, které zastupovaly plochu nad hladinou (vystavena povětrnostním vlivům a slunečnímu záření) a plochu v úrovni kolísání hladiny (vliv střídavého máčení a mrazových cyklů). Zhotovitelem bylo provedeno srovnání odebraných vzorků se vzorkem nové membrány poskytnuté výrobcem. Při hodnocení byl uvažován úbytek tloušťky materiálu vlivem degradace stárnutím a současně i vznikem trhlin měřitelné hloubky. Z výsledků provedené práce pro referenční plochu, která je v provozu 95 měsíců, vyplynulo, že ke zrychlenému stárnutí geomembrány dochází v oblasti kolísání hladiny a nelze předpokládat celkovou životnost materiálu danou bodovými poruchami delší než 26 let

při minimální přípustné tloušťce materiálu specifikované výrobcem. V oblasti nad úrovní hladiny zásobního prostoru pak lze očekávat životnost v rozsahu 40 – 50 let.

7 ZÁVĚR

V návaznosti na výsledky hodnocení TBD, výsledky provedených průzkumů a závěry zpracované technické pomoci [3] lze uvést, že AB plášť HH se jeví v relativně dobrém stavu a v současné době není bezprostředně nutná jeho celoplošná oprava. Dodatečně položená vrstva AB pláště na BH trpí dlouhodobě defekty souvisejícími s jejím sjížděním po níže uložené původní vrstvě VABH. Tato vrstva nemá těsnicí funkci a lze ji tak považovat za vrstvu ochrannou. Tomu by měl odpovídat i charakter oprav, které si nekladou za cíl zajistit vodotěsnost této vrstvy, avšak v exponovaných horských podmínkách musí spolehlivě plnit ochrannou funkci původní vrstvy VABH.

Z dosavadních výsledků hodnocení provozu a stárnutí bitumenové membrány na referenční ploše boční hráze VD Josefův Důl prostřednictvím optické metody [6] se ukázalo, že požadovanou dlouhodobou ochrannou funkci konstrukce AB pláště by mohla plnit také vrstva z materiálu COLETANCHE ES4. Použití tohoto materiálu je ekonomicky relativně příznivé a provozně bezproblémové. Aktuálně zbývá vyřešit podmínky jeho použití na vodárenské nádrži.

SEZNAM LITERATURY

- [1] *VODNÍ DÍLA – TBD, a.s., Ing. L. Macháček (2007): VD Josefův Důl: Studie sanace návodního asfaltobetonového pláště, Praha.*
- [2] *ČEZ, a.s., Vodní elektrárny, Ing. M. Stejskalová (2014): Zpráva o georadarovém měření asfaltobetonového pláště VD Josefův Důl, Praha.*
- [3] *Říha J., Prof., Ing., CSc. (2020): Technická pomoc: Rešerše podkladů a dokumentů zpracovaných ke stavu AB pláště, Brno.*
- [4] *VODNÍ DÍLA – TBD, a.s., Ing. O. Švarc (2021): VD Josefův Důl: Návrh rozsahu prací na diagnostiku stavu AB pláště, Praha.*
- [5] *QUALIFORM, a.s., D. Měrák a kol. (2022): VD Josefův Důl: Diagnostika stavu AB pláště, Brno.*
- [6] *ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydrotechniky, Ing. M. Brouček, Ph.D. a kol. (2023): Stárnutí bitumenové membrány COLETANCHE ES4 na VD Josefův Důl – srovnávací optická metoda, Praha.*

AUTOŘI

Autor 1: Ing. Jaromír Pešava, Povodí Labe, státní podnik, Víta Nejedlého 951, Hradec Králové 3, Česká republika, pesavaj@pla.cz

Autor 2: Ing. Ondřej Švarc, VODNÍ DÍLA – TBD, a.s., Hybernská 1617/40, Praha 1, Česká republika, svarc@vdtbd.cz

Autor 3: Ing. Jan Kurka, Povodí Labe, státní podnik, závod Jablonec nad Nisou, Želivského 5, Jablonec nad Nisou, Česká republika, kurkaj@pla.cz

VD LETOVICE, REKONSTRUKCE VD

THE LETOVICE DAM, RECONSTRUCTION OF WATERWORKS

David Rožnovský

Abstrakt: Povodí Moravy v současné době pokračuje v modernizaci a zabezpečení svých přehrad. Po úspěšných rekonstrukcích VD Opatovice, VD Koryčany a VD Boskovice je v současné době rekonstruována přehrada VD Letovice. Samotná rekonstrukce započala již v roce 2021 a její dokončení je naplánováno na listopad roku 2024. Hlavním motivem rekonstrukce VD je zkapacitnění přelivného objektu, který po prodloužení přelivné hrany z 26,6 m na 35,0 m a rozšíření šířky spadiště, skluzu a vývaru ze 4,0 na 8,0m bezpečně převede kontrolní povodňovou vlnu o velikosti $Q_{10.000}$ oproti požadavku na převedení kontrolní povodňové vlny $Q_{1.000}$ v době, kdy byly objekty VD navrhovány a budovány. VD Letovice tedy po rekonstrukci nově převede průtok 160,0 m³/s. Součástí rekonstrukce je i mimo jiné navýšení horní hrany středního těsnění hráze včetně realizace nových povrchů na koruně hráze, oprava opevnění návodního líce, oprava opevnění koryta Křetínky v prostoru pod tělesem hráze, modernizace systému měření a přenosů naměřených dat na dispečink Povodí Moravy a také sanace věže spodních výpustí včetně dodávky nové přístupové lávky. Celkové stavební náklady na realizaci akce činí 133 308 589,- Kč.

Abstract: The Morava basin is currently continuing to modernize and secure its dams. After the successful reconstructions of the Opatovice, the Koryčany and the Boskovice dams, the Letovice dam is currently being reconstructed. The reconstruction itself began already in year 2021 and its completion is planned for November 2024. The main purpose of the reconstruction of the hydraulic structure is to increase the capacity of the spillway. The length of spillway edge was extended from 26.6 m to 35.0 m and the width of the spillway, of the chute and of the stilling pool was expanded from 4,0 to 8.0 m. The facility will safely transfer a control flood wave of size $Q_{10,000}$, which is more than the requirement at the time when the facility was designed and built to transfer a control flood wave of $Q_{1,000}$. After the reconstruction the dam Letovice will newly transferred a flow of 160.0 m³/s. The reconstruction includes, among other things, an increase in the upper edge of the hearting dam sealing, including the implementation of new surfaces on the dam crest, repair of the reinforcement of the upstream face and repair of the reinforcement of dam. Modification of the Křetínka riverbed in the area below the dam body was done, same as modernization of the measurement system and transmission of measured data to the Morava River Basin control room, as well as rehabilitation of the intake tower of the bottom outlet, including the supply of a new access bridge. The total construction costs for the implementation are CZK 133,308,589.

1. POPIS VD LETOVICE PŘED REKONSTRUKCÍ

Vodní dílo Letovice leží na říčce Křetínce asi tři kilometry před jejím soutokem se Svitavou v Letovicích. O umístění do zdejšího profilu v dostatečně členitém povodí Svitavy bylo rozhodnuto v roce 1969. O rok později byla schválena projektová dokumentace a samotná výstavba se uskutečnila v letech 1972–1976. Hlavním důvodem bylo zmírnění dopadů velkého odběru podzemní vody pro Brno na průtokový režim ve Svitavě. Povodí nad touto nádrží se

rozkládá na ploše asi 126 km² a dlouhodobý průměrný průtok v profilu nádrže přesahuje 0,6 m³/s. Hráz byla založena na skalním podloží, tvořeném rulami a amfibolity.

Hráz VD Letovice je zemní sypanáse středním jílovým těsněním, které navazuje na 174 metrů dlouhou jednořadovou patrovou injekční clonu v ose hráze. Má lichoběžníkový profil, je přímá a na koruně byla pět metrů široká vozovka, sloužící výhradně pro potřeby správce vodního díla. Návodní líc byl opevněn hrubým šterkem prolitým asfaltem, vzdušný líc je zasypan humusem a oset. Hráz je vysoká 29,0 metru nade dnem údolí a 126 metrů dlouhá (Obr.1). U pravého břehu hráze se nachází 31,5 metru vysoká odběrná věž, která je přístupná po ocelové lávce a jsou z ní ovládány odtoky z nádrže a odběry vody. Celkový objem nádrže je více než 11,6 milionu m³ vody a zatopená plocha dosahuje téměř 111 hektarů.



Obr. 1 Pohled na VD Letovice

2. REKONSTRUKCE VD LETOVICE

Cílem realizace stavby je zajistit bezpečné převedení povodně o kulminačním přítoku s dobou opakování $n = 10\,000$ let (tj. KPV_{10 000}), tak jak to ukládá pro vodní dílo I. kategorie vyhláška Ministerstva zemědělství o technických požadavcích pro vodní díla č. 590/2002 Sb. (novelizovaná vyhláškou č. 367/2005 Sb.) resp. i ČSN 75 2935 – Posuzování bezpečnosti vodních děl při povodních. Po provedené rekonstrukci vodního díla bude navýšena úroveň mezní bezpečné hladiny za povodní (MBH) z původních 360,50 m n. m. na 362,60 m n. m., přičemž kulminace KPV Q_{10 000} bude v úrovni 362,32 m n. m. při celkovém odtoku 191,7 m³.s⁻¹. Maximální hladina v nádrži (H_{max}) bude po rekonstrukci vrácena na původní úroveň 361,10 m n. m., přičemž kulminace NPV Q_{1 000} bude v úrovni 361,27 m n.m. při celkovém odtoku 109,7 m³.s⁻¹.

Na základě potřeb a snah Povodí Moravy, s.p. o modernizaci a uvedení VD Letovice do stavu slučujícího se se současně platnou legislativou, byla společností Sweco Hydroprojekt v roce 2019 zpracována projektová dokumentace, která rozdělila stavební práce do celkem 10 následujících stavebních objektů:

- SO 01 Koruna hráze
- SO 02 Opevnění návodního svahu hráze
- SO 03 Bezpečnostní přeliv a spadiště
- SO 04 Skluz
- SO 05 Přemostění skluzu
- SO 06 Vývar
- SO 07 Opevnění koryta za vývarem
- SO 08 Systém TBD
- SO 09 Ostatní objekty
- SO 10 Opevnění koryta Křetínky pod VD

Hlavní potřebou rekonstrukce vodního díla bylo již zmíněné zajištění bezpečného převedení KPV_{10 000}. Bezpečný přechod KPV Q_{10 000} je na VD Letovice zajištěno především přetěsněním koruny hráze a zvýšením průtočné kapacity soustavy bezpečnostního přelivu – skluzu – vývaru. Rekonstrukce byla rovněž doprovázena i opatřeními, které bylo vhodné provést při spuštěné hladině např. opevnění návodního líce, sanace stávající věže spodních výpustí včetně výměny lávky k ní. Rekonstrukci rovněž provází snaha o modernizaci jak kontroly bezpečnosti přehrady (zcela nový systém sledování technicko-bezpečnostních parametrů přehrady), tak i provozování vodního díla (instalace kamerového systému, nové schodiště kolem skluzu, osvětlení skluzu atd.). Snížení hladiny při realizaci rekonstrukce přehrady využilo Povodí Moravy, s.p. rovněž k odbahnění konce zátopy. V této části bylo celkem odtěženo a převezeno do místa trvalé deponie 76 tis. m³ sedimentu. Celá akce byla realizována stejným zhotovitelem jako rekonstrukce VD a finanční náklady vynaložené na odstranění sedimentů činily 103,54 mil Kč (cca 4,14 mil. EUR).

2.1 SO 01 - Koruna hráze

Rekonstrukce koruny hráze bylo jedním ze dvou zásadních opatření pro navýšení MBH. V rámci tohoto stavebního objektu byla snížena stávající niveleta o 1,2 m až cca 0,3 m pod horní úroveň středního těsnícího jádra. Z této úrovně byla v ose hráze provedena jílocementová zálivka do pažené rýhy šířky 800 mm a průměrné hloubce 1,5 m (Obr. 2).



Obr. 2 Koruna hráze VD Letovice při rekonstrukci

Následně byl proveden násyp hráze z vhodného těsnícího materiálu a na vybudovaný základový pás byl instalován ŽB vlnolam výšky 1,6 m (koruna 363,50 m n. m.). Při dokončovacích pracích na VD Letovice budou ještě nad jádrem s přechodovou vrstvou položeny konstrukční vrstvy

vozovky. Nová niveleta koruny hráze pak bude 362,60 m n. m. Oproti původní niveletě 362,02 ~ 362,12 m n. m. tak dojde k navýšení koruny hráze o cca 50 cm.

2.2 SO 02 - Opevnění návodního líce

Zejména z důvodu odstranění sedimentů a oprav věže spodních výpustí byla při rekonstrukci snížena hladina o téměř 17,00 m. Díky tomuto faktu byla do rekonstrukce zařazena i oprava opevnění návodního líce. Nově navržené opevnění návodního líce kamennou rovnáninou z lomového kamene bylo provedeno od úrovně 347,00 m n. m. (od kamenné patky) až po vlnolam na koruně hráze (Obr. 3). Vrstva prolévaného makadamu na návodním líci byla zachována a překryta novou přechodovou vyrovnávací vrstvou z drceného kameniva frakce 32–63 mm o průměrné tloušťce 150 mm pro vytvoření rovného podkladu pro nově provedenou kamennou rovnáninu. Mocnost vrstvy kamenného opevnění činí 0,6 m.



Obr. 3 Opevnění návodního líce VD Letovice při rekonstrukci

2.3 SO 03 - Bezpečnostní přeliv a spadiště

Hlavním parametrem pro zkapacitnění přelivného objektu bylo jeho téměř dvojnásobné rozšíření z šířky 4,3 m na 8,0 m a navýšení délky přelivné hrany z 26,6 m na 35,0 m (Obr. 4). V rámci rekonstrukce byl celý objekt kompletně vybourán a rozšířen o skalní výlom. Poté byla provedena injekční clona o průměrné hloubce 21 m. V takto připraveném prostoru bylo zhotoveno nové rozšířené dno spadiště a prodloužena přelivná zeď.



Obr. 4 Bezpečnostní přeliv a spadiště VD Letovice při rekonstrukci

Definitivní přelivná hrana bude tvořena ŽB prefabrikáty se zaoblenou hranou o poloměru 0,6 m. V současnosti je místo prefabrikátů na přelivu nainstalována provizorní hradící stěna o výšce 1,1 m jako ochrana staveniště nového skluzu a přilehlé části tělesa hráze před povodněmi

2.4 SO 04 – Skluz, SO05 - Přemostění skluzu

Hlavním parametrem pro zkapacitnění skluzu a jeho přemostění je rozšíření o cca 4,0 m – 4,5 m směrem do stávajícího skalního masivu. Vyjma malé části levé zdi skluzu přimykající se bezprostředně k násypu hráze, je skluz proveden jako zcela nová železobetonová konstrukce. Dispoziční řešení se oproti stávajícímu stavu neměnilo a i niveleta dna skluzu je zachována v původní úrovni. V horní části ve sklonu 5,2 %, ve střední části 18 % a ve spodní části 42,9 %. Koncový úsek skluzu přechází vrhovou křivkou do dna vývaru. Délka skluzu je původní tedy 88,1 m (kóta dna na jeho začátku / konci - 356,17 / 329,95 m n. m.). V rámci budování nového ŽB skluzu bylo v části, nad kterou je umístěna mostovka, kompletně vybouráno dno a pravobřežní zeď skluzu a proveden výlom do skalního masivu (Obr.5). Levobřežní zeď byla ponechána, ofrézována a byla zde provedena dobetonávka o mocnosti 30 cm. Nové přemostění má dolní hranu mostovky o 0,30 m (361,81 m n. m.) výše než původní, horní líc mostovky je pak na kótě dosypané koruny hráze (362,60 m n. m) Délka nosné konstrukce je 11,3 m (původní délka cca 5,5 m) a šířka 4,7 m.



Obr. 5 Skluz VD Letovice při rekonstrukci

2.5 SO06 - Vývar

Hlavním parametrem pro zkapacitnění vývaru je jeho rozšíření o cca 4,0 m – 4,5 m směrem do stávajícího skalního masivu. Vývar (dno, stěny i práh) je proveden jako nová železobetonová konstrukce. Nový vývar je navržen jako divergentní, v příčném řezu má částečně obdélníkový a částečně lichoběžníkový profil – vnitřní líc bočních stěn je v horní části výšky 2,0 m ve sklonu 5:1 (Obr. 6). Obdélníkový profil (se svislými stěnami) bude v prohloubené části vývaru. Šířka vývaru ve dně je 8,0 m - 9,0 m (původní vývar 4,0 m). Dno vývaru je zahloubeno proti původnímu o 0,44 m na kótu 329,94 m n. m. Celková délka vývaru je 37 m (původně 18 m).



Obr. 6 Vývar VD Letovice při rekonstrukci

2.6 SO 07 - Opevnění koryta za vývarem

Z důvodu zvýšení kapacity soustavy bezpečnostního přelivu - skluzu (vč. profilu přemostění) – vývaru bude v rámci rekonstrukce opravováno i koryto Křetíanky pod tělesem hráze VD Letovice. Objekt zahrnuje opevnění odpadního koryta navazujícího na vývar včetně souvisejícího odpadního koryta od MVE a spodních výpustí. Opevněno bude dno koryta a především levý břeh, který bude významně zatěžován při průtoku vody skluzem. Součástí objektu je i opevnění pravého břehu koryta Křetíanky od konce vývaru po limnigrafickou stanicí.

2.7 SO 08 - Systém TBD, SO 09 - Ostatní objekty, SO 10 - Opevnění koryta Křetíanky pod VD

Součástí rekonstrukce je i realizace stavebních objektů, které budou zvyšovat sledování vodního díla z technickobezpečnostního pohledu – bude kompletně vybudován nový systém sledování vodního díla včetně dálkového přenosu dat na dispečink Povodí Moravy, bude nově realizován patní dren pod tělesem hráze atd.

Při rekonstrukci Povodí Moravy, s.p. rovněž nezapomíná na zvyšování komfortu údržby a provozu vodního díla – instalace nového schodiště na vzdušném líci tělesa hráze, dodávka nové lávky do věže spodních výpustí, sanace pláště věže spodních výpustí atd.

V rámci rekonstrukce bylo také provedeno pomístní opevnění břehových nátrží v korytě toku Křetíanky pod limnigrafem. Celá rekonstrukce vodního díla probíhá od roku 2021 a bude ukončena v listopadu roku 2024. Celkové stavební náklady rekonstrukce VD činí cca 133,31 mil. Kč (cca 5,34 mil. EUR), náklady na odstranění sedimentů z konce zátopy pak 103,54 mil. Kč (cca 4,14 mil. EUR). Celkové stavební náklady na rekonstrukci a odbahnění VD Letovice činí 236,85 mil. Kč (9,48 mil. EUR). Celý program je financován z dotačního programu „Podpora prevence před povodněmi IV“ řízeného Ministerstvem zemědělství ČR.

SEZNAM LITERATURY

VD Letovice – rekonstrukce VD, Sweco Hydroprojekt a.s., 2019

AUTOR

Ing. David Rožnovský, Dřevařská 11, 602 00 Brno, Česká republika, roznovsky@pmo.cz

VODÁRENSKÁ NÁDRŽ KLENOVEC - 50 ROKOV PREVÁDZKY

WATER RESVOIR KLENOVEC – 50 YEARS OF OPERATION

Ján Pervan¹, Miloš Trocha²

Abstrakt :

Priehradné staviteľstvo v rámci východoslovenského regiónu sa pomaly ale isto posúva do kategórie historických činností. Medzi vodné stavby, ktoré už desaťročia ovplyvňujú hydrický režim v povodí rieky Rimava a pomáhajú naplňať meniace sa potreby obyvateľstva kladené na vodné zdroje patrí aj vodárenská nádrž Klenovec, ktorá je v prevádzke už 50 rokov. Príspevok je zameraný tak na retrospektívu jej doterajšej prevádzky ako aj stručne hodnotí aktuálny stav, jestvujúce problémy ako aj očakávaný vývoj v najbližšej budúcnosti.

Abstract :

Dam construction in the East region of Slovakia is slowly but surely moving into the category of historical activities. The Klenovec water reservoir, which has been in use for 50 years, is one of the water structures that have been influencing the water regime in the Rimava river basin for decades and helps to fulfill the changing needs of the population for water resources. The contribution is focused on the retrospective of its operation so far, briefly evaluates the current state, existing problems as well and the expected development in the near future.

1 ÚVOD

Vodárenská nádrž Klenovec bola budovaná v rokoch 1968 až 1972 [1].

Projekt vodnej stavby vypracoval Hydrokonzult, š. p. Bratislava, generálnym dodávateľom stavby bol Váhostav, n. p. Žilina. Priamym investorom bolo Povodie Hrona, podnik pre správu tokov, Banská Bystrica. Vodná stavba VN Klenovec je vybudovaná na toku Klenovecká Rimava v r.km 7,250. Nachádza sa cca 1,0 km nad obcou Klenovec (Obr. 1).



Obr. 1 *Vodárenská nádrž Klenovec*

Hlavným účelom nádrže je

A / **Zabezpečenie dodávky pitnej vody** cez Rimavský skupinový vodovod, ktorý zásobuje okres Rimavská Sobota a cez prepoj HPL (Hrachovo – Poltár – Lučenec) okres Poltár

XXXVIII. Priehradné dni 2024, Horný Smokovec - Vysoké Tatry, 24.9. - 26.9.2024

a Lučenec v množstve $Q_{max} = 460 \text{ l/s}$ a pre SLZ CHÉMIA a. s. Hnúšťa povolený odber vody je $Q_{max} = 40 \text{ l/s}$.

B / Vypúšťanie minimálneho zostatkového prietoku z dôvodu biologického oživenia toku v množstve $Q = 150 \text{ l/s}$ do toku Klenovecká Rimava pod vodnou stavbou.

C / Zmiernenie povodňových prietokov toku Klenovecká Rimava na úseku pod priehradným profilom.

D / Využitie hydroenergetického potenciálu odoberanej vody VN malými vodnými elektrárnami.

E / Chov rýb účelovým rybným hospodárstvom s cieľom zvyšovania kvality vody cez biologický systém nádrže.

Hlavné parametre vodnej stavby :

Plocha povodia	88,79 km ²
Celkový objem	8,431 mil. m ³
- stály Vs	0,794 mil. m ³
- zásobný Vz	6,679 mil. m ³
- retenčný Vr	0,958 mil. m ³

Charakteristické hladiny sú :

Minimálna prevádzková hladina	361,00 m. n. m.
Maximálna prevádzková hladina	377,25 m. n. m.
Maximálna dovolená hladina	378,80 m. n. m.

2 POSTUP VÝSTAVBY

Výstavba priehrady sa začala v januári 1968, jej dodávateľom bol Váhostav, š. p. Žilina. Budovanie násypového telesa rozdeleného na pomerne úzke zóny bolo organizačne náročné, podobne ako u predchádzajúcich hrádzach tohto typu (Ružín, Bukovec).

Popri stredovom hlinitom jadre sa museli sypať minimálne dvojité štrkové filtre. Navyše stabilizačná časť je rozdelená na dve zóny nielen tesniacim jadrom, ale každá z nich je ešte ďalej členená. Na návodnom svahu po celej výške a na vzdušnej strane v spodnej časti hrádze sa v páse 4 m širokom ukladal hrubý vytriedený kameň veľkosti nad 500 mm. Na vzdušnej strane hrádze medzi filtrom a stabilizačným násypom sa zhotovila prechodová vrstva šírky 5 až 9 m z kameňa menšieho zrna do 500 mm. Všetok materiál na budovanie hrádze sa získal a vyhotovil z miestnych zdrojov v bezprostrednej blízkosti stavby. V priebehu augusta 1972 sa na stavbe vyskytli ťažkosti v zabezpečení drobnozrnných materiálov do filtrov č. 1 z vlastných zdrojov, k dispozícii bol odpad magnezitového piesku zo SMZ Lubeník u ktorého bolo nutné vykonať posúdenie na chemickú stálosť, resp. nestálosť, rozkladu ich uhličitanovej zložky. Na výrobu betónovej zmesi sa dovážal dunajský štrkopiesok. Za obdobie 1968 – 72 bolo do jadrového tesnenia zabudovaných 114 800 m³ hlinitých materiálov.

Výstavba priehrady bola ukončená v decembri 1972.

3 OBJEKTOVÁ SKLADBA VODNEJ NÁDRŽE

3.1 Hrádza s príslušenstvom

Priehradný profil vodárenskej nádrže Klenovec sa nachádza cca 1 km nad obcou Klenovec. Povodie Klenoveckej Rimavy k hrádzovému profilu má vejárovitý, pozdĺžny tvar v smere bočných prítokov, ktorými sú Čerešňový, Vepriansky, Pradedov potok a potok Brezovian.

Konštrukčne je hrádza kamenisto – zemná so stredovým hlinitým tesnením, napojená na skalné podložie injekčnou clonou.

Základné parametre hrádze a nádrže:

kóta koruny hrádze	380,40 m. n. m.
kóta max. dovolenej hladiny	378,80 m. n. m.
kóta max. prevádzkovej hladiny	377,25 m. n. m.
kóta min. prevádzkovej hladiny	361,00 m. n. m.
dĺžka koruny hrádze	390,00 m
max. výška hrádze nad terénom	32,50 m
max. šírka hrádze v päte	158,60 m
šírka hrádze v korune	8,00 m
objem násypu hrádze	522 100 m ³
tesniace jadro	97 000 m ³
kamenný násyp	352 000 m ³
filtre	40 600 m ³
hlinitý násyp	25 480 m ³
ochranná hrádzka hlinitá	7 020 m ³

3.1 Šachtový bezpečnostný priepad

Je nehradený, navrhovaný na prevedenie predpokladaného redukovaného prietoku $Q_{red} = 72 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a posúdený na prevedenia $Q_{100 red} = 85 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ resp. $Q_{1000 red} = 105 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Koruna priepadu je na kóte 377,25 m. n. m. a má priemer 8,0 m, drienk šachty má kruhový otvor svetlosti 3,10 m. Vyústenie šachty do odpadovej štôlne je zoškrtené, na zabezpečenie stabilnejšieho režimu prúdenia na výšku 1,75 m. Na korune priepadu sú 3 usmerňovacie pilieriky.

3.1 Dnové výpusty

Sú dva, každý má DN 800 mm. Vtok je chránený hrablicami rozmerov 5,5 x 2,6 m. Kapacita dnových výpustov pri max. hladine 377,25 m. n. m. je $12,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a pri min. hladine 361,00 m. n. m. je $8,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Pred vtokom sú provizórne hradiace tabule, za vtokovým kusom je klapkový uzáver Ms 800 mm, ovládaný elektro – servomotorom. Za klapkovým uzáverom je vstup DN 600 mm, odvzdušňovací a zavzdušňovací ventil pre vypustenie a napustenie potrubia. Na potrubie je napojený kužeľový uzáver DN 800 mm, ovládaný servomotorom.

Výtok z dnových výpustov ústi do päty šachtového priepadu.

3.2 Vodárenské odbery

Vodárenské odbery slúžia na odber vody do úpravne v troch úrovniach.

Základné parametre odberov:

Počet odberov	3
Kóta odberu I.	358,06 m. n. m.
Kóta odberu II.	366,20 m. n. m.
Kóta odberu III.	371,20 m. n. m.
Priemer odberného potrubia	DN 700 mm
Max. dimenzovaný odber	460 l / s

Prvý odber je na vtokovom objekte, druhý a tretí odber je šachtovom priepade.

Odberné potrubia DN 700 mm sú vyústené do strojovne vodárenských odberov (Obr. 2).



Obr. 2 Vyústenie vodárenských odberov do strojovne

3.3 Vývar

Vývar svojou osou nadväzuje na odpadovú štôľňu. Dĺžka vývaru je 20 m, hĺbka 3 m. Na dne vývaru sú 2 rozrážачe, protiprah vývaru je stupňovitý. Bočné steny sú budované ako oporné múry do výšky okolitého terénu.

3.4 Odpadová a komunikačná štôľňa

Odpadová štôľňa má šírku v dne 3,50 m, výšku 2,90 m. Pri voľnej hladine odvádza prietoky zo šachtového priepadu, z dnových výpustov a z potrubia stáleho prietoku. Ústi do vývaru, ktorý tlmí energiu vytekajúcej vody (obr. 3).



Obr. 3 Pohľad na odpadovú a komunikačnú štôľňu

Komunikačná štôľňa ma šírku 3,00 m, výšku 3,20 m. Po jej pravej strane vedie odberné potrubie pitnej vody DN 700 mm. Na podlahe sú koľajnice dĺžky 155 m, s vozíkom nosnosti 5 MP. Plošina vozíka má rozmery 1,3 x 2,0 m, rozchod kolies 700 mm. Na strope je zavesené

vzduchotechnické potrubie pre vetranie a ohrev vtokového objektu. Po ľavej strane je vedená elektroinštalácia.

3.5 Využitie hydroenergetického potenciálu

Hydroenergetický potenciál je primárnym energetickým zdrojom, ktorý je obnoviteľný, t. j. nevyčerpatel'ný a zároveň ekologicky najtolerantnejší. Pri jeho využívaní nevznikajú žiadne odpady, či emisie.

Využitie hydroenergetického potenciálu odoberanej vody z vodárenskej nádrže KLENOVEC je dvoma malými vodnými elektrárňami.

Malá vodná elektráreň - MVE I.

Pre odvádzanie minimálneho zostatkového prietoku do Klenoveckej Rimavy pod nádrž slúži potrubie DN 150 mm, napojené na obtokové potrubie dnových výpustov, na ktoré je napojená turbína typu : BANKI B 30 / 10 – V 22 kW.

Malá vodná elektráreň – MVE II.

MVE II. Klenovec je vybudovaná na privádzači do úpravne vody. K výrobe elektrickej energie prebytočného hydroenergetického potenciálu využíva vody privádzača z nádrže Klenovec do úpravne vody, alebo jej odvedenie do vývaru pod vodnou stavbou a následne do toku Klenovecká Rimava. MVE II. bola do skúšobnej prevádzky uvedená v r. 1996 a do trvalej v marci 1998, kde sú v rámci sústrojenstva osadené 3 čerpadlové turbíny, ktoré boli v roku 2016 vymenené v rámci rekonštrukcie MVE II.

3.6 Injekčná štôlna

Je vybudovaná v osi hrádze za účelom naviazania hlinitého tesniaceho jadra na kamenné podložie a aj za účelom jeho utesnenia injekčnou clonou. Založená je v zdravom skalnom podloží. Injekčná štôlna je železobetónová konštrukcia so svetlou šírkou 2,2 m a s výškou 3,2 m. Združeným funkčným objektom je rozdelená na pravú (10 blokov) a ľavú stranu (20 blokov). Vstup do injekčnej štôlne je možný z obidvoch strán z koruny hrádze a z prístupovej (komunikačnej) chodby ZFO.

3.7 Zhodnotenie doterajšej prevádzky, aktuálny stav a očakávaný vývoj v budúcnosti

Počas doterajšej prevádzky od roku 1974 až po súčasnosť sa na VS Klenovec previedlo viacero stavebno-technických zásahov a to v podobe injektáží (1979 – 1980), injektáž v rokoch (1990 – 1992), injektáž (2000 – 2001), a ako posledná sa robila injektáž v rokoch (2002 – 2003). Čo sa týka odberov pre vodárenské účely je zrejmi značný pokles v odberoch povrchovej vody pre pitné účely, pričom pôvodný maximálny odber bol dimenzovaný na 460 l/s, kde dnešné odbery na pitné účely predstavujú cca 80 l/s. Daný pokles pripisujeme hlavne nepriaznivou odbytovou situáciou v danom regióne z titulu spoločenských zmien od roku 1989. Medzi významné technické opravy radíme aj výmenu vodárenského potrubia v roku 2012 v komunikačnej štôlni. Vzhľadom k tomu, že VS Klenovec dovŕšila v roku 2023 50 rokov prevádzky je nutné skonštatovať, že niektoré strojno-technologické časti dosahujú z titulu svojho veku a opotrebovanosti diskutabilnú funkčnosť (dnové uzávery), je bezodkladne nutné uvažovať s ich repasiou, rekonštrukciou resp. obmenou.

4 ZÁVER

Predmetom príspevku bolo zhodnotenie prevádzky vodnej nádrže Klenovec s jej objektovou skladbou, stručné zhodnotenie aktuálneho stavu a jestvujúcich problémov s očakávaným vývojom v budúcnosti.

ZOZNAM LITERATÚRY

- [1] SVP, š. p. (2013): *Manipulačný poriadok pre vodnú stavbu Klenovec, na toku Klenovská Rimava v r. km 7,250, 75 s.*

AUTORI

Autor 1: Ing. Ján Pervan, Slovenský vodohospodársky podnik, š. p., Povodie Hornádu, odštepný závod, Košice, pracovisko: Cukrovarská 6, 979 01 Rimavská Sobota, Slovensko, jan.pervan@svp.sk

Autor 2: Ing. Miloš Trocha, Slovenský vodohospodársky podnik, š. p., Povodie Hornádu, odštepný závod Košice, pracovisko: Cukrovarská 6, 979 01 Rimavská Sobota, Slovensko, milos.trocha@svp.sk

VODNÁ NÁDRŽ TAJCH – REKONŠTRUKCIA

WATER RESERVOIR TAJCH – RECONSTRUCTION

Magdaléna Janíková¹, Jakub Kedrovič², Ester Ďurianová³

Abstrakt: Témou tohto príspevku je práve prebiehajúca rekonštrukcia vodnej nádrže Tajch Nová Baňa. Pôvodne bola táto nádrž vybudovaná v rokoch 1792-1794 ako súčasť vtedajšieho banského vodohospodárskeho systému. Jej úlohou bolo zásobovanie banských zariadení vodou, ktorá bola nevyhnutná pre ich činnosť. V súčasnosti sa Tajch využíva na rekreáciu a rybolov. Počas životnosti vodnej stavby boli viackrát realizované rekonštrukcie či sanácie. V rokoch 1996-1997 bola zrealizovaná komplexná rekonštrukcia danej stavby ktorá zahŕňala obnovenie výpustného a výustného systému, spevnila sa hrádza, boli opravené brehy aj vstup do jazera vrátane bezpečnostného priepadu a odtokového kanála. Porucha na ovládacích tiahloch z návodnej strany hrádze však spôsobila nefunkčnosť výpustného systému. Tento nepriaznivý stav pretrváva približne posledných 15 rokov. V roku 2021 bola stavba VN Tajch uvedená do tzv. havarijného stavu. V minulom roku mesto Nová Baňa získalo potrebné finančné prostriedky na opravu spomínaného nefungujúceho výpustného systému. Súčasťou stavebných prác je však aj odčistenie bahenných nánosov z nádrže, či rekonštrukcia bezpečnostného priepadu.

Abstract: The topic of this submission is ongoing reconstruction of water reservoir Tajch in town Nová Baňa. Initially, this reservoir was built between 1792 – 1794 as a part of mining water management system. Its main purpose was water supply for various mining and pumping mechanisms, which was indispensable for their operation. Currently is the purpose of said water structure recreation and fishing. Several reconstructions were carried out during the lifetime of this water reservoir, last one (of larger scale) in 1996-1997. Complex reconstruction included restoration of the exhaust system, strengthening of dam, revision of lake entry and emergency spillway including the outlet canal. Failure of control rods from upstream face made it impossible to operate the sluice gate. This condition has been negatively impacting the reservoir for the last 15 years. Therefore was Tajch in 2021 put into state of disrepair. Last year was the town Nová Baňa (which is the owner of water reservoir) able to secure sufficient financial means to repair non-functional outlet system. During this reconstruction sediments at the bottom of reservoir will be removed and emergency spillway will be restored as well.

1 ÚVOD

Symbolom Novej Bane sa stala vodná nádrž dnes nazývaná Tajch. V minulosti znamenala záchranu baníctva v oblasti, dnes oživuje cestovný ruch. Nachádza sa približne 4 km od námestia v Novej Bani a v súčasnej dobe je lákavou atrakciou. Okrem nádrže sa tu nachádza aj náučný chodník, kemping s možnosťou ubytovania v chatkách, športové ihriská i požičovne vodných bicyklov a člnov.

2 VÝSTAVBA VODNEJ NÁDRŽE A JEJ VÝVOJ V NASLEDUJÚCICH ROKOCH

Prvá písomná zmienka o vodných čerpacích strojoch v Novej Bani pochádza z roku 1475. Postupným prenikaním baní do hĺbky bolo potrebné zabezpečiť energiu na čerpanie banských vôd z hlbinných dobovok. Voda sa stala hlavným zdrojom energie. K banským zariadeniam bola privádzaná pomocou vodných náhonových jarkov. Obsah vody v nich bol ale kolísavý: v lete jarky vysychali, v zime mohli zamrznúť. V rokoch 1767 pre veľké sucho a nedostatok vody stáli všetky stupy, čo zastavilo aj ťažbu.

V nadväznosti na tieto udalosti sa v roku 1768 prvýkrát zrodila myšlienka výstavby vodnej nádrže, ktorá by v letných mesiacoch zásobovala stupy potrebným množstvom vody. O postavení vodnej nádrže však rozhodla Hlavná banská správa až v roku 1785.

Návrh aj projekt stavby vypracoval banský odborník Ján Lill. Počas štúdií sa venoval banskému inžinierstvu a od roku 1776 pôsobil v Novej Bani ako správca baní. Vďaka jeho návrhom bola ťažba na prelome 18. a 19. storočia zisková, čo presvedčilo Dvorskú komoru stavbu nádrže realizovať. Stavať sa začalo 16. 5. 1792. Murované základy hrádze bolo nutné vybudovať v dĺžke 15,5 siah (31,31 m), šírke 1 siaha (2,02 m) a výške 2 siahy (4,04 m). Na ostatnú časť terasy bol položený tzv. vodný múr v rozlohe 155 kubických siah (1 277 m³). Na spevnenie hrádze bol navrhnutý tzv. kalchmúr, múr spevnený haseným vápnom. Nádrž sa podarilo dokončiť 13. 10. 1794. Na zabezpečenie dostatočného tlaku vody na pohon banských zariadení bola hrádza nádrže v roku 1803 navýšená a objem Tajchu sa zvýšil o jednu tretinu. V dobre zabehnutom systéme bola ťažba pribrzdená silným dažďom v roku 1808 a prietržou mračien koncom mája 1810. Hrádza tajchu nevydržala silný prítok vody a roztrhla sa. Voda zničila aj prívodné jarky. Hrádzu museli znížiť o cca. 7,58 m, pričom opravy dokončili v polovici roku 1811. V roku 1817 však začala nádrž prepúšťať vodu. Aj napriek nemalým vynaloženým prostriedkom na rekonštrukcie sa poruchy na hrádzi kopili. Novobanské baníctvo vykazovalo straty, ktoré boli napriek veľkým snahám spôsobené aj nedostatkom vody. Posledné pokusy o rekonštrukciu hrádze sú zaznamenané v rokoch 1870 -1871. Keď bola 17. mája 1887 definitívne zastavená ťažba v baniach, zanikol aj pôvodný účel Tajchu. Vodná nádrž mala byť zničená, mesto Nová Baňa ju však odkúpilo, čo Tajch zachránilo [1].

Hrádza bola následne zrekonštruovaná až v roku 1947 pre chov rýb. Rekonštruovaný profil hrádze bol o cca 5m nižší ako pôvodný historický profil, avšak s väčšou šírkou jej koruny (15-20 m) pri priemernom sklone návodného svahu 1:2 a vzdušného svahu 1:1,6. V auguste 1966 v dôsledku intenzívnych letných dažďov hladina vody v nádrži stúpila natoľko, že bezpečnostný priepad už nebol schopný odvieť zvýšené povodňové prietoky. V časti hrádze, ktorá v dôsledku sadania bola v korune o 20-35 cm nižšia došlo k preliatiu a následne k jej prietrži v šírke cca 25m. Rekonštrukčné práce boli realizované v roku 1968. Podľa archivovanej projektovej dokumentácie bola zemná homogénna hrádza navrhnutá so šírkou koruny 13 m so sklonom opevneného návodného svahu 1:2,5 a vzdušného svahu 1:2 aj s drenážnou päťou z lomového kameňa (Obr.1).



Obr. 1 Zachovaná fotografia vodnej nádrže Tajch z 2. polovice 20. storočia [1]

Na jar v roku 1995 boli pozorované deformácie vzdušného svahu hrádze a čiastkový pokles koruny hrádze. V rokoch 1996-1997 Váhostav, a.s. Žilina zrealizoval sanáciu telesa hrádze do súčasného technického stavu. Bol obnovený výpustný a výustný systém (nazývaný mních), bola spevnená hrádza a boli opravené aj brehy, vstup do jazera vrátane bezpečnostného priepadu a odtokového kanála. Súčasný technický stav vodnej stavby zodpovedá tejto rekonštrukcii.

3 HLAVNÉ ČASTI VODNEJ STAVBY

Hrádzové teleso je vybudované z jemne piesčitých ílov strednej, prevažne vysokej plasticity. Dĺžka hrádze je 135 m, najväčšia výška v osi 11,9 m. Koruna hrádze je na kóte 312,70 m n.m. a má šírku 13,0 m. V strede koruny je chodník pre peších šírky 2m, ostatná plocha je opevnená trávnaťým porastom. Sklon návodného svahu od dna po korunu hrádze je 1:2,5, celý návodný svah je opevnený dlažbou z lomového kameňa. Vzdušný svah hrádze má sklon 1:2 od koruny hrádze (312,70 m n.m.) po lavičku šírky 3,5 m (307,50 m n.m.). Od lavičky po kótu 303 m n.m. (rozšírenie hrádze prísypom pri asanácii) je sklon svahu 1:2,8. Rozšírená drenážna päťka je vybudovaná z lomového kameňa, líce upravené ako kamenná rovinanina. Odvedenie vôd z nej zabezpečujú obojstranné zberné jarky zaúst'ujúce do vývaru výustného objektu.

Výpustný objekt zabezpečujúci reguláciu hladín vody v nádrži pozostáva z veže, lávky, dnových výpustov a odtokového potrubia. Vežu tvorí betónový objekt rozmerov 2,3 x 2,8 x 7,9 m. Z plošiny veže je prístup do šachty pomocou oceľových schodíkov (skôb). Prístup z koruny hrádze na plošinu veže zabezpečuje oceľová lávka. Regulácia vody sa zabezpečuje dvomi ručne ovládanými dnovými výpustami. Voda zo šachty výpustného objektu je odvádzaná odtokovým potrubím cez teleso hrádze k výustnému objektu. Odtokové potrubie priemeru DN 600 má spád 10% a napája sa na betónový **výustný objekt**. Ten je spojený s vývarom dĺžky 6 m. Vývar je ukončený betónovým prahom z lomového kameňa.

Bezpečnostný priepad je umiestnený v telese hrádze v mieste ľavostranného naviazania hrádze do terénu. Jedná sa o betónový objekt lichobežníkového tvaru. Kóta priepadovej hrany je 311,10 m n.m. – t.j. kóta prevádzkovej hladiny. Priepad je ukončený betónovým sklzom, ktorým sa voda dostáva do recipientu pod hrádzou. Bezpečnostný priepad bol projektovaný na prevedenie $Q_{100} = 23 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Nádrž má celkový objem $130\,000 \text{ m}^3$ pri zatopenej ploche 3,67 ha. Napájaná je tokmi Kyzový potok a Štepnica. Dĺžka vzdutia nádrže je cca 0,250 km [2].

4 DÔVODY PRE REKONŠTRUKCIU TAJCHU A JEJ PRIEBEH

Závada na ovládacích tiahloch (ktorá trvá približne posledných 15 rokov) bohužiaľ spôsobila nefunkčnosť výpustného objektu. Tým pádom je vodná nádrž „odkázaná“ na prepúšťanie prietokov pri zvýšených vodných stavoch v nádrži len pomocou bezpečnostného priepadu. Oblasť na jeseň 2020 a na jar 2021 čelila dvakrát v odstupe cca 6 mesiacov povodniam v dôsledku privalových dažďov, čo sa prejavilo aj na hladine Tajchu, ktorá sa počas spomínaných povodní kriticky zvyšovala aj v dôsledku zanesenia bezpečnostného priepadu a hrablic. V dôsledku toho bol dňa 20.5.2021 zvolaný Krízový štáb mesta a bolo vydané rozhodnutie, že je potrebné pristúpiť k rekonštrukcii VN Tajch (stavba bola tiež uvedená do havarijného stavu). Mesto Nová Baňa sa snažilo od roku 2013 získať externé finančné zdroje na rekonštrukciu vodnej nádrže Tajch. Žiaľ, od spomínaného roku 2013 až po súčasnosť nebolo možné sa zapojiť do žiadnej výzvy s takouto požiadavkou. V roku 2019 mesto pristúpilo k vyhláseniu verejného obstarávania na opravu výpustného a výustného systému za pomoci potápačov (bez vypustenia vodnej nádrže). Tí konštatovali, že nie je možné pracovať na dne výpustného systému „mních“, nakoľko sa tam nachádza cca 1,5 m sedimentov bahna, ktoré sa za uplynulé desiatky rokov nakumulovalo, je tam nulová viditeľnosť a okrem toho sú tam z čias rekonštrukcie nasunuté veľké balvany, ktoré v tom čase boli navrhnuté ako akási ochrana „mnícha“. Došlo teda k zmene zadania a bol aktualizovaný projekt. Následne mesto v apríli 2023 podalo špecifickú podporu formou úveru pre obce a vyššie územné celky z Environmentálneho fondu. Envirofond schválil čerpanie úveru 26.6.2023 [3].

Terajšia rekonštrukcia sa týka výpustného a výustného objektu, bezpečnostného priepadu so sklzom, hrádzového telesa a prístupovej cesty do nádrže. Pred samotným začatím rekonštrukčných prác však bolo potrebné vypustiť nádrž a uskutočniť hromadný výlov rýb.

Z dôvodu nefunkčných dnových uzáverov bolo zástupcami SVP na zníženie hladiny v nádrži navrhnuté použitie gravitačnej násosky DN 125. Toto riešenie bolo odsúhlasené a inštalované v dňoch 16.10. a 17.10.2023. Nakoľko znižovanie hladiny nebolo postačujúce, bola dňa 23.10.2023 inštalovaná aj druhá násoska rovnakých parametrov. Po výdatných zrážkach kedy sa nádrž naplnila opäť až po max. prevádzkovú hladinu, požiadali zástupcovia mesta správcu povodia o inštaláciu aj 3. gravitačnej násosky. Nadpriemerné zrážkové úhrny, ktoré v oblasti pokračovali aj v nasledujúcom období (celkový úhrn od 22.10. do 16.11.2023 bol cca 230 mm) znamenali, že prítok do nádrže sa vyrovnal jeho odtoku a hladina sa viac dní udržiavala na úrovni bezpečnostného priepadu. Bolo konštatované, že bez nasadenia výkonnej čerpacej techniky (ktorá by pracovala v súčinnosti s násoskami) nebude možné hladinu v nádrži znížiť na požadovanú úroveň. Z tohto dôvodu bola vyhlásená mimoriadna situácia (aby bolo možné nasadenie vysokokapacitnej čerpacej techniky z prostriedkov HaZZ) a doinštalovala sa aj štvrtá násoska (pre zvýšenie kapacity DN 160) – Obr. 2.



Obr. 2 Pohľad na inštalované násosky v počte 4 ks [4]

Po inštalovaní 4. násosky (v súčinnosti s počasím takmer bez zrážok) sa v novembri podarilo znížiť hladinu vo VN z 8,5 m na 2,5 m pred plánovaným výlovom rýb (9.12.2023). Žiaľ v dôsledku nočných aj celodenných mrazov došlo k zamrznutiu vodných nádrží, do ktorých mali byť umiestnené ryby. Bolo teda dohodnuté odstavenie násosiek a prerušenie vypúšťania nádrže až do jarných mesiacov. Koncom februára a začiatkom marca 2024 boli znova postupne aktivované všetky násosky. Výlov rybej osádky bol naplánovaný na 23. – 24.3.2024. Medzi 15.-17.3. však prestali fungovať dve násosky a aj napriek použitiu čerpadiel sa hladina vody v nádrži nedarila výraznejšie znižovať. 19.3. zástupca SRZ skonštatoval, že za súčasného stavu hĺbky vody v nádrži a zatopenej plochy nie je možné výlov rýb uskutočniť. 20.3.2024 bol preto odvrátný otvor v ľavom aj pravom liatinovom uzávere a voda po mnohých rokoch začala z nádrže opäť odtekať dnovým potrubím (Obr. 3).



Obr. 3 Odvrátný uzáver a následné pretekanie vody cez dnový výpust [4]

Vypúšťané množstvá boli regulované funkčnými vodárenskými posúvačmi DN250 v šachtovom objekte (mníchu). Voda vytekajúca z nádrže cez dnové potrubie bola zakalená, no k vyplavovaniu dnového sedimentu nedochádzalo. V nasledujúcich dňoch prebiehalo

kontrolované znižovanie hladiny cez dnové výpusty. V plánovanom termíne 23.3.2024 sa podarilo uskutočniť zlovenie rybej obsádky z nádrže a jej premiestnenie do susediacich rybárskych revírov. Proces vypustenia nádrže bol hromadným výlovom rýb ukončený [4]. Súčasne, s rekonštrukčnými prácami na objektoch vodnej stavby, bude prebiehať aj odčistenie nánosov sedimentov z dna nádrže, čím sa zabezpečí zvýšenie jej objemu. Bol vykonaný rozbor sedimentov s výsledkom, že nie sú ekotoxické (je možné ich ďalšie využitie napr. na hnojenie). V rámci požiadaviek na technicko-bezpečnostný dohľad budú na korune hrádze a na vzdušnom svahu osadené pozorovacie body. Budú to geodetické vzt'azné body, klincové pozorovacie výškové body a pozorovacie vztlakové sondy (každý po 3 ks). Povrch stavebných objektov, ktorých sa týka rekonštrukcia (výpustný a výustný objekt, bezpečnostný priepad) bude očistený a následne vysokotlakovo otryskávaný. Ďalším krokom bude nanosenie sanačnej malty podľa potrebnej hrúbky, čím sa vyspraví všetky nerovnosti a trhliny v jestvujúcom betóne (postup prác možno vidieť na Obr. 4 a 5).



Obr. 4 Pohľad na vypustenú nádrž a výpustný objekt



Obr. 5 Pohľad na hranu bezpečnostného priepadu po otryskávaní so začatím sanácie maltou

Novovytvorený povrch musí byť po ukončení prác mrazuvzdorný a vodeodolný. Vzhľadom na prevedenie povodňových prietokov sa priepadová hrana bezpečnostného priepadu pri rekonštrukcii nadbetónuje na kótu 311,350 m n.m. Na kraji priepadu (pri ľavom brehu) vznikne otvor tým, že sa existujúci povrch len vyspraví vhodnou reprofilačnou metódou a nebude sa nadvyšovať. Týmto postupom sa vytvorí 1 m dlhá znížená časť priepadu ku ktorej sa budú koncentrovať plávajúce nečistoty a ich odstránenie z brehu bude jednoduchšie. Bezpečnostný priepad je napojený na časť vytvorenú betónovým obdĺžnikovým korytom, ktorá bude rekonštruovaná podobne ako koryto priepadu. Následne prechádza betónová časť do časti tvorenej

lichobežníkovým korytom , ktoré je v súčasnosti zanedbané a má nepravidelný tvar. Táto časť bude založená vo výkope, koryto bude pred začatím rekonštrukcie vyčistené od nánosov, krovín a náletových drevín. Smerové vedenie koryta bude rešpektovať súčasný stav. Svahy aj koryto budú opevnené kamennou rovnatinou (zhotovenou z neopracovaných kameňov na sucho s väzbou v pozdĺžnom aj priečnom smere). Medzery sa vyplnia a vyklinujú menšími kameňmi. Lícne plochy sa urovnajú dlažbou a vyplnia menšími kameňmi. Nakoniec sa koryto zaleje betónom. Úprava koryta bola navrhnutá tak, aby malo schopnosť previesť povodňové prietoky. Objekt prístupovej cesty do nádrže bude založený na pôvodnom teréne. Najskôr sa odstráni vrchných 0,30 m jestvujúceho terénu a v mieste nánosov najskôr ich celá hrúbka a následne 0,30 m terénu. Šírka cesty bude 6,0 m, pričom výškové vedenie v čo najväčšej miere kopíruje existujúci stav. Dĺžka úpravy je 83 m a zloženie spevnenej plochy bude nasledovné : spodná vrstva 200 mm štrkodrvy, následne 150 mm cementovej stabilizácie a povrch bude tvoriť 100 mm štrkodrvy preliatej asfaltom [5].

5 ZÁVER

Vodná nádrž Tajch je obľúbeným miestom pre rekreáciu či už obyvateľov samotnej Novej Bane, alebo pre jej návštevníkov. Pre závažnú poruchu na objekte mnícha však bola nutná jej rekonštrukcia v čo najskoršom termíne. Mesto sa už snažilo už od roku 2013 získať finančné prostriedky na opravu poškodených častí vodnej stavby. Úsilie mesta bolo odmenené minulý rok, kedy získalo podporu od Enviroföndu. Predmetom rekonštrukcie je okrem nefunkčného výpustného objektu aj bezpečnostný prípad so sklzom a odtokovým korytom a prístupová cesta do nádrže. Taktiež budú odťažené sedimenty z dna nádrže, čím sa zvýši jej objem. Ukázalo sa ,najmä počas prác pri vypúšťaní nádrže, že príroda je nevyspytateľná a človek musí byť pripravený na všetky situácie, ktoré môžu nastať. Vďaka tomu, že počas procesu rekonštrukcie stavby boli prizvaní odborníci, bolo zaistené správne a rýchle riešenie nepriaznivých stavov, ktoré nastali. Veríme, že po ukončení stavebných prác bude nádrž ešte dlhé roky bezproblémovo slúžiť všetkým návštevníkom tejto malebnej lokality.

ZOZNAM LITERATÚRY

- [1] Mgr. Bc. Katarína Stredáková: *História vodnej nádrže Tajch (dokument Pohronského múzea)*
- [2] *Vodné hospodárstvo Zvolen: Manipulačný poriadok pre vodnú stavbu Vodná nádrž Tajch Nová Baňa 07/2003*
- [3] <https://www.novabana.sk/informacie/eurofondy-projekty/vodna-nadrz-tajch>
- [4] Václav Koleda : *Tajch Nová Baňa – stručná správa o priebehu znižovania hladiny vody v nádrži*
- [5] *Vodotika, a.s.: Projektová dokumentácia VN Tajch Nová Baňa - rekonštrukcia 11/2017*

AUTORI

Autor 1: Ing. Magdaléna Janíková, Bosákova 7, 851 04 Bratislava, Slovensko, vodotika@vodotika.sk

Autor 2: Ing. Jakub Kedrovič, Bosákova 7, 851 04 Bratislava, Slovensko, vodotika@vodotika.sk

Autor 3: Ing. Ester Ďurianová, Bosákova 7, 851 04 Bratislava, Slovensko, vodotika@vodotika.sk

VODNÁ STAVBA NOVÁKY - VODNÁ NÁDRŽ NITRIANSKE RUDNO 70. ROKOV PREVÁDZKY

WATER CONSTRUCTION NOVÁKY WATER CONSTRUCTION NITRIANSKE RUDNO 70. YEARS OF OPERATION

Jozef Molnár

Abstrakt: Región Hornej Nitry aktuálne prechádza po ukončení ťažby hnedého uhlia a taktiež výroby elektrickej energie rozsiahlou transformáciou. Tento zásadný vplyv má výrazný dopad na hydrologické režimy v regióne, nakoľko ukončená výroba najmä elektrickej energie sa výraznou mierou podieľala na spotrebe povrchovej vody. Hlavným zdrojom úžitkovej vody pre energetický, chemický a stavebný priemysel v Novákoch je od roku 1953 Vodná stavba Nováky – VN N. Rudno. Postupným rozširovaním jednotlivých výrobní v energetickom a chemickom priemysle v druhej polovici minulého storočia boli vznesené aj väčšie nároky na spotrebu povrchovej vody. Z tohto dôvodu musela byť vodná stavba rozšírená o nový náhradný zdroj čerpacej stanice a nové potrubné trasy s odbernými miestami. Základný charakter vodnej stavby ale ostal aj po viac ako 70 rokoch nezmenený a aktuálne kapacitne dostačujúci. Otázkou ale ostáva jeho využitie v budúcnosti, nakoľko ako jednoúčelová prevádzka vybudovaná pre dodávku úžitkovej vody, je závislá výhradne od odberateľov. Príspevok je zameraný na výstavbu vodnej stavby, dlhoročnú prevádzku s jej postupným rozširovaním a dopadom na súčasnú situáciu s vývojom blízkej budúcnosti.

Abstract: The region of Horná Nitra is currently undergoing a large-scale transformation after the end of lignite mining and electricity production. This fundamental influence has a significant impact on the hydrological regimes in the region, as the discontinued production of electricity, in particular, contributed significantly to the consumption of surface water. Since 1953, the main source of useful water for the energy, chemical and construction industries in Nováky have been the Nováky Water works – VN N. Rudno. The gradual expansion of individual productions in the energy and chemical industry in the second half of the last century also raised greater demands on the consumption of surface water. For this reason, the water structure had to be expanded with a new replacement source of the pumping station and new pipe routes with collection points. However, the basic nature of the water structure has remained unchanged even after more than 70 years and currently has sufficient capacity. But the question remains of its use in the future, since as a single-purpose facility built for the supply of utility water, it depends exclusively on customers. The contribution is focused on the construction of a water structure, its long-term operation with its gradual expansion and the impact on the current situation with the development of the near future.

1 ÚVOD

Vodné stavby na Slovensku vybudované v čase technologického rozmachu v druhej polovici 20. storočia pre účely priemyslu prešli postupne svojím vývojom kedy často museli reagovať na zmeny ktoré vyplývali z rôznych okolností. Jednou z takýchto prevádzok je aj Vodná stavba

Nováky, ktorá od zahájenia prevádzky v roku 1953, bola niekoľkokrát rozšírená a musela reagovať na požiadavky odberateľov úžitkovej vody priemyselnej oblasti v Novákoch.

2 HISTÓRIA

Zintenzívneným odkrývaním uhoľných ložísk v 50 – tých rokoch na hornom Ponitří sa urýchlil rozvoj banského, energetického a chemického priemyslu. V regióne Novák sa postupne začal budovať tzv. „Priemyselný kombinát Nováky“, ktorý v sebe združoval spoločnosti Novácke uhoľné bane, Elektrárne Nováky a Novácke chemické závody. Základnou požiadavkou pre jednotlivé výrobné programy podnikov bolo zabezpečiť tlakovú priemyselnú vodu, v požadovanom množstve a kvalite.



Obr. 1 Pohľad na odberateľov priemyselnej vody

Voda z rieky Nitry, v tej dobe znečistená uhoľnými baňami z Handlovej, mohla kryť spotrebu nového priemyslu len v začiatočnom štádiu výstavby. Prvotnú požiadavku na vybudovanie novej vodnej stavby vzniesli v roku 1948 Slovenské elektrárne a následne bolo v roku 1950 rozhodnuté, že hlavný a trvalý odber vody musí byť zabezpečený z povodia Nitrice. Na nej sa má vybudovať vodná nádrž s dostatočným objemom a vyrovnávacím účinkom. Do úvahy pripadalo niekoľko profilov ale až vykonaný geografický prieskum ukázal, že najvýhodnejším miestom pre akumuláciu vody na Nitrici bude profil pri Nitrianskom Rudne. Po niekoľkých návrhoch sa v roku 1950 určilo presné miesto založenia sypanej hrádze, s objemom 4,0 mil. m³. Tento návrh zohľadňoval dostatočne veľkú nádrž pre vyrovnanie prietoku Nitrice a dostatočnú výšku vzdutia hladiny, pre prekonanie tlakových strát v navrhovanom prívodnom potrubí do Novák v dĺžke 10 km.

Pôvodný návrh predpokladal sypanú hrázu s tlakovým prívodom kapacity 2,2 m³/s, ktorý vychádzal s požiadaviek odberateľov. Tým, že zástupcovia odberateľov oznámili počas

zahájenia realizácie zníženie svojich požiadaviek na množstvo dodávanej vody, vytvorila sa nová situácia. Bolo potrebné revidovať niektoré objekty, a to najmä tlakový prívod a vyrovnávaciu komoru vodojemu. Tlakový prívod bol vtedajším Vodoprojektom Bratislava preprojektovaný na maximálne prietokové množstvo 1,3 m³/s. Návrh prívodného potrubia o svetlosti 1500 mm sa tým zmenil na 1200 mm.



Obr. 2 Pohľad na VN Nitrianske Rudno

Celkový prepracovaný zadávací projekt bol následne v roku 1952 schválený s nákladom 111 540 120 Kčs a zahŕňal tieto objekty :

Priehradu na Nitrici – VN N. Rudno , Tlakový prívod svetlosti 1200 mm, Vodojem na Brezine pri Novákoch, dve vetvy odberného potrubia v Novákoch, Čerpaciu stanicu v Novákoch a Dolnú hať na rieke Nitre v Novákoch . V priebehu rokov 1952 a 1954 sa odber Chemických závodov zvýšil z 335 l/s na 570 l/s, a preto bola vznesená urýchlená požiadavka na rozšírenie vodného diela. Tento doplnok projektu bol po schválení s investičným nákladom 19 201 000 Kčs a obsahoval ďalšie objekty : Reguláciu Nítry v Novákoch, Akumulačnú nádrž s náhonom v Novákoch a Hornú hať na Nitre v Novákoch.

Vybudovaním vodnej nádrže Nitrianske Rudno sa garantovala priemyselným závodom v Novákoch úžitková voda v množstve 594 l/s. Nakoľko sa z meraní prietokov na Nitrici z rokov 1931 a 1940 vedelo, že priemerná vodnatosť môže dosiahnuť kritické hodnoty, bolo nutné uvažovať neskôr s vybudovaním väčšej vodnej nádrže nad obcou Liešťany. Jej miesto vybudovania sa predpokladalo 5 km južne od obce Temeš spolu s energetickým využitím vo vodnej elektrárni. Vybudovaním tejto nádrže by sa dosiahlo celkové nadlepšenie o ďalších 0,55 m³/s a VN Nitrianske Rudno by sa stala vyrovnávacou nádržou pre plánovanú vodnú elektrárň s pracovným názvom Lomnica.

Z VN Nitrianske Rudno sa voda vedie tlakovým prívodom do Vodojemu nad Novákmi a odtiaľ rozvodným potrubím k spotrebiteľom. Vodojem nad Novákmi s kapacitou 5000 m³ je navrhnutý ako krátkodobá rezerva, ktorý vyrovnáva tlaky v odbernom potrubí. Jeho prevádzka

je naprojektovaná tak, že pri plnom odbere z VN Nitrianske Rudno ostáva naplnený. Voda z rieky Nitra mala slúžiť len na doplnenie odberov v prípade suchého obdobia alebo ako záložný zdroj pri výluke dodávky priemyselnej vody z VN Nitrianske Rudno. V začiatkovej fáze výstavby mala dolná hať slúžiť ako vzdúvadlo pre provizórnu čerpaciu stanicu situovanú na ľavej strane rieky Nitry v objektoch chemických závodov. Tá až do vybudovania definitívnej čerpacej stanice dodávala vodu z Nitry s výkonom 585 l/s. Definitívna čerpacia stanica v Novákoch, ktorá neskôr nahradila dodávku vody z provizórnej čerpacej stanice bola navrhnutá na maximálny výkonom 750 l/s.



Obr. 3 Pohľad na Čerpaciu stanicu Nováky

Výstavba vodohospodárskych objektov vodnej stavby ako celku prebiehala s rôznymi komplikáciami, ktoré v danom čase vyplývali hlavne z nedostatku materiálov, stavebných strojov, zariadení a organizácie práce. Pri realizácii sa zabudovalo veľké množstvo stavebných materiálov, ktoré sa dovážali železnicou do Novák a odtiaľ vozidlami do 15 km vzdialeného Nitrianskeho Rudna. Stavbu komplikovali aj zmeny prvotných návrhov, ktoré boli niekoľkokrát zmenené. Napríklad VN Nitrianske Rudno sa mala vybudovať ako sypaná hrádza z hlinitého materiálu ale bolo konštatované, že jej vybudovanie by bolo v požadovanom termíne náročné uskutočniť, najmä z dôvodu nepriaznivého počasia. Preto sa vypracoval nový projekt, v ktorom sa pre návrhnú tesniacu stranu hrádze navrhol hlinitý materiál a pre vzdušnú stranu štrkový materiál, z dolomitického štrku z neďalekej doliny „Biele skaly“. Použitím tohto materiálu sa síce projekt predražil ale hlavne sa dodržal termín dokončenia. K zmene počas zahájenia výstavby došlo aj v prípade tlakového prívodu. Pôvodne sa mali použiť železobetónové rúry typu Vianini svetlosti 1500 mm. Tie však pri opakovaných kvalitatívnych skúškach v roku 1951 vykázali netesnosti a ich dodávka na stavenisko bola zastavená. Z tohto dôvodu sa investor rozhodol pre použitie oceľových a liatinových rúr o svetlosti 1200 mm. Oceľové rúry dodávali Vítkovice železiarne n.p. a ich montáž zabezpečili Hutné montáže n.p. Ostrava. Liatinové rúry dodávali Kráľovo dvorské zlievarne n.p. . Tieto rúry boli spájané tzv. zatémovaním hrdlových spojov, pomocou dreveného borovicového obkladu. Posledná časť tlakového prívodu je vybudovaná ako štôlna o dĺžke 700 m svetlosti 1500 mm z prefabrikovaných betónových dielcov.

Výstavba Vodojemu a Definitívnej čerpacej stanice podliehala kvalitnému geologickému prieskumu, ktorý vykonal Výskumný ústav stavebníctva v Bratislava. Najmä v prípade Definitívnej čerpacej stanice, bolo dôležité správne založenie stavby, pretože miesto výstavby bolo na pôvodnom koryte rieky Nitry.

Rozrastajúcim sa priemyslom v regióne a zvyšovaním kapacít jednotlivých výrobných odvetví, bola v druhej polovici 60. rokov 20. storočia vznesená požiadavka k vybudovaniu novej čerpacej stanice s väčšou kapacitou ako bola definitívna čerpacia stanica. Z tohto dôvodu bola v areáli pôvodnej definitívnej čerpacej stanice v roku 1969 zahájená výstavba novej. Uvedená bola do prevádzky v roku 1972 a jej výstavba bola rozdelená na II. etapy. V I. etape v roku 1972 boli nainštalované 3 ks čerpadiel s celkovou kapacitou 1 000 l/s a v II. etape v roku 1990 boli doplnené ďalšie 3 čerpadlá s konečnou kapacitou 3 460 l/s.

3 SÚČASNOSŤ

V novej čerpacej stanici je nepretržitá obsluha, ktorá riadi celú prevádzku dodávky priemyselnej vody k jednotlivým odberateľom. Zabezpečenie dodávky priemyselnej vody prostredníctvom novej čerpacej stanice je z pohľadu systému celej vodnej stavby identický s režimom definitívnej čerpacej stanice.

Čerpacia stanica sa skladá z troch častí a to : zo strojovne , z rozvodne vysokého napätia a z filtračnej stanice, kde sa prostredníctvom sieťových filtrov voda zbavuje hrubších nečistôt. Voda z čerpacej stanice je pomocou čerpadiel dodávaná do siete rozvodných potrubí a trasovaná podľa požiadaviek odberateľov k jednotlivým výrobám.

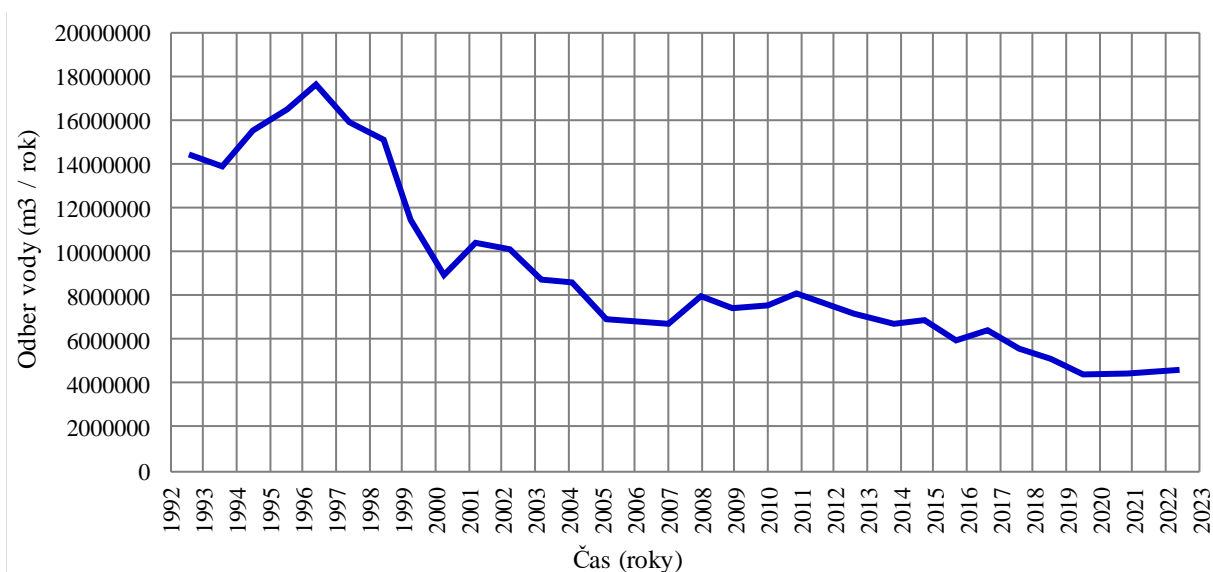
V roku 1993 bola dobudovaná III. oceľová vetva svetlosti 1000 mm. Táto trasa bola kľúčová pre z okruhovanie systému dodávky, čím sa hlavne zvýšila jej bezpečnosť. V súčasnej dobe je rozvodné potrubie rozdelené na tri hlavné vetvy. I. vetva rozvodného potrubia je z liatinových rúr svetlosti 1000 mm , II. a III. vetva je zo zvaraných oceľových rúr svetlosti 1000 mm. Jednotlivé trasy sú medzi sebou poprepájané cez manipulačné šachty, tak aby bolo možné dopraviť vodu k odberateľom podľa ich požiadaviek.

Posledná rozsiahla investícia bola vykonaná v roku 2019, kedy prešla nová čerpacia stanica kompletnou rekonštrukciou. Rozsah opravy zahŕňal hlavne zmenu technológie VN rozvodne a výmenu čerpadiel s reguláciou výkonu. Dôležitým krokom pri oprave bol prechod na NN napájanie čerpadiel, pretože pôvodné čerpadlá boli napájané 6 kV, čím sa výrazne znížila energetická náročnosť prevádzky.

Touto rekonštrukciou sa zvýšila celková bezpečnosť čerpacej stanice na úroveň súčasnej doby kedy sa vie garantovať dodávka priemyselnej vody aj v prípade dlhobého čerpania .

Do roku 2023 sa prostredníctvom vodnej stavby Nováky zabezpečovala dodávka priemyselnej vody nasledovným spoločnostiam : SE Z. Kostolány a.s., Fortischem a.s. Nováky, Porfix Nováky a.s. a spoločnosť Xella – Šaštín Stráže a.s. Od roku 1996 mali odbery u všetkých odberateľov klesajúcu tendenciu. Poklesy odberov odzrkadľujú hlavne trendy v úspore nákladov a tiež zmeny výrobných programov jednotlivých výrobných prevádzok. Najväčší odberateľ z pohľadu odobratého množstva vody boli SE Z. Kostolány a.s., ktorý používali povrchovú vodu hlavne na výrobu elektrickej energie ale taktiež zabezpečovali vykurovanie miest a obcí v regióne okresu Prievidza. Zásadný vplyv na režim VS Nováky malo nedávne rozhodnutie SE Z. Kostolány a.s., že od 1.1.2024 ukončuje výrobu elektrickej energie a tým aj odber priemyselnej vody. V súčasnej dobe je prevádzka VS Nováky aj po viac ako 70 rokoch stabilizovaná s prevádzkovými nedostatkami, ktoré sa v budúcnosti budú musieť riešiť. Najväčšími aktuálnymi rizikami prevádzky, ktoré ohrozujú bezpečnosť dodávky vody, sú netesnosti tlakových potrubí, ktorých celkové dĺžky sú v rozsahu cca 17 km. Ich životnosť sa

podpisuje najmä pri zvýšenom počte netesností najmä oceľových úsekov. Ďalším aktuálnym nedostatkom je zanesenie vrcholovej nádrže VN N. Rudno a Akumulačnej nádrže Nováky kalom, ktoré sú aktuálne vo fáze riešenia. Vyčistením nádrží by sa zlepšila celková kvalita dodávanej vody k odberateľom, čím by sa znížila potreba a náročnosť filtrácie



Obr. 4 Graf – pokles odberov povrchovej vody SE Z. Kostolany 1992 - 2023 v m³/ rok

4 ZÁVER

VS Nováky bola navrhnutá ako jednoúčelová uzavretá vodohospodárska prevádzka pre zabezpečenie dodávky tlakovej vody k odberateľom v Novákoch. Priniesla úžitok nielen v zabezpečení vodných zdrojov pre priemysel, ale aj z hľadiska úpravy okolia obcí a vodných plôch. V samotných Novákoch sa zregulovala rieka Nitra, ktorá svojimi mnohými meandrami zaberala poľnohospodársku pôdu. Vodná energia umožnila vybudovať na Hornej a Dolnej hati MVE I Nováky a MVE II Nováky. Taktiež na VN N. Rudno bola v roku 2016 rekonštruovaná MVE N. Rudno. V konečnom dôsledku vodné plochy VN N. Rudno a akumulácie nádrže prispeli k rozvoju rekreácie, športu a rybolovu. VS Nováky správnym prevádzkovaním bude viesť ešte niekoľko rokov splňať svoj význam pre ktorý bola vybudovaná, ale jej budúcnosť, bude jednoznačne závisieť od existencie odberateľov. Myšlienka a samotná realizácia VS Nováky – VN N. Rudno, ktorá vzišla z požiadaviek povojnového obdobia si vyžaduje svoju pozornosť a uznanie pre projektantov tej doby, čoho dôkazom je aj viac ako 70 ročná bezpečná prevádzka.

AUTOR

Jozef Molnár, Slovenský vodohospodársky podnik, š. p., Povodie dolného Váhu, OZ, Nábrežie Ivana Krasku 3/834, 921 80 Piešťany, Slovensko, jozef.molnar@svp.sk

VODNÁ STAVBA RUŽINÁ, OPRAVA OBJEKTOV

THE RUŽINÁ WATER STRUCTURE, REPAIR OF OBJECTS

Gabriel Angyal¹, Tomáš Ič²

Abstrakt: Vodná stavba Ružiná bola do trvalej prevádzky uvedená v roku 1974. Po 45 rokoch prevádzky si zub času vybral svoju daň na technickom stave jednotlivých objektov. Na vodnej stavbe sa to prejavilo na stave betónových a kovových konštrukcií ako aj na ovládacích prvkoch. Príspevok popisuje prípravu na komplexnú opravu, ako aj priebeh samotnej opravy vodnej stavby.

Abstrakt: The Ružiná water structure was put into permanent operation in 1974. After 45 years of operation, the ravages of time have taken their toll on the technical condition of individual buildings. At the water construction, this was reflected in the condition of the concrete and metal structures as well as the control elements. The article describes the preparation for a complex repair, as well as the course of the repair of the water structure itself.

1 ÚVOD

Vodná stavba Ružiná [1] je vybudovaná na vodnom toku Budinský potok, ktorý je pravostranným prítokom Krivánskeho potoka. Nachádza sa v Banskobystrickom kraji v okrese Lučenec, v katastrálnych územiach obcí Ružiná a Divín.

Výstavba priehrady Ružiná prebiehala v období rokov 1969 – 1973. V roku 1974 bola uvedená do skúšobnej prevádzky a následne aj do trvalej prevádzky. Z hľadiska odborného technicko-bezpečnostného dohľadu sa jedná o vodnú stavbu II. kategórie. Účelom tejto vodnej stavby, s celkovým objemom viac ako 15 miliónov m³, je akumulácia vody pre zabezpečenie úžitkovej vody pre priemysel a poľnohospodárstvo, vyrovnávanie nerovnomerných prietokov v Budinskom a Krivánskom potoku, zmiernenie a sploštenie povodňovej vlny, využitie hydroenergetického potenciálu v MVE, rekreácia, chov rýb.

Hlavnými objektami vodnej stavby sú: hrádza s príslušenstvom, združený funkčný objekt, zariadenia na meranie a kontrolu hladín, nádrž, privádzač Mýtina - Ružiná, malá vodná elektrárň Ružiná, malá vodná elektrárň Mýtina.

Hlavné parametre vodnej stavby a hladiny:

Dĺžka hrádze v korune	271,00 m
Kóta koruny hrádze	257,00 m n.m.
Kóta dna nádrže	235,00 m n.m.
Mín. prevádzková hladina	242,00 m n.m.
Max. prevádzková hladina	255,00 m n.m.
Max. dovolená hladina	255,60 m n.m.
Výška hrádze nad údolnou nivou	22,00 m
Celkový objem	15 548 848,00 m ³

2 VÝVOJ PROBLEMATIKY VODNEJ STAVBY

Už v čase uvedenia do trvalej prevádzky (1974) vodné dielo vykazovalo viacero nedostatkov spojených predovšetkým s nefunkčnosťou provizórneho hradenia dnových výpustov. Postupom času začalo dochádzať k degradácii aj ostatných strojno-technologických a betónových konštrukcií vodného diela. Jedným z najzávažnejších problémov v posledných rokoch bolo obtekávanie betónovej konštrukcie prístupovej a odpadovej chodby na dilatačných spojoch jednotlivých betónových blokov, čoraz viac smerom na vzdušnú stranu hrádzového telesa.

Potreba realizácie opravy vyplynula technicko-bezpečnostného dohľadu vodnej stavby Ružiná (2017) a následne aj z rozhodnutia Okresného úradu Lučenec (2018), ktorým orgán štátnej vodnej správy určil vlastníčkovi vodnej stavby (SVP, š. p.) vykonať na VS Ružiná opatrenia na nápravu, v termíne do 31.12.2021.

Za účelom zabezpečenia opráv jednotlivých objektov, SVP, š. p. pristúpil v roku 2018 k zabezpečeniu realizačnej projektovej dokumentácie, ktorá navrhla technické riešenie opráv jednotlivých funkčných prvkov priehrady. Je možné konštatovať, že rozsahom sa jednalo o generálnu opravu vodnej stavby.

3 REALIZÁCIA PRÁČ NA HLAVNÝCH OBJEKTOCH STAVBY

Odovzdanie staveniska sa uskutočnilo v máji roku 2020, ukončenie opravy bolo plánované na koniec roku 2021.

Realizácia opravy nižšie uvedených stavebných objektov si vyžiadala úplné vypustenie nádrže. Pri vypúšťaní vodnej nádrže bolo potrebné prijať opatrenia na zadržanie vody za účelom prežitia biotopov počas vypustenej nádrže v Prírodnej rezervácii Príbrežie Ružinej s 5. stupňom ochrany.

Technické riešenie opravy objektov VS bolo realizované v nasledovnom rozsahu

SO 01 Koruna hrádze, SO 02 Združený funkčný objekt, SO 03 Komunikačná a odpadná štôlna, SO 04 Strojovňa, SO 05 Výmena provizórneho hradenia, SO 06 Vývar, SO 07 Stavebná elektročasť.

3.1 KORUNA HRÁDZE

Stavebný objekt v sebe zahŕňal samostatné celky: komunikáciu na korune hrádze, účelovú komunikáciu na pravom brehu, opravu vlnolamu, brehové opevnenie pri doškoľovacom stredisku, brehový múr na pravom brehu, zábradlia.

Oprava komunikácie na korune hrádze [2] bola realizovaná v dĺžke 272,95 m (Obr. 1). Pred realizáciou nových vrstiev komunikácie sa odstránili vrstvy existujúceho chodníka, podklad sa dôsledne zhutnil. Ako zvláštny prvok ochrany komunikácie pre prípad budúceho sadania bola pod obrusnú vrstvu zabudovaná výstužná geomreža. V rámci opravy bola komunikácia rozšírená o časť pôvodného chodníka s celkovou šírkou 5,0 m. Obrusná vrstva bola vyhotovená z asfaltového betónu hr. 40 mm, s celkovou hrúbkou súvrstvia 250 mm. Obdobne bola urobená výmena obrusnej vrstvy účelovej komunikácie na pravom brehu.

Pri oprave vlnolamu [2] prebehla demontáž zábradlia, vybúranie pôvodného vlnolamu, následne sa vykonala betonáž nových segmentov vlnolamu a príprava povrchu na finálnu úpravu. Nové segmenty boli vyhotovené z vodostavebného železobetónu na vrstve existujúceho podkladového betónu. Dilatačné škáry medzi jednotlivými segmentami boli utesnené trvale pružným tmelom. Nasledovala celoplošná hydroizolácia a zjednotenie povrchovej úpravy všetkých segmentov pružnou cementovou izoláciou.

Opravy ostatných betónových častí pozostávali zo zosekania nesúdržného, uvoľneného, poškodeného podkladu, demontáži zábradlia, následnej celoplošnej prípravy podkladu otryskaním vysokotlakým vodným lúčom (min. 500 bar). Nasledovala lokálna ochrana výstuže cementovým antikoroziným náterom s inhibítorom korózie, dobetónovanie a reprofilácia poškodených a pohľadových častí betónov. Nakoniec sa vykonala montáž nového zábradlia.



Obr. 1 *Komunikácia na ochrannej hrádzi po oprave*

3.2 ZDRUŽENÝ FUNKČNÝ OBJEKT (ZFO)

Pod tento stavebný objekt spadá šachtový priepad so vstupnou šachtou a vonkajšie betónové povrchy strojovne dnových výpustov. Predmetom projektu bola oprava existujúcich objektov v nevyhovujúcom technickom stave, rešpektujúca riešenie pôvodného stavu (Obr. 2).

Oprava vnútorných a nadzemných betónových povrchov a vonkajších stien šachty a priepadu sa realizovala na báze sanačného systému SIKA vrátane finálnych zjednocovacích náterov . Oprava vnútorných stien šachty na priepad sa urobila zosekaním a otryskaním vysokotlakým vodným lúčom (500 bar), po ktorom nasledovala lokálna ochrana výstuže s následnou reprofiláciou betónovej konštrukcie. Finálne farebné zjednotenie povrchu sa vykonalo dvoma vrstvami paropriepustným akrylovým náterom odtieň podľa požiadavky investora.



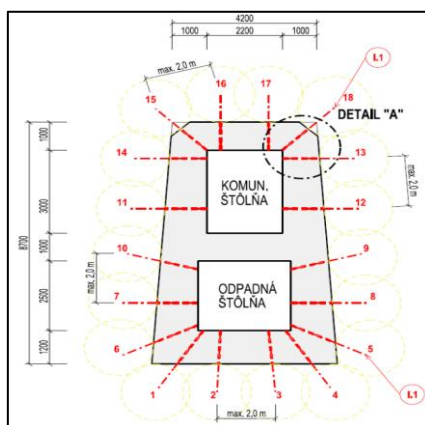
Obr. 2 *Združený funkčný objekt po oprave*

3.3 KOMUNIKAČNÁ A ODPADNÁ ŠTÔLŇA

Realizácia opravy objektu [2] zahrňovala práce na sanácii priesakov, ktoré sa objavovali v komunikačnej štôlni v miestach dilatácii. Na lokalizáciu priesakových ciest vody do dilatačných škár bol vyhotovený geofyzikálny prieskum, ktorý bol podkladom pre určenie sanačných opatrení. Na základe vyhodnotenia geofyzikálneho prieskumu bolo zistené, že v telese hrádze neboli zaznamenané žiadne anomálie v nameraných hodnotách merného odporu, ktoré by mohli byť interpretované ako priesaky a ani iné anomálie, ktoré by mohli indikovať priesakové cesty vody do dilatačných škár na vzdušnej strane hrádze. Na základe uvedeného zistenia sa dospelo k záveru, že priesaková voda zaznamenaná v dilatačných škárach prúdi na rozhraní železobetónovej štôlne a ílovito-piesčitého telesa hrádze.

Sanácia bola vyhotovená pomocou injektáží, ktoré mali vytvoriť bariéry, prepojujúce dve nepriepustné časti telesa hrádze a to železobetónovú konštrukciu štôlne s hlinotoílovým homogénnym telesom. Zastavenie presakovania vody do priestoru štôlne bolo realizované zhotovením vejárovitej injektáže (Obr. 3), ktoré previazali železobetónovú konštrukciu štôlne s nepriepustnou vrstvou homogénnej hrádze vyhotovenej z hlinotoílového materiálu. Clony majú zabrániť prúdeniu vody v medzerách medzi týmito dvomi vrstvami a eliminovať riziko vyplavovania jemných častí z homogénneho telesa hrádze. Injekčná zmes zohľadňovala miestne geologické a stavebné podmienky. Technologický postup realizácie injektáže bol realizovaný tak, aby dostatočne zabezpečil rozptyl materiálu a vytvorenie požadovaných bariér a výplne okolitého prostredia.

Po ukončení injektáže pri napúšťaní vodnej hladiny však naďalej dochádzalo k čiastočným priesakom cez dilatácie niektorých betónových blokov prístupovej a odpadnej chodby. Na základe tejto skutočnosti bolo medzi SVP, š. p., zhotoviteľom opravy a Vodohospodárskou výstavbou š. p. dohodnuté, že zhotoviteľ zrealizuje dodatočnú tesniacu clonu v blízkosti už zrealizovanej clony, pred dilatáciou blokov 5 - 6 približne v osi hrádzového telesa, čím by malo dôjsť k prekrytiu priestoru aplikácie novej a pôvodnej clony a k eliminovaniu možných neutesených miest. Technologický postup realizácie injektáže [3] bol obdobný ako pri pôvodnej injektáži, avšak v otvoroch boli osadené pakre s predĺženým aplikátorom, ktorý zasahoval cca 0,5 m za vonkajší okraj betónovej konštrukcie z dôvodu dosiahnutia čo najväčšieho priestoru aplikácie tesniacich zmesí. Bezprostredne po ukončení doplnkovej injektáže sa táto skutočnosť začala prejavovať čiastočnou elimináciou množstva a rozsahu priesakov, pričom ich ďalší vývoj bude potrebné odsledovať a následne vyhodnotiť, počas dlhšieho časového obdobia.



Obr. 3 Pričný rez štôľňami s naznačením vejárovitej injektáže

3.4 STROJOVNĀ

V rámci opravy objektov VS Ružiná došlo aj k oprave celého armatúrneho a strojného vybavenia strojovne [2] (Obr. 4). V minulosti boli armatúry a potrubia v zlom stave podliehajúce korózii na povrchu vplyvom vlhkosti prostredia.

Z toho dôvodu boli vymenené všetky armatúry ako uzávery, klapky, kuželové uzávery. Všetky obnovované potrubia boli mechanicky očistené od hrdze a následne bola na celom ich povrchu zrealizovaná obnova náterov. V rámci tohto objektu boli ďalej nainštalované nové zábradlia, schodiská, rebríky a plošiny z kompozitného materiálu, ktoré sú kotvené cez chemické kotvy do betónových povrchov.



Obr. 4 Objekt strojovne po oprave

3.5 VÝMENA PROVIZÓRNEHO HRADENIA

Výmena provizórneho hradenia [2] riešila obnovu provizórnych hradení (Obr. 5), hrablic a hrablicového krytu nachádzajúcich sa pred vtokovými kusmi na vypúšťacích potrubiach. Tieto zariadenia boli nefunkčné, preto bola potrebná ich výmena. Pred začatím prác na výmene provizórneho hradenia a hrablic bolo potrebné odťažiť časť dnových nánosov nachádzajúcich sa v tomto priestore. Hradenie vtokového otvoru je zabezpečené pomocou ocelevej hradiacej tabule, ktorá sa pohybuje pomocou sústavy kladiek a navijaku. Obnova tohto zariadenia spočívala v celkovej výmere všetkých častí provizórneho hradenia okrem častí, ktoré sú pevne ukotvené do železobetónovej konštrukcie. Všetky novo inštalované časti, ktoré pôvodne boli oceľové boli nahradené nerezovými.



Obr. 5 Nové tabule provizórneho hradenia

3.6 VÝVAR

Oprava vývaru [2] prebehla v rozsahu: demontáž zábradlia, zosekanie nadmurovky na korune vývaru, odstránenie poškodeného betónu vo vývare, celoplošným otryskaním vysokotlakým vodným lúčom (min. 500 bar) a nadbetónovaním koruny vývaru. Na opravu bol použitý vodostavebný železobetón s hrúbkou cca 100 mm. Finálna hydroizolácia a zjednotenie povrchovej úpravy koruny, zvislých a šikmých plôch vývaru pružnou cementovou izoláciou. Do opráv v rámci tohto stavebného objektu bola zahrnutá aj oprava vstupného portálu do komunikačnej štôlne. Reprofilácia existujúcej betónovej konštrukcie a ochrana viditeľnej časti podhl'adu betónových prefabrikátov prekrytia portálu sa vykonala na báze sanačného systému SIKA. Na objekte vývaru bolo pôvodné zábradlie vymenené za nové z kompozitu.

3.7 STAVEBNÁ ELEKTROČASŤ

Stavebná elektročasť [2] riešila výmenu stavebných elektrorozvodov a výstavbu nových káblových trás v združenom funkčnom objekte (ZFO), nový elektrický rozvádzač rmo-2, istené vývody pre napájanie uzáverov, klapiek a provizórneho hradenia, nové káblové privody NN z prevádzkového objektu k vonkajšiemu osvetleniu hrádze a k elektrickým bránam na hrádzi, pripojenie ZFO z náhradného zdroja ASVaV.

4 ZÁVER

Predmetom projektu bola oprava existujúcich objektov v nevyhovujúcom technickom stave, ktorá v podstatnej miere rešpektovala funkčné riešenie pôvodného stavu. V prípade, že by na nádrži neprebehli opravné práce, hrozilo, že by vodná stavba nebola funkčná a prevádzkyschopná.

ZOZNAM LITERATÚRY

- [1] SVP, š. p. (2019): *Dočasný manipulačný poriadok pre vodnú stavbu VD Ružiná, na vodnom toku budinský potok v r. km 1,773, 48 s.*
- [2] Bursa O., Bursa M., Haraga R., Motyka T. (2021): *VS Ružiná – oprava objektov, Dokumentácia skutočného vyhotovenia stavby: Banská Bystrica 2021.*
- [3] Bursa O., Bursa M., Haraga R., Motyka T. (2021): *VS Ružiná – oprava objektov, SO 03 Komunikačná a odpadná štôlna, Revízia č. 1: Banská Bystrica Marec 2024.*

AUTORI

Autor 1: Ing. Gabriel Angyal, Slovenský vodohospodársky podnik, š. p., Povodie Hrona, odštepny závod, Banská Bystrica, pracovisko: Fil'akovská cesta 45, 984 80 Lučenec, Slovensko, gabriel.angyal@svp.sk

Autor 2: Ing. Tomáš Ič, Slovenský vodohospodársky podnik, š. p., Povodie Hrona, odštepny závod, Banská Bystrica, pracovisko: Partizánska cesta č. 69, 974 98 Banská Bystrica, Slovensko, tomas.ic@svp.sk

VODNÍ DÍLO HARCOV – ZKUŠENOSTI PROVOZOVATELE A PRACOVNÍKŮ TECHNICKOBEZPEČNOSTNÍHO DOHLEDU Z PROBÍHAJÍCÍ REKONSTRUKCE

HARCOV DAM – EXPERIENCE OF THE OPERATOR AND DAM SAFETY ENGINEERS GAINED FROM THE ONGOING RECONSTRUCTION

Pavel Svatoš¹, Jiří Kremsa², Tomáš Klemša³

Abstrakt: Vodní dílo Harcov v Liberci bylo vybudováno v letech 1902 - 1904 především za účelem snížení povodňových průtoků a zajištění částečné ochrany území pod nádrží před účinky povodní. Po více než stoletém provozu bylo nutné přistoupit k celkové rekonstrukci vodního díla s ohledem na splnění platných požadavků na kapacity objektů pro převádění vody, zejména pak pro převedení kontrolní povodňové vlny. Nepříznivým faktem byly rovněž i dlouhodobě zvýšené vztlaky na základové spáře hráze a průsaky objevující se na vzdušném líci. V současné době probíhá realizace rekonstrukce hráze a objektů VD Harcov, při které dojde k zásadní změně parametrů tohoto historického vodního díla. Stavebně technické řešení spočívá zejména ve zkapacitnění spodních výpustí a korunového bezpečnostního přelivu, vč. úpravy kaskády pod přelivem. Pro omezení účinků vztlaku na těleso hráze je zásadním opatřením utěsnění podloží pomocí injekční clony budované z nové injekční chodby u návodní paty hráze. Příspěvek se věnuje technickému řešení a zkušenostem z provádění rekonstrukčních prací.

Abstract: The Harcov dam in Liberec was built between 1902 and 1904 primarily for the reducing flood flows and flood mitigation in the area below the dam. After more than a century of operation, it was necessary to carry out overall reconstruction of this water structure to fulfill the recent requirements for hydraulic capacities of the outlet structures (bottom outlets and spillway), especially for the control flood flows. An unfavorable fact is also the long-term increased uplift on the foundation joint of the dam body even during normal water level in the reservoir. Currently, a complex reconstruction works on the Harcov dam are ongoing. During this reconstruction there are significant changes of the structures and objects parameters of this historical dam. The technical solution mainly includes increasing the capacity of the outlet structures, as well as the modification of the stepped paved chute. The uplift on the foundation joint of the dam body is going to be reduced by sealing of the subsoil with the grout curtain made from the new injection gallery built along the upstream toe of the dam. The contribution describes the technical solution and experience gained from ongoing reconstruction works.

1 ÚVOD

Pro vodní dílo Harcov v Liberci, jehož vzdouvací konstrukci tvoří více než 100 let stará zděná hráz z lomového kamene, byl v roce 2006 zpracován posudek bezpečnosti vodního díla za povodní [1]. Podkladem pro zpracování posudku byly hydrogramy teoretických povodňových vln s dobou opakování 10 000 let (PV_{10000}) odvozené z jednodenní resp. dvoudenní srážky stanovené v rámci hydrologické studie ČHMÚ [2]. Z výsledků transformace povodňových vln je patrné, že teoretické povodňové vlny nelze v ochranném prostoru nádrže transformovat a v obou případech dojde k přelítí koruny hráze o 70 resp. 20 cm. Hlavním důvodem negativního výsledku posudku je nedostatečná kapacita objektů pro převádění vody, které nejsou dostatečné i na převedení méně extrémních průtoků v hodnotách pod teoretickou PV_{100} . Nezbytné bylo vyřešit i problém dlouhodobě zvýšených vztlaků v oblasti základové spáry hráze a plošného zamokření vzdušného líce způsobeného průsakem zdiva.

Pro zajištění bezpečnosti tohoto historického vodního díla při extrémních povodňových situacích, i pro zajištění jeho bezpečnosti a dlouhodobé životnosti v normálním provozním stavu, bylo nutné přistoupit k návrhu opatření, které by zvýšily stabilitu tělesa hráze a kapacitu objektů pro převádění povodňových průtoků. Technické provedení, efekt a předpokládané finanční náklady byly variantně rozpracovány ve Studii opatření z roku 2008 firmou VD-TBD [3]. Výsledky provedených stabilitních výpočtů prokázaly, že stupeň bezpečnosti proti posunutí a překlopení tělesa hráze nedosahuje hodnot požadovaných normou při hladině v úrovni koruny hráze. Na základě zjištěných skutečností bylo studií mimo jiné doporučeno zvýšit kapacitu korunového bezpečnostního přelivu snížením úrovně přelivné plochy a snížit vztlaky pod hrázi utěsněním podloží pomocí injekční clony budované z nové injekční chodby navržené u návodní paty hráze. V roce 2010 bylo výše uvedené opatření na zkapacitnění bezpečnostního přelivu ověřeno fyzikálním hydraulickým modelem sestaveným fakultou stavební ČVÚT v Praze [4]. Následně byl v roce 2012 proveden inženýrsko-geologický průzkum (IGP) firmou AZ CONSULT [5]. Posouzení a výběr vhodné varianty rekonstrukce vodního díla a sanace podloží hráze bylo provedeno zpracováním Návrhu opatření z roku 2015 společností VD-TBD [6] se zohledněním výše popsaných průzkumů. V rámci zpracování projektové dokumentace pro stavební povolení společností VALBEK [7] byl v roce 2017 realizován doplňkový IGP firmou AZ-GEO [8]. Prováděcí dokumentace byla zpracována v roce 2020 společností VALBEK [9], která byla použita jako zadávací dokumentace pro výběr zhotovitele. Stavební práce byly zahájeny v roce 2022, po více než 15 letech příprav (Obr. 1). Generálním zhotovitelem je společnost GARDENLINE ve sdružení s firmou YUCON CZ. Předpoklad dokončení stavby je duben 2025.



Obr. 1 Pohled na hráz v průběhu realizace akce

Po vypuštění nádrže a odstranění předsypu chránícího návodní líc se ukázalo, že historická dokumentace, která sloužila jako jeden z hlavních podkladů pro návrh technického řešení rekonstrukce, neodpovídá zcela skutečnosti. V rámci zpracování realizační dokumentace bylo nezbytné, především u některých stavebních objektů, zohlednit jejich skutečný stav. Dále jsou zmíněny pouze stavební objekty, u kterých jsou změny nejvýznamnější.

2 STAVEBNÍ OBJEKTY

Předsyp a jímka

Stavební jímka, která je navržena jako ochrana staveniště před dvouletou vodou je vytvořena z odtěženého zemního předsypu hráze. Pro převod vody slouží potrubí DN 1600 s vtokovým ŽB objektem u návodní paty hrázky, které prochází přes sypanou homogenní ochrannou hráz s návodním fóliovým těsněním krytým kamenným pohozením. V chráněném prostoru je potrubí zaústěno do rozdělovacího objektu za vzdušnou patou hrázky. Z rozdělovacího objektu jsou vedena dvě obetonovaná potrubí DN 1000 do vtokové části přívodních štol ke spodním výpustem. Vtoky do těchto dvou potrubí je možné hradit deskovými šoupátky s elektromechanickým pohonem. Rozdělovací objekt je vybaven obdélníkovým otvorem hrazeným téměř na celou výšku jedné stěny stavidlem také s elektromechanickým pohonem. Ten bude vyhrazen v případě nutnosti řízeného zatopení chráněného prostoru z důvodu nebezpečí zatopení přelitím jímky.

Oprava PB zdi v zátopě

Projektová dokumentace byla zpracována jako oprava formou odstranění stávající značně poškozené kamenné zdi na pravém břehu nádrže a její znovuzřízení v původních parametrech. V rámci stavebních prací na odstranění původní konstrukce bylo zjištěno, že její obnova v původních parametrech, při dodržení současných požadavků na zajištění stability není možná. Proto byl tento stavební objekt nakonec realizován jako investice. Vzhledem k tomu, že menší část zdi v blízkosti hráze má být na základě požadavků města Liberec upravena pro rekreaci obyvatel jako pláž s atypickými požadavky na technické parametry a vybavenost (rozměry kamenů, schodiště, zabudované osvětlení) bylo nutno upravit v souladu se smlouvou i termín dokončení této části břehové úpravy.

Odbahnění nádrže

Odtěžení sedimentů z jejich zatopeného prostoru vycházelo ze zaměření sedimentů potápěči při plném napuštění nádrže formou mechanického sondování mocnosti nánosů v cca 20 příčných profilech. Po vypuštění nádrže a následném odtěžení části nánosů v prostoru dočasné jímky bylo zjištěno, že se nejedná o nános jemného sedimentu v jedné vrstvě. Sediment byl rozdělen mezilehlou vrstvou zvětralé žuly (perku), která má výrazně větší pevnost a odpor proti vniknutí sondy. Tato skutečnost nemohla být pomocí sondování za pomoci potápěčů zjištělná. Mocnost nánosů, a tím i jejich objem, byl výrazně větší oproti předpokladům projektové dokumentace. Historická dokumentace cca 120 let stará, která by dokládala původní konfiguraci dna nádrže, nebyla k dispozici. Před vypuštěním nádrže tedy nebylo možné porovnat zaměřenou úroveň dna před zahájením těžby sedimentů s původní úrovní dna. Na základě sondování bylo stanoveno množství sedimentů na 26 180 m³. Vzhledem k tomu, že další vypuštění nádrže není v současné době plánováno a těžba sedimentů při provozní hladině uprostřed města bylo shledáno nereálným, bylo rozhodnuto odtěžit sedimenty v celém objemu. Po ukončení prací byl skutečný objem vytěžených sedimentů vyčíslen na 51 180 m³.

Vzdušní líc

Stavení práce na vzdušném líci spočívaly především v přespárování kamenného zdiva z trubkového lešení, postaveného na celou výšku vzdušného líce. Po zahájení prací bylo nutno zredukovat předpokládaný rozsah spárování především z hlediska hloubky odstranění původní spárovací hmoty. Důvodem byla značná pevnost spárovací hmoty v kombinaci s velmi proměnlivou šířkou spár a požadavkem na zachování kamenů bez poškození hran. Dalším specifikem bylo dořešení velikosti tlaku vody pro očištění kamenů a spár tak, aby nedošlo k většímu poškození a očištěná plocha byla pohledově jednotná.

Návodní líc

Projektové technické řešení vycházelo z předpokladu potřeby obnovy nefunkčního těsnícího prvku, který tvoří vrstva cementotrasové omítky na kamenném zdivu návodního líce s dvojitým nátěrem siderostenu (lak z parafínu, kaučuku, dehtových smol a olejů s přísadou síry). Projekt předpokládal nutnost odstranění nátěru včetně této vrstvy z důvodu její degradace po více než 100 letech provozu VD. Po odstranění této vrstvy má obnova těsnící funkce zajistit stříkaná izolace na bázi EWA polymerů nanesená na vyrovnávací vrstvu jemnozrnného stříkaného betonu a proti mechanickému poškození chráněná 10 cm silnou vrstvou betonu stabilizovanou kotvenou KARI sítí. Po odtěžení předsypu bylo zjištěno, že cementotrasová omítka má nejen vyhovující rovinnost potřebnou pro nástřik izolace, ale i soudržnost s lícovým kamenným zdivem, ověřenou odtrhovými zkouškami. Pro aplikaci stříkané izolace bylo nutné vysokotlakým vodním paprskem odstranit siderostenový nátěr, který je jako podklad pro stříkanou izolaci nevhodný. Na základě praktických zkoušek bylo zjištěno, že použití vysokotlakého vodního paprsku je efektivní při použití tlaku 2 500 barů. Další změnou, kterou je nutno v rámci realizační dokumentace řešit je jiný rozsah pohledového řádkového zdiva v horní části návodního líce. Jeho plocha je výrazně menší, než vyplývalo z historické dokumentace.

Zdivo hráze

Po vyhodnocení výsledků vodních tlakových zkoušek (VTZ) provedených při IGP bylo prokázáno, že zdivo hráze má velmi vysokou propustnost a lze ho hodnotit jako nekvalitní především z důvodu vysoké degradace pojiva. Tato degradace měla být způsobena ztrátou funkce návodního těsnění a zatékáním srážkových vod do tělesa hráze přes jeho korunu nefunkční hydroizolací. Z tohoto důvodu je řešena nejen obnova obou těsnících prvků, ale i zlepšení mechanicko-fyzikálních vlastností pojiva provedením injektáže hmotami na bázi cementu, případně polyuretanu. Po vyhodnocení injektáží na zkušebním poli bylo zjištěno, že je možné změnit projektem předpokládané množství injekční směsi na metr vrtu ze 157 l na cca 50 l a max. injektážní tlaky zvýšit z 0,2 MPa na 1,3 MPa. Dále se prokázalo, že použití chemických hmot je bezpředmětné a injektáž může být kompletně realizována výrazně levnějšími hmotami na bázi jílocementu. Podrobný popis zjištěných skutečných parametrů zdiva hráze na základě provedení zkušebního injektážního pole (vzestupná injektáž přes jádrové vrty s VTZ při použití Jahdeho kritéria) je předmětem samostatného příspěvku Ing. Richtra z firmy VD-TBD, který je dozorem investora při všech injektážních pracích.

Injekční chodba

Injekční chodba (ICH) celkové délky cca 130 m je vedena před návodním lícem mírně pod úroveň základové spáry tělesa hráze. Vstupní šachta se nachází na pravém břehu u nového provozního objektu odkud ICH pokračuje k levému závězu, kde je ukončena na rozhraní tělesa hráze a bezpečnostního přelivu. Jedná se o ŽB konstrukci dělenou těsněnými dilatačními spárami na jednotlivé bloky délky cca 6 m. Injekční chodba je realizována v převážné délce otevřeným výkopem provedeném pomocí mechanizace a trhačích prací. Betonáž chodby bude provedena na podkladní vyrovnávací beton. Pouze v místě křížení ICH s přítokovými štolami do manipulačních věží spodních výpustí bude provedeno poddolování pod ochranou „deštníku“ z vodorovných mikropilot nad profilem výrubu. Výrub bude stabilizován v průběhu provádění důlní výztuží BTX a primárním stříkaným betonem s KARI sítí. Po částečném provedení otevřeného výkopu v blízkosti stavebních konstrukcí spodních výpustí bylo zjištěno, že založení věží není až do úrovně základové spáry tělesa hráze a bylo nutné přistoupit ke stabilizaci prostoru v blízkosti výrubu, který je tvořen nekvalitním betonem, jednotlivými kameny a silněn zvětralou žulou. Stabilizace byla provedena stříkaným betonem s KARI sítí a injektovanými zemními hřebíky délky 4 m.

Injekční clona

Injekční clona (IC) má být nepropustným prvkem, která bude eliminovat proudění vody pod základovou spáru hráze a tím výrazně snižovat hydrostatické vztahové síly působící na těleso hráze. Na základě výsledků zkušební injektáže bylo nutno přehodnotit nejen předpokládaný technologický postup, který předpokládal pouze injektáž vzestupnou, ale bylo možno změnit i navržené injektážní hmoty, což znamená výrazné úspory materiálových nákladů. Další změnou provedenou v rámci realizační dokumentace (RDS) byla změna trasy IC na levé straně v místě prvního a druhého pole korunového bezpečnostního přelivu. Tato změna znamená výrazné snížení nákladů na zajištění stability místní komunikace, která je vedena v těsné blízkosti levého závazání hráze do terénu. Podrobný popis zjištěných skutečných parametrů v trase IC na základě provedení zkušební injektážní pole, které vedly k významným změnám v RDS (použití jádrových vrtů a sestupné injektáže v celém rozsahu clony) je předmětem samostatného příspěvku Ing. Richtra z firmy VD-TBD.

Drenážní vrty

Ze stabilitního posudku tělesa hráze provedeného firmou VD-TBD jako součást „Návrhu opatření k zajištění bezpečnosti vodního díla při povodních“ [6] vyplynulo, že stupeň bezpečnosti proti posunutí za extrémního zatěžovacího stavu při průchodu kontrolní povodně je dokonce nižší než 1. Výrazným negativním faktorem vstupujícím do výpočtu jsou vztahy na základové spáře tělesa hráze. Pro jejich monitorování a v případě nutnosti krátkodobého snížení bude sloužit 5 ks odlehčovacích vrtů, které budou vedeny z ICH pod mírně sestupným úhlem pod základovou spáru tělesa hráze. S ohledem na výskyt silně zvětralých partií liberecké žuly, u které se při již provedených vrtných pracích prokázala výrazná nestabilita ostění vrtu, bylo nutno upravit i provedení a vystrojení vrtu.

3 ZAŘÍZENÍ A MĚŘENÍ TBD

TBD po dobu stavby

Před zahájením stavby bylo VD Harcov vybaveno zařízením pro sledování průsaků tělesem hráze, tlakových poměrů v podloží hráze a deformací hrázových bloků a jejich podloží. Měření prováděla obsluha VD a geodet státního podniku Povodí Labe s četností dle platného Programu TBD pro trvalý provoz vodního díla [10]. V současné době se výkon TBD řídí Programem TBD platného pro období změny stavbou vodního díla [11]. Oproti TBD prováděnému v trvalém provozu vodního díla je zvýšena četnost vybraných měření, operativnost předávání výsledků měření a zavedena jsou rovněž nová měření a pozorování zaměřená na hodnocení postupu stavby. Specializovaná geodetická měření a hodnocení výsledků TBD je prováděno pracovníky pověřené organizace VD-TBD. Vlastní stavební práce (výstavba injekční chodby, vstupní šachty, injekční clony, práce na předsypu atp.) vyžadují rozsáhlý a organizovaný systém průzkumu, sledování účinků tržacích prací, hloubení, ražby a injektáží a v neposlední řadě i kontroly provedených prací. Pro zajištění těchto specializovaných činností má zhotovitel případně investor stavby smluvně zajištěnou součinnost několika odborných organizací (vrtný a injektážní dohled, tržací práce, stavební laboratoře, atp.).

Deformace hrázového tělesa

Při rekonstrukci koruny hráze a přespárování zdiva vzdušního líce došlo ke zničení nivelačních bodů, pro sledování svislých posunů metodou VPN, a terčíků pro měření vodorovných posunů metodou záměrné přímky. Kontrolní výškové body byly nově instalovány pod parapetní kvádry koruny hráze na vzdušném líci. Pro posouzení vlivu stavby byly u paty vzdušního líce a na věžích v úrovni koruny hráze instalovány pomocné čepové značky. Terčíky byly nahrazeny nerezovými trny pro hranoly Leica instalované pod horní římsu koruny hráze na vzdušném líci a zdvojenými fixními minihranoly osazené ve středu hráze na vzdušném líci. Vodorovné posuny

jsou nově měřeny metodou nejmenších čtverců pro vyrovnání geodetické sítě. Dosavadní vztažná síť tvořená třemi původními pilíři na obou březích byla rozšířena o dva stávající pilíře v obou zavázáních koruny hráze s nově instalovanou boční centrací. Tato soustava vztažných bodů byla doplněna dvěma pomocnými body (osazení odraznými hranoly) na pilířích koruny hráze, které tvoří původní body záměrné přímky. Stabilizované body vztažné sítě byly dále doplněny čtyřmi zajišťovacími body instalovaných mimo zónu předpokládaných deformací hráze. Po odtěžení předsypu hráze a části nánosů v prostoru ochranné jímky byly instalovány dočasné nivelační body u pravé návodní paty hráze, v přítokových štolách spodních výpustí a u paty manipulačních věží. Výsledky měření svislých a vodorovných posunů potvrzují stabilní chování hráze zejména v jejím středu. Vliv stavebních prací se tak zatím projevuje minimálně, pouze v krajích hráze a především na pravé straně se ukazuje vliv odtěžení předsypu. Větší posuny se předpokládají po odkrytí návodní paty hráze, provádění injekčních prací u návodní paty hráze a budování injekční štoly.

Náklony návodních věží spodních výpustí

Před vypuštěním nádrže byly uvnitř věží spodních výpustí v úrovni koruny hráze osazený clinometrické základny pro sledování jejich náklonů. Výsledky měření ukazují shodu s prováděnými geodetickými měřeními na koruně hráze. Ve směru toku se v zimních měsících projevuje na obou základnách náklon po vodě vlivem ochlazení hráze. Posuny ve směru kolmo na tok dosahují polovičních hodnot naměřených maxim ve směru toku a není na nich patrný cyklický režim teplotního zatížení.

Deformace přítokových štol

Po převedení vody do pravé spodní výpusti na počátku stavby, byla při kontrole levé přítokové štoly zjištěna trhlinka mezi kamenným zdivem štoly a cihelnou vyzdívkou základu věže spodní výpusti. Z důvodů neznalosti založení objektu a návrhu ražby injekční štoly pod objektem nátoky, byla na spáru ve stropě osazena deformatrická základna VR3D. Později byla tato základna osazena do stejného místa i v pravé přívodní štole po převedení vody do levé výpusti. Ve směru vodorovném (dx) bylo zjištěno sevření spáry o cca 1,0 mm (skokově od srpna 2023). Vysvětlení toho jevu je možné přisoudit prohřátí konstrukce po létě, vyloučit nelze ani poškození základny stavbou. V ostatních směrech (dy) a (dz) jsou pohyby na prasklé spáře minimální.

Tlakové poměry

Tlakové poměry v podloží hráze jsou sledovány pomocí vztlakoměrných resp. odlehčovacích vrty a pozorovacích sond umístěných na koruně hráze, v chodbě spodních výpustí, u vzdušní paty hráze a v podhráží. Vrty na koruně hráze byly sledovány do poloviny března 2023. Dále jejich sledování nebylo možné z důvodu rozebírání koruny hráze a ucpání zhlaví. Vztlakoměrné vrty v podhráží resp. v chodbách spodních výpustí byly v době vypouštění nádrže měřitelné do konce září 2022. Měřitelné po celou dobu stavby jsou odlehčovací vrty v podhráží, které reagovaly na vypouštění nádrže poklesem. Po vypuštění nádrže se na vrtech neprojevovalo žádné významné kolísání hladiny a to až do poloviny července 2023. Pak se začal projevovat vliv stavebních prací v podhráží u výtoku z levé spodní výpusti (otevření paženého výkopu) a došlo k poklesu hladiny. Během druhé poloviny prosince 2023 při neprobíhající stavební činnosti se hladina vody ve všech odlehčovacích vrtech vrátila zhruba na úroveň ze září 2022 po vypuštění nádrže. Zpětné nastoupání vody v těchto vrtech bylo pravděpodobně zapříčiněno i zvýšenými odtoky na konci prosince 2023.

Průsakové poměry

Průsaky hrázovým tělesem a podložími jsou měřeny objemovou metodou na vyústění svislého drenážního systému v chodbách spodních výpustí. Velikost průsaku v pravé chodbě vykazuje přímou závislost na hladině vody v nádrži, po vypuštění nádrže průsak zmizel. Naopak, hodnota průsaku v levé chodbě na snížení hladiny vody v nádrži během vypouštění, takřka nereagovala. Průsak vymizel po vypuštění nádrže o 1 měsíc později než průsak v pravé chodbě. Předpokládá se, že během provádění injekčních prací z koruny hráze dojde k ucpaní těchto drenážních systémů v celém rozsahu.

ZOZNAM LITERATURY

- [1] *VODNÍ DÍLA – TBD a. s., Ing. J. Chroumal (2006): Posouzení bezpečnosti vodního díla při povodních, Praha.*
- [2] *ČHMÚ, Ing. Radovan Tyl, Ing. Miloň Boháč (2005): Hydrologická studie pro VD HARCOV - Průběh teoretické povodňové vlny PV10000 určené deterministickým přístupem, Praha.*
- [3] *VODNÍ DÍLA – TBD a. s., Ing. D. Richtr, Ing. T. Klemša (2008): Studie opatření k zajištění bezpečnosti vodního díla při povodních, Praha.*
- [4] *ČVÚT v Praze, fakulta stavební, katedra hydrotechniky, doc. Ing. Ladislav Satrapa, CSc. a kolektiv (2010): Hydrotechnický výzkum vodního díla Harcov, Praha.*
- [5] *AZ CONSULT, spol. s.r.o., Mgr. K. Alföldi a kol. (2012): IG průzkum „VD Harcov, zajištění bezpečnosti vodního díla za povodní“, Ústí nad Labem.*
- [6] *VODNÍ DÍLA – TBD a. s., Ing. David Richtr, Ing. Tomáš Klemša (2015): Návrh opatření k zajištění bezpečnosti vodního díla při povodních, Praha.*
- [7] *VALBEK spol. s.r.o. (2017): dokumentace pro stavební povolení „VD Harcov, zajištění bezpečnosti vodního díla za povodní“, Ústí nad Labem.*
- [8] *AZ GEO, s.r.o., Ing. R. Králik (2017): doplňkový inženýrsko-geologický průzkum „VD Harcov, zajištění bezpečnosti vodního díla za povodní“, Ostrava.*
- [9] *VALBEK spol. s.r.o. (2020): dokumentace pro provedení stavby „VD Harcov, zajištění bezpečnosti vodního díla za povodní“, Ústí nad Labem.*
- [10] *VODNÍ DÍLA – TBD a. s., Ing. T. Klemša (2013): Program TBD vodního díla Harcov platný pro provoz trvalý, Praha.*
- [11] *VODNÍ DÍLA – TBD a. s., Ing. D. Richtr, Ing. T. Klemša (2020): Program TBD pro období změny vodního díla stavbou „VD Harcov, zajištění bezpečnosti vodního díla za povodní“, Praha.*

AUTORI

Autor 1: Ing. . Pavel Svatoš, Povodí Labe, státní podnik, Víta Nejedlého 951/8, 500 03 Hradec Králové, Česká republika, svatosp@pla.cz

Autor 2: Ing. . Jiří Kremsa, Povodí Labe, státní podnik, Víta Nejedlého 951/8, 500 03 Hradec Králové, Česká republika, kremsaji@pla.cz

Autor 3: Ing. Tomáš Klemša, VODNÍ DÍLA - TBD a.s., Hybernská 1617/40, Nové Město, 110 00 Praha 1, Česká republika, klemsa@vdtbd.cz

VODNÍ DÍLO MORÁVKA – REKOSTRUKCE PŘEHRADY

MORAVKA DAM – RECONSTRUKCION

Pavel Golík¹, Radomír Drochytka², Tomáš Skokan³

Abstrakt: VD Morávka bylo vybudováno v letech 1960 – 1967 na vodním toku Morávka nad stejnojmennou obcí v Moravskoslezském kraji. V letech 1996 a 1997 došlo za povodní k poruše návodního asfaltobetonového těsnícího pláště. V letech 1998 až 2000 proto proběhla celková oprava a rekonstrukce vodního díla. V rámci provádění TBD byl v roce 2012 zpracován posudek bezpečnosti přehrady za povodně. Výsledkem posudku bylo, že přehrada nevyhoví při převádění KPV_{10 000}. Příspěvek popisuje postup přípravy podkladů včetně modelového fyzikálního výzkumu, projektu, realizace a TBD stavby a výsledek ověřovacího provozu po provedené rekonstrukci.

Abstrakt: Morávka dam was built between 1960 and 1967 on the Morávka river above the village of the same name in the Moravian-Silesian Region. During the floods in 1996 and 1997, there was a failure of the instructional asphalt-concrete sealing shell. Between 1998 and 2000, the dam was completely repaired and reconstructed. In 2012, a flood safety assessment of the dam was prepared as part of the implementation of the Dam safety supervision (DSS). The result of the assessment was that the dam would not have comply with the transfer of flood Q_{10,000}. This paper describes the process of preparing documents including model physical research, project, implementation and DSS construction and result of verification operation after the reconstruction.

1 HISTORIE A ZÁKLADNÍ ÚDAJE VD MORÁVKA, 1960 – 2012

Historie

Přehrada Morávka přehrazuje stejnojmennou řeku Morávka nad obcí Morávka v podhoří Moravskoslezských Beskyd. Pramen řeky se nachází na Česko – Slovenském rozvodí pod vrcholem Sulov 943 m n.m. Přehrada byla postavena mezi léty 1961 – 1967. Jedná se o vodárenskou nádrž, která se podílí s dalšími nádržemi provozovanými v rámci vodohospodářské soustavy Povodí Odry na zásobování 1,2 mil. obyvatel Moravskoslezského kraje pitnou vodou. Nádrž garantuje odběr vody pro vodárenství v množství až 460 l/s. Celkový objem nádrže je 12 mil. m³, z toho je 5,5 mil. m³ vymezeno pro zásobování, zbývající objem 6,5 mil. m³ je vyhrazen pro retenci. Dalším významným účelem přehrady je ochrana před povodněmi. Mezi ostatní účely patří nadlepšování minimálních průtoků v řece pod nádrží v době sucha a energetické využití. Z důvodu zajištění čisté kvalitní surové vody v nádrží jsou kolem nádrže vyhlášena ochranná pásma a v nádrží se provádí účelové rybářské hospodaření. Při poslední změně manipulačního řádu přehrady bylo kromě nutné aktualizace technických údajů z důvodu rekonstrukce bezpečnostního přelivu upraveno i hospodaření s vodou ve prospěch zlepšení její kvality, které nově umožňuje zvýšit zásobní hladinu o 1 m a tím zvětšit zásobní objem až o 0,5 mil. m³.

Hráz přehrady je sypaná z místních šterků. Nejvyšší výška hráze je 39 m a délka v koruně 390 m. Hráz je založena v profilu s poměrně složitými geologickými podmínkami Karpatského flyše. Původní těsnění hráze zajišťoval návodní asfaltobetonový plášť, jehož použití v tehdejší Československu bylo unikátní.

Povodně 1996, 1997 a rekonstrukce 1998 - 2000

Geologie v kombinaci se svahovými vodami v profilu hráze byla příčinou poruchy tohoto těsnění v roce 1996 a následně po provizorní opravě těsnění i při katastrofální povodni v roce 1997. Z toho důvodu prošla přehrada v letech 1998 – 2000 rozsáhlou rekonstrukcí. Nádrž po tu dobu byla vypuštěna. Pro převádění řeky během rekonstrukce byl vybudován obtokový tunel v pravém svahu. Obtok byl následně vystrojen jako další dvě nové spodní výpusti a zároveň odvádí svahové vody. Pro ochranu násypu hráze a podloží byla v levém závězu hráze vybudována drenážní štola. Bylo obnoveno těsnění podloží v celém rozsahu původní injekční clony. Návodní těsnění hráze bylo posíleno nekrytou PVC fólií, která byla ukotvena a položena na původní asfaltobetonové těsnění. Byly vyměněny stávající regulační uzávěry na původních spodních výpustech. Byl zcela modernizován řídicí systém přehrady a zařízení TBD. Porucha těsnění paradoxně potvrdila vysokou odolnost konstrukce přehrady, která ji i přes poruchu těsnění přestála s min. poškozením i dobrou hydraulickou bezpečnost přehrady za extrémní povodně, která navíc po dokončení rekonstrukce byla posílena více než 100 % zvýšením kapacity spodních výpustí.

Povodeň 2010

Při následné povodni v roce 2010, kdy se dostal do funkce znovu i bezpečností přeliv a skluz, který jako v podstatě jediný objekt neprošel opravou nebo rekonstrukcí v letech 1998 – 2000, došlo k povrchovému poškození dna skluzu a to i díky postupující degradaci původních betonových konstrukcích. Příprava opravy skluzu a přijetí nových standardů plynoucích z doporučení ICOLD při zabezpečení přehrad za povodní logicky v roce 2012 vyústil v přijetí rozhodnutí správce přehrady Povodí Odry, státní podnik zpracovat před plánovanou opravou poškození skluzu nejprve posouzení přehrady na převedení kontrolní povodně KPV_{10 000}.

2 PROJEKTOVÁ PŘÍPRAVA REKONSTRUKCE 2012 – 2020

Posouzení bezpečnosti za povodní 2012

Posouzení se zabývalo především hydraulickými výpočty funkčních objektů nádrže, prověřením transformace KPV_{10 000} ($Q_{10 000} = 470 \text{ m}^3/\text{s}$), optimalizací manipulačních pravidel pro převádění $PV > PV_{1 000}$ ve prospěch bezpečnosti VD a stanovením mezní bezpečné hladiny (MBH).

Bylo konstatováno, že kritickým momentem pro bezpečnost VD je překročení odtoku přelivem cca $180 \text{ m}^3/\text{s}$, kdy dojde k přelévání boční zdi skluzu bezprostředně pod průchodem korunou hráze a k následnému sycení vzdušné stabilizační části hráze vodou v kombinaci s erozí vzdušného svahu hráze. K tomuto jevu by při průchodu KPV docházelo cca po dobu 8 hod v rozsahu $0 - 110 \text{ m}^3/\text{s}$.

Závěrem posudku bylo konstatováno, že VD není bezpečné za povodní ve smyslu TNV 75 2935.

Fyzikální model 2013 – 2014

Následně byla ve spolupráci investora, Laboratoře vodohospodářského výzkumu FAST VUT v Brně a projektanta prověřována a fyzikálně modelována řada úprav bezpečnostního přelivu, průchodu tělesem hráze a navazujícího skluzu.

Cílem bylo nalezení řešení, které umožní zachování stávajících betonových konstrukcí v průchodu hrází, zejména LB zdi skluzu a dále maximální využití stávajících konstrukcí přelivu. Výsledný návrh doporučil zachování půdorysného řešení spadiště i skluzu, zachování LB zdi přelivu, přelivné hrany a navazující LB zdi skluzu v průchodu hrází. Dno spadiště bylo pro zvýšení kapacity průchodu hrází navrženo snížit o 0,70 m. Pro podporu nátoku vody ke spadišti byla navržena úprava prostoru za PB zdi spadiště a vybudování sekundárního přelivu, který zajistí neovlivnění transformace $PV < PV_{100}$ (tzn. zachování stávající úrovně ochrany pro sídla v podhrází) a současně bude dostatečně kapacitní pro převádění KPV.

Skluz byl navržen ve stávajícím půdorysném uspořádání i výškovém vedení, LB zeď byla navržena 0,30 m nad max. hladinou při kulminaci odtoku během KPV, PB zeď cca 0,20 m nad hladinou Q_{1000} .

Studie proveditelnosti 2015

Studie vycházela z výsledků fyzikálního modelu, navržená koncepce byla podrobně rozpracována, zejména z hlediska technického řešení a posouzení realizovatelnosti. V rámci doplnění podkladů byl proveden mj. podrobný stavebně technický průzkum stávajících betonových konstrukcí (sumárně cca 70 m jádrových vrtů), IG průzkum v prostoru spadiště, geofyzikální průzkum spadiště, atd.

Bylo navrženo zajištění zdí spadiště a průchodů tělesem hráze horninovými kotvami, odbourání povrchu zdí v tl. 0,30 až 1,0 m, odbourání kamenného obkladu přelivné hrany, vybourání dna spadiště a výlom pod dnem. Bylo navrženo doplnění stávající injekční clony křížící spadiště. Nové dno spadiště a dobetonávka stěn byly navrženy jako masivní ŽB polorám spřažený se zachovanými částmi zdí. Přelivná hrana byla navržena jako nová kamenná konstrukce kotvená do ŽB zdí. V prostoru za PB stěnou spadiště (sníženou o cca 3,5 m) byla navržena terénní úprava omezená opěrnou ŽB zdí s kamenným obkladem. Sekundární přeliv byl navržen v prodloužení stávajícího přelivu v obdobných parametrech a materiálovém řešení.

Oprava skluzu byla prověřována variantně, s ohledem na stav betonové konstrukce a základové spáry bylo rozhodnuto o jeho kompletním odstranění a nahrazení novou konstrukcí. Oprava skluzu navazuje na stávající vývar, který byl projektem zachován bez úprav.

Projektová příprava 2016 – 2019

Dokumentace pro územní rozhodnutí v plném rozsahu přebrala technické řešení ze studie proveditelnosti a nově řešila pouze formální náležitosti pro nasycení úřadu.

Dokumentace pro stavební povolení podrobně rozpracovala technické řešení jednotlivých stavebních objektů včetně statických a stabilitních výpočtů, plánu organizace výstavby ve stísněných a prostorově komplikovaných podmínkách a zajištění bezpečnosti vodního díla po dobu realizace stavby. Most na korunu hráze, který byl v rámci předchozích stupňů projektu navržen pouze k opravě, byl po podrobném diagnostickém průzkumu navržen k odstranění a náhradě novou konstrukcí.

Dokumentace pro provádění stavby sloužila současně jako PD pro výběr zhotovitele, mj. upřesňovala požadavky na provádění bouracích prací s ohledem na ochranu zachovávaných konstrukcí, detailně řešila kamenné obklady, přelivy, atd., dočasné konstrukce, zajištění obsluhy VD a výkonu TBD po dobu stavby, atd. Zvláštní pozornost byla věnována návrhu požadavků na betonovou směs tak, aby byly minimalizovány smršťovací trhliny, zejména v plochách dobetonávek.

Zajištění bezpečnosti VD po dobu rekonstrukce

Pokud by v průběhu realizace (předpoklad 2 stavební sezóny) došlo k povodni a průtoku vody skluzem, mohlo by dojít k zásadnímu ohrožení stability hráze, bezpečnosti VD a sídel pod nádrží. Požadavkem investora bylo zajištění bezpečnosti VD po dobu realizace stavby do úrovně teoretické PV_{500} . Bylo navrženo snížení zásobní hladiny o 2,0 m, navýšení hladiny retenčního ovladatelného prostoru o 2,1 m (dočasnou ŽB úhlovou zdí v předpolí stávajícího přelivu) a úprava manipulačních pravidel ve prospěch ochrany bezpečnosti VD.

Navržené řešení bylo optimalizováno a následně testováno výpočty transformací teoretických povodní i na průchod reálných historických povodní 1997 a 2010.

Bylo ověřeno, že bezpečnost VD bude po celou dobu realizace stavby odpovídat nejméně PV_{500} a že všechny významné historické povodně by byly vodním dílem bezpečně převedeny.

3 REALIZACE STAVBY 2021 – 2023

Zhotovitelem stavby se stala „Společnost VD – Morávka“, zastoupená f. PORR a.s. Praha.

Stavba byla členěna na následující stavební objekty:

SO 01 - Sekundární přeliv

SO 02 - Bezpečnostní přeliv a spadiště

SO 03 – Skluz

SO 04 - Úpravy v LB zavázání hráze a vlnolam

SO 05a - Terénní úpravy

SO 05b - Náhradní a doprovodná výsadba

SO 06.1 - Přeložky provozních kabelových rozvodů správce VD

SO 06.2 - Přeložky zařízení TBD

SO 07 - Oprava mostu na korunu hráze

SO 08.1 - Dočasná staveništní komunikace

SO 08.2 - Dočasný sjezd z plochy zařízení staveniště

SO 01 - Sekundární přeliv

V rámci tohoto stavebního objektu byla vybudována opěrná zeď a těleso sekundárního přelivu pro navýšení kapacity nátoky k bezpečnostnímu přelivu. Dále byla provedena oprava stropu šachty na vstupním objektu do štoly PB spodních výpustí. Součástí byly rovněž terénní úpravy a oprava komunikace před mostem na korunu hráze.

ŽB opěrná zeď má délku 21,97 m a výšku 4,25 m (vč. základu). Tloušťka zdi se pohybuje v rozsahu 1,0 / 0,4 m (základ / horní hrana). Šířka/tloušťka základu je cca 3,1 / 1,0 m. Líc zdi byl opatřen kotveným obkladním lícovým zdivem z lomového kamene na cementovou maltu. Obklad byl kotven pomocí trnů vlepaných do návrtů pomocí chemických kotev. Horní hrana zdi byla opatřena kotvenou kamennou římsou s frézovanou okapovou drážkou.

Sekundární přeliv navazuje na koncovou část půdorysně zakřivené přelivné hrany bezpečnostního přelivu a v přímé pokračuje až do zavázání do zvýšeného terénu. Délka přelivu je 15,09 m, koruna přelivu je převýšena 1,0 m nad snížený terén na nátoky. Přelivná hrana sekundárního přelivu byla provedena z řezaných kamenných bloků kotvených do ŽB konstrukce.

SO 02 - Bezpečnostní přeliv a spadiště

Stěny spadiště byly částečně odbourány frézováním, dno spadiště bylo odbouráno v plném rozsahu společně se základovými ústupky zdí, následně byl proveden výlom min. 1,15 m pod niveletu nového spadiště (Obr. 1). Stěny spadiště byly kotveny trvalými tyčovými kotvami, v části LB zdi bloku 04, kde souběh s injekční štolou neumožňuje použití šikmých kotev, bylo provedeno sprážením LB zdi s blokem štoly pomocí svorníků-tyčových kotev.

Mezi bloky 02 / 03 PB a 03 / 04 LB bylo provedeno proříznutí nové dilatační spáry v celé tloušťce konstrukce.

Podkladní beton minimální tl. 0,15 m byl proveden v celé ploše dna. Pro eliminaci vztlakových sil byly v blocích 02 a 03 navrženy 2 + 2 ks trvalých tyčových kotev. Nové dno je provedeno v min. tl. 1,0 m, s dostředným sklonem 3%, v podélném sklonu 5,67%.

Pro eliminaci průsaků byla v původních zdech provedena chemická injektáž. Kotvení nové ŽB konstrukce k zachovávaným částem stávajících zdí bylo provedeno pomocí prutů betonářské výztuže, vlepaných pomocí chemických kotev.

Na horní hranu PB zdi bloků 02, 03 a částečně 04 byl kotven kamenný obklad s okapovými drážkami na spodním líci. Obdobným způsobem je řešen kamenný obklad koruny dělicího

pilíře - blok 05 LB, respektive PB zdi pod mostem - blok 06. Přelivná plocha byla provedena z řezaných kamenných bloků kotvených do ŽB konstrukce.



Obr. 1 Staveniště bezpečnostního přelivu, směrem do nádrže provizorní ŽB zed' pro zajištění ochrany stavby před povodněmi

SO 03 – Skluz

Původní konstrukce skluzu byla v celém rozsahu odstraněna. Následně byly provedeny výlomy min 1,15 m pod niveletu skluzu. Podkladní beton min. tl. 0,15 m byl proveden v celé ploše dna, povrch podkladního betonu byl upraven zazuběním (Obr. 2). Před provedením ŽB konstrukce desek dna byly provedeny trvalé tyčové kotvy, v každém bloku celkem 4 ks.

Bloky 01 a 02 byly provedeny jako ŽB polorám s novým dnem a PB zdi a masivní dobetonávkou propojenou s LB zdi. Kotvení nové ŽB konstrukce k zachovávaným částem stávajících zdí bylo provedeno pomocí prutů betonářské výztuže, vlepovaných pomocí chemických kotev. Pro eliminaci průsaků zachovávanou částí LB zdi byla provedena chemická injektáž. Bloky 03 až 17 byly provedeny jako nová ŽB polorámová konstrukce.

Na horní hranu PB i LB zdi, na horní hranu zdi vstupu do injekční chodby a na horní hranu schodiště od podesty před vstupem do chodby na korunu hráze, byl kotven kamenný obklad s okapovými drážkami na spodním líci. Podél LB zdi skluzu bylo provedeno schodiště ze štípaného kamene, svah za PB zdi skluzu byl opevněn ve sklonu 1:2,5. Skryté opevnění je tvořeno zejména prostým betonem z demolice skluzu s prolitím betonem.

SO 04 - Úpravy v LB zavázání hráze a vlnolam

V LB zavázání hráze bylo provedeno prodloužení stávajícího vlnolamu do rostlého terénu. V místě křížení vlnolamu s obslužnou komunikací bylo provedeno přerušení nového úseku vlnolamu v šířce 4,0 m s osazením mobilního hrazení.

V délce celého vlnolamu (420 m) bylo provedeno přespárování prefabrikovaných prvků vlnolamu na vzdušném a návodním líci, zejména ložná spára mezi prefabrikovanými prvky vlnolamu a kamennou římsou na obou lících konstrukce.



Obr. 2 Výlom a podkladní beton skluzu

SO 07 - Oprava mostu na korunu hráze

Délka mostu je 17,0 m, šířka 6,52 m, přes most je převáděna komunikace s šířkou vozovky 4,92 m, oboustranné monolitické ŽB římsy jsou šířky 0,80 m. Výhradní zatížitelnost 40 t. Nosnou konstrukcí mostu tvoří trámová betonová konstrukce se spřahující ŽB deskou s rozpětím 13,1 m s šikmým rovnoběžným uložením na opěrách.

Pracovníci zhotovitele se v průběhu rekonstrukce museli vypořádat s mnoha technickými „zapeklitostmi“, zejména odladění receptury betonové směsi v závislosti na měnících se povětrnostních podmínkách – zejména eliminaci rychlého vysychání při silném větru nebo oslunění, na zakázku vyráběného ocelového bednění speciálního tvaru spadiště a zkonstruování zařízení fungující jako bednění s horní posuvnou vibrační lištou, pro realizaci betonové konstrukce dna skluzu. Jako třešnička na dortu byly, kamenickou NC pilou předem nařezané pískovcové bloky bezpečnostního přelivu o váze 300 – 500kg, sesazovány s milimetrovou přesností v místě stavby.

I proto je dnes přehrada oděna do nových železobetonových konstrukcí, doplněných pískovcovým kamenným obkladem a září čistotou provedení, ladností tvarů a citlivým zakomponováním nových objektů do horského prostředí Beskyd.

Celkové investiční náklady ve výši cca 147,4 mil Kč, byly kryty Ministerstvem zemědělství ČR v rámci dotačního programu „Podpora prevence před povodněmi IV“ a z vlastních prostředků státního podniku Povodí Odry.

4 ZÁVĚR

Od dubna 2021 do listopadu 2023 probíhala na vodním díle stavba „VD Morávka – převedení extrémních povodní“ st.č. 4074, jejímž účelem bylo zkapacitnění bezpečnostního přelivu a skluzu.

Od prosince 2020 bylo vodní dílo provozováno s o 2 m sníženou zásobní hladinou v nádrži (na úroveň 504,80 m n. m.), podle dočasného Manipulačního řádu pro dobu realizace stavby. V průběhu stavby nedošlo k žádné mimořádné hydrologické situaci. Pro sledování TBD byly v průběhu stavby v přístupové chodbě do štoly, která byla dotčena bouracími pracemi, doplněny deformatrické základny, nivelační značky a základny pro sledování náklonů. Byla zvýšena četnost obsluhou prováděných měření a etap geodetických měření. K dispozici byla další geotechnická měření prováděná zhotovitelem stavby (konvergence). Dotčená část injekční clony v prostoru dna spadiště byla obnovena a těsnost ověřena vodními tlakovými zkouškami. Po skončení stavby (Obr. 3) byla nádrž zkušebně napuštěna na úroveň bezpečnostního přelivu. TBD nezjistil v průběhu stavby a při zkušebním napuštění žádné změny v chování hráze a potvrdil možnost provozování přehrady bez omezení. Přehrada po rekonstrukci je nově zařazena do I. kategorie z hlediska TBD.



Obr. 3 Letecký snímek dokončené stavby

ZOZNAM LITERATÚRY

- [1] VD Morávka – převedení extrémních povodní, stavba č. 4074 (2019), Golik VH, s. r. o., Babice nad Svitavou.

AUTORI

Autor 1: Ing. Pavel Golik, Ph.D., Golik VH, s. r. o., Babice nad Svitavou 162, 664 01 Česká republika, golik@golikvh.cz

Autor 2: Ing. Radomír Drochytka, Povodí Odry, státní podnik, Varenská 49, 702 00 Ostrava, Česká republika, radomir.drochytka@pod.cz

Autor 3: Tomáš Skokan, Povodí Odry, státní podnik, Varenská 49, 702 00 Ostrava, Česká republika, tomas.skokan@pod.cz

VS ORAVA, VS NOSICE - REKONŠTRUKCIA KORUNY BETÓNOVEJ PRIEHRADY

VS ORAVA, VS NOSICE - RECONSTRUCTION OF THE CONCRETE DAM CREST

Miloš Okál¹, Miloš Šerý²

Abstrakt: Vodné stavby Orava a Nosice boli dokončené v päťdesiatych rokoch minulého storočia. Samotné telesá sú postavené ako betónové gravitačné hrádze, ktoré pozostávajú z jednotlivých blokov. Na korunách priehradných múrov je umiestnená účelová obslužná komunikácia, technologické zariadenia a vybavenosť vodnej stavby. Spoločným ukazovateľom je značné porušenie, degradácia objektov za obdobie svojej prevádzky. Poškodená koruna priehrady nevyhovuje príslušným normám a je ohrozená bezpečnosť prevádzky vodnej stavby. Tento stav a následne pokračovanie bolo pozorované počas vykonaných technicko-bezpečnostných prehliadok. Vedľajším dôsledkom je, že vodné stavby boli uzavreté prechodu verejnosti. Pre zabezpečenie bezpečnej prevádzky na vodných stavbách vyplynula nutnosť komplexnej rekonštrukcie koruny betónovej priehrady. Cieľom príspevku za VS Orava je opis priebehu stavebných prác, ktoré boli vykonané a zhodnotenie ako realizovaná rekonštrukcia zlepšila podmienky pri prevádzke vodnej stavby. V časti za VS Nimnica je poukázanie na jestvujúci stav a opis prípravných prác pre požadovanú rekonštrukciu koruny betónovej priehrady.

Abstract: The water structures Orava and Nosice were completed in the 1950s. The bodies themselves are built as concrete gravity dams, consisting of individual blocks. On the crests of the dam walls, there are service roads, technological equipment, and the infrastructure of the water structure. A common indicator is significant damage and degradation of the objects during their operation. The damaged crest of the dam does not meet the relevant standards, and the safety of the water structure operation is endangered. This condition and subsequently its worsening, was observed during technical safety inspections. As a consequence, the water structures were closed to the public. To ensure safe operation of the water structures, comprehensive reconstruction of the concrete dam crest was necessary. The aim of the contribution VS Orava is to describe construction works that have been carried out and to evaluate how the implemented reconstruction has improved the operating conditions of the water structure. In the section for VS Nimnica, the existing condition is pointed out, and a description of preparatory work for the required reconstruction of the concrete dam crest is provided.

1 VODNÁ STAVBA ORAVA

1.1 Opis vodnej stavby Orava

Účel a využitie vodnej stavby

Účelom vodnej stavby Oravská priehrada je akumulácia vody s ročným vyrovnávacím cyklom na nadlepšovanie prietokov pre energetické využitie a zníženie povodňových prietokov. Ďalším účelom vodnej stavby je nadlepšovanie prietokov pre priemysel, poľnohospodárstvo, rekreáciu a šport, športovú plavbu a rybárstvo. Účelom vyrovnávacej nádrže Tvrdošín je vlnovité vyrovnávanie špičkových prietokov od VE Orava a energetické využitie vody. Vlnovité vyrovnávanie prietokov znamená, že sa pripúšťa v predpísaných medziach meniť prietok aj v priebehu dňa [1], [2].

Sústava vodných stavieb Oravská priehrada – Tvrdošín pri svojej činnosti musí zabezpečiť celoročne v rieke Orava pod vyrovnávacou nádržou Tvrdošín

- Minimálny zostatkový prietok $3,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- Maximálny prietok $100 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ mimo obdobia povodní
- Zníženie kulminačného povodňového prietoku Oravy na max. $800 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Popis hlavných objektov vodnej stavby

- Typ priehrady: betónová vylahčená
- Výška nad základovou škárou: 48 m
- Dĺžka hrádze v korune: 291,5 m
- Šírka koruny hrádze: 8,6 m
- Šírka vozovky: 6 m
- Počet priepadov: 2 ks
- Šírka klapiek priepadov: 10,7 m a 11,3 m
- Hradiaca výška klapiek: 4,3 m
- Počet základových výpustov: 4 ks
- Počet odberných potrubí na VE: 2 ks

1.2 Rekonštrukcia koruny priehrady

Generálny projektant: Ing. Lukáš Rolko

Projektanti ucelených častí: Ing. Peter Vonš – zodpovedný projektant

Zodpovedný vedúci za dodávateľa: Jozef Kulik BEST STAV s.r.o. Nitra

Dátum dokončenia prác podľa hospodárskej zmluvy: 29.04.2015

Cena = 1 219 164, 56 eur bez DPH

Vodná stavba Orava bola dokončená v roku 1953. Samotné teleso gravitačnej priehrady, na ktorom sa nachádza riešená komunikácia sa skladá z 21 blokov (dilatačných celkov), medzi ktorými sú dilatačné škáry. Vozovka bola asfaltová s veľkým množstvom trhlín a opravovaných výtlkov. Betón ríms bol najmä z lícnej strany degradovaný a rozpadnutý. Tento stav pretrvával aj napriek oprave v roku 1990.

Poškodenie koruny priehrady

Tento zlý stavebno-technický stav bol dôvodom pre uzatvorenie verejnej dopravy po korune priehrady.

V roku 1989 – 90 bola VS Oravská priehrada vypustená z dôvodu revízie, kde sa realizovali nasledovné práce: sanácia brehov, oprava technologických zariadení, ťažba rašeliny. Po skončení revízie sa prevádzka motorových vozidiel po korune hrádze vylúčila, z dôvodu dynamických účinkov a narastajúcej hustote premávky a zvýšenia zaťaženia prepravy tovarov, čo pretrvávalo až do rekonštrukcie koruny priehrady a ŽB rímsy (rok 2014).

Cieľ opravy koruny priehrady

Cieľom stavby bola rekonštrukcia vozovky, ríms, záchytných a bezpečnostných zariadení, verejného osvetlenia a blízkeho okolia komunikácie vedenej po korune VS Orava, teda vrchnej časti priehradného telesa. Cieľ rekonštrukcie bol dosiahnutý odstránením a odbúraním všetkých nevyhovujúcich častí koruny a ich nahradením novými konštrukciami. Stavbou sa nijako nezasiahlo do samotného telesa priehrady. Stavba nemala žiaden negatívny vplyv na konštrukciu telesa priehrady Orava a nebola potrebná ani zvláštna manipulácia s hladinou.

Jedným z dôvodov rekonštrukcie bolo zvýšenie stavebno-technickej úrovne vozovky tak, aby bolo možné komunikáciu otvoriť pre verejnú cestnú dopravu do 3.5 t.

Sprístupnením komunikácie sa skrátila vzdialenosť medzi mestami Námestovo a Trstená (prípadne obec Nové Ústie) o 5.8 km. Vozidlá sa tým vyhnú prejazdu dvomi obcami (Ústie nad Priehradou a Štefanov nad Oravou) po úzkej a kľukatej ceste III/59044.

Doprava je riadená zvislým a vodorovným dopravným značením, po korune je obojsmerná so zníženou rýchlosťou na 20 km/h. Dopravné značenie je prekonzultované a schválené príslušnými úradmi štátnej správy.

Rozdelenie stavby rozdelená na 4 stavebné objekty

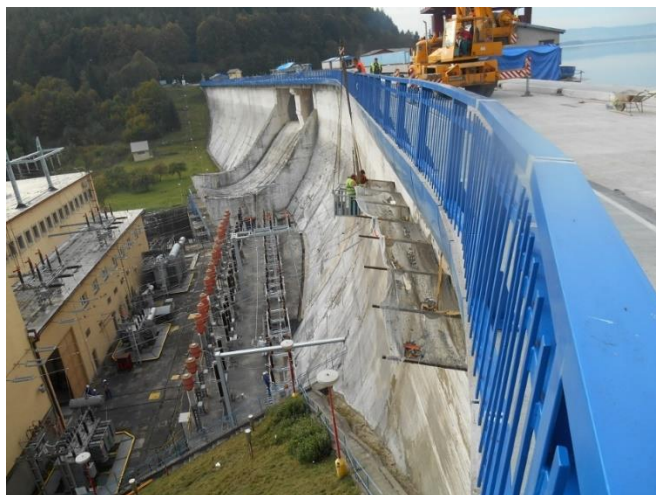
D101 Dopravné napojenie

D201 Rekonštrukcia koruny priehrady

D451 Rekonštrukcie verejného osvetlenia

D452 Ochrana koruny priehrady

Rekonštrukcia pozostávala z komplexnej obnovy ríms (Obr. 1), opravy vozovky, podkladu vozovky, izolácií (Obr. 2), odvodňovacích prvkov, záchytných a bezpečnostných zariadení a výmeny zábradlia (Obr. 3). Vykonala sa aj rekonštrukcia a zosilnenie nosnej konštrukcie dvojpoľového rámového premostenia prepádov. V ostatných objektoch sa riešila rekonštrukcia verejného osvetlenia na telese priehrady, úprava dopravného napojenia na cestu II/520 Námestovo - Tvrdošín a III/05944 Ústie nad priehradou - Trstená a ochrana koruny priehrady a objektov k nej prislúchajúcich.



Obr. 1 *Oprava rímsy nad rozvodňou VE - zabezpečenie*



Obr. 2 *Izolácia na korune hrázde*



Obr. 3 *Príprava montáže zábradlia*

Technické parametre koruny priehrady:

Výškovo koruna priehrady v čo najväčšej možnej miere kopíruje existujúci stav, pričom je voči pôvodnej nivelete znížená o cca 50 mm, z dôvodu väčšieho priečného sklonu s podmienkou zachovania výšky rímsy, respektíve chodníka. Na začiatku a konci sa predmetná komunikácia výškovo pripája na existujúce štátne cesty v stykových križovatkách.

Šírkové usporiadanie vozovky na korune priehrady ako aj mimo neho pri jednotlivých napojeniach je 2 x 3.0 m jazdné pruhy a 2 x 0.50 m bezpečnostná rezerva. Šírkové usporiadanie zodpovedá kategórii komunikácie MO 7,0/30. Novo vybudovaná konštrukcia vozovky sa radi medzi polotuhé vozovky.

2 VODNÁ STAVBA NOSICE

2.1 Opis vodnej stavby Nosice

Účel vodnej stavby

Hlavným účelom je vzdúvať hladinu Váhu a vytvárať zásobný priestor pre elektroenergetické využitie na VE Nosice a na nižšie vybudovaných VE podľa hydrologickej situácie a potrieb elektrizačnej sústavy. Vodné dielo Nosice bolo budované v rokoch 1949-1958 [3], [4].

Popis hlavných častí VS

Betónová gravitačná priehrada, vysoká 31,5 m nad základovou škárou, v korune dlhá 501,68 m pozostáva z 34 blokov. Z nich je 23 blokov plných gravitačných (jeden z blokov je pripravený tak, aby sa k nemu mohol pribetónovať lodný výťah). V piatich blokoch v strede údolia (č. 12 až 16) sú výpustné zariadenia a v troch blokoch na ľavej strane údolia (č. 21 až 23) sú vtoky na vodnú elektrárňu. Pod nimi sa nachádza podpriehradová vodná elektrárňu. Cez celé priehradné teleso vedie revízna chodba, ktorá má aj funkciu injekčnej štôlne. V revíznej chodbe sú zabudované prístroje na meranie deformácií, vztlakov a priesakov. Z revíznej chodby podľa potreby možno dopĺňať injekčnú clonu, ktorá je zhotovená pod celým priehradným. Najväčšia výška bloku nad základmi je 31,5 m, najväčšia šírka zakladania je 18 m. Na korune priehradného múru je portálový žeriav, jeho dráha je v dĺžke 450 m.

Výpustné zariadenie je situované v pôvodnom koryte Váhu. V 5-tich blokoch výpustné zariadenie má celkovú šírku 106,60 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 prevedú prietok $3559 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- Otvorom nad strojovňou cez priepad s hradením klapkou. Výška klapiek je 3,50 m, šírka 17,30 m. Klapky pri plnom otvorení prevedú prietok $1070 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Tabule pomocného hradenia osadzuje portálový žeriav, ktorý sa pohybuje po korune priehrady. Šírka vývaru je 17,0 m v každom poli, dĺžka 36,0 m. Maximálna hĺbka vývaru je 5,35 m.

Vodná elektrárňu s príľahlou budovou je situovaná pri ľavom brehu. Je vystrojená tromi Kaplanovými turbínami s maximálnou hltnosťou po $130 \text{ m}^3/\text{s}$. Najvyšší využívaný spád je 22,5 m, najnižší 11,5 m. Každý generátor dáva výkon 22,5 MW.

Odpadný kanál od VE je 2,65 km dlhý, vedie v inundačnom území Váhu na ľavej strane údolia. Profil kanála je lichobežníkový a jeho kapacita je 400m³/s.

Malá vodná elektrárň - vtokový objekt pre MVE je riešený cez bývalú rybiu zdviž. V strojovni MVE je osadená turbína (BANKI v úprave CINK), uzáver jalového odtoku a riadiaci systém.

2.2 Poškodenie koruny priehrady

Vodná stavba Nosice za obdobie svojej prevádzky neprešla komplexnou opravou a na jednotlivé objekty pôsobili vplyvy počasia. Najväčšie poškodenia sa prejavili na betónových častiach, ktoré boli priamo vystavené dažďu a mrazu. Na základe vzniknutých poškodení hlavne na betónovom zábradlí, ktoré prestávalo plniť svoju úlohu, bezpečnosť pohybu po korune priehrady dal správca VS v roku 2014 vypracovať projektovú dokumentáciu na rekonštrukciu mostovky. Hlavnými stavebnými objektmi bola oprava betónového zábradlia a výmena asfaltového krytu komunikácie. Za obdobie sa prejavili ďalšie poškodenia na ostatných objektoch – technický stav žeriavovej dráhy, poškodenie rímsy návodnej strany s kolektorom pre rozvod sieti, osvetlenie mostovky.

Vplyvom týchto skutočností bol v roku 2020 vypracovaný statický posudok na samotné betónové zábradlie a následne v roku 2021 na celú železobetónovú rímsu. Predmetom posúdenia bolo zhodnotenie technického stavu konštrukcii. V záverečnej správe sa konštatuje, že samotné zábradlie je v havarijnom stave (Obr. 4). Je ukotvené na okraji rímsy a zaťažuje ju a tým spôsobuje vznik trhlín (Obr. 5). Klimatické zaťaženie trhliny neustále zväčšuje a korodovanie nosnej výstuže pokračuje.

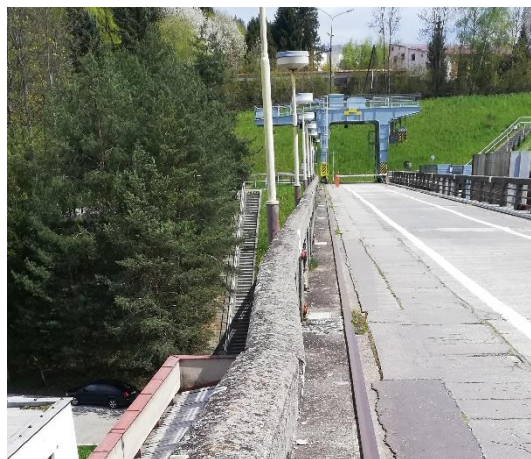
Zároveň bol vyhotovený prepočet stability mostového portálového žeriava na žeriavovú dráhu a osvedčenie o skúške vyhradeného technického zariadenia, že zariadenie spĺňa požiadavky na bezpečnú prevádzku.

Z posudkov vyplynulo, že je nutné zabezpečiť dočasné zábrany pre prístup k zábradliu a rímsam a urýchlene opraviť alebo vymeniť konštrukciu v celej dĺžke.

Následne v rámci technicko-bezpečnostnej prehliadky vodnej stavby v roku 2021 bolo odporúčané poverenej organizácii orgánu štátnej vodnej správy uložiť správcovi vodnej stavby vodoprávnym rozhodnutím realizovať opravu koruny betónovej priehrady vodnej stavby Nosice.



Obr. 4 Poškodenie bet. zábradlia



Obr. 5 Trhliny medzi rímsou a korunou priehrady a nestabilita madla zábradlia

2.3 Navrhovaný spôsob opravy

Z tohto dôvodu vyplynula skutočnosť, že je potrebné vypracovanie novej projektovej dokumentácie s doplnenými stavebnými objektmi. Vypracovanie dokumentácie prebehlo v roku 2022.

Zdôvodnenie a účel a ciele opravy

Navrhovaná stavba sa nachádza na korune (povrchu) existujúcej betónovej priehrady – Vodná stavba Nosice. Stavba rieši obnovu zdegradovaného povrchu koruny betónovej priehrady. Stavba bude pozostávať z vybúrania nevyhovujúcich konštrukcií a ich nahradením novými stavebnými prvkami.

Potreba stavby bola vyvolaná veľmi zlým až havarijným stavebno-technickým existujúceho koruny priehrady. Tento havarijný stav prinútil správcu stavby uzatvoriť priestory pre verejnosť. Uzatvorenie malo za následok prerušenie využívaného cyklistického chodníka a obmedzenie pohybu peších v danej lokalite.

Účelom stavby je obnova konštrukcií, ktoré sú vo veľmi zlom stave. Tento účel bude dosiahnutý výmenou existujúcich nebezpečných a nefunkčných konštrukcií a zariadení za nové prvky. Po ukončení prác bude stavba spĺňať požiadavky všetkých dnes platných noriem, predpisov a požiadaviek kladených na takýto objekt, zároveň bude možné plochu koruny priehrady opätovne sprístupniť verejnosti.

Najzávažnejšie problémy, ktoré sa opravou odstránia sú:

- Výmena starého zábradlia koruny priehrady, ktoré je v havarijnom stave
- Komplexná oprava betónových ríms priehrady Stavba: Vodná stavba Nosice
- rekonštrukcia koruny betónovej priehrady
- Komplexná obnova povrchu mostovky, nakoľko existujúci povrch bol vo veľmi zlom stave.
- Oprava koľajovej dráhy žeriavu.
- Komplexná obnova verejného osvetlenia v korune priehrady a komplexná obnova kamerového systému.
- Oprava povrchu plošiny nad objektom vypustí, nakoľko pôvodný povrch bol v zlom stavebno-technickom stave a dochádzalo ku zutekaniu do priestorovo elektrickej rozvodne.

Predpokladaný rozpočtový náklad navrhovanej opravy koruny priehrady – 2 624 972,- eur bez DPH. Cena bola vypracovaná v rozpočtovom programe CENKROS.

Koruna priehrady

Úprava povrchu koruny – vozovka, po odbúraní vozovky, žeriavovej dráhy, zvršku a vyrovnávacieho betónu sa celý povrch očistený vodným lúčom. Následne pred betonážou bude nanosený adhézny cementový náter na zvýšenie priľnavosti betónu. Celková hrúbka vyrovnávacej vrstvy je v rozmedzí 80 – 150 mm. Vyrovnávacia vrstva sa spevní kari-sieťou. V mieste dilatačných škár vrstva je prerušená a doplnená o tesnenie. Ako betón sa použije cestný betón triedy CB – I. Požadovaná pevnosť betónu v 37,0 MPa. Aby boli dodržané požadované tolerancie a kvalita spracovania musí byť vozovka kladená strojovo. Maximálne povolené pozdĺžne a priečne nerovnosti betónového krytu sú ≤ 4 mm. Celý povrch vozovky v priečnom smere upravený metličkovou úpravou. Vo vyrovnávacej doske navrhované aj nové poklapy do všetkých šácht a zhotovené doplnujúce opatrenia pre odvodňovače [5].

Rímsy sú navrhnuté z monolitického železobetónu. Nové dobetonávky ríms budú do starého betónu cez chemicky zalepenú výstuž. Súčasťou ľavej rímsy je osadenie chráničiek 2x 80 mm a zabetónovanie revízných šácht ku stožiarom vonkajšieho osvetlenia. V týchto chráničkách následne osadené vedenie osvetlenia a vedenie ochrany priehrady. Súčasťou pravej rímsy sa navrhuje aj vybudovanie nového kolektoru pre vedenia žeriavovej dráhy a osvetlenia hladiny na vtokoch ku výpustom. Do ríms sa ukotví nové zábradlie a oplotenie. Tesne pri vnútornej hrane rímsy na rozmedzí rímsa / vozovka bude vybetónovaný žľab pre osadenie koľajníc žeriavovej dráhy. Šírka koľajníc je s úchytnými je 280 mm. Pohľadová časť rímsy po vykonaní sanácie betónu bočnej plochy priehrady natretá zjednocujúcim farebným (sivým) náterom. Dilatačné škáry rímsy kopírujú dilatačné škáry medzi blokmi priehrady.

Odvodnenie - ostáva zachovaný existujúci charakter odvodnenia, čo znamená voľné odvedenie vôd z vozovky do vodnej nádrže. Odvodnenie vozovky bude spádmí vozovky do odvodňovačov. Odvodňovače majú mrežu rozmeru 300/300 mm a potrubie liatinové priemeru minimálne 100 mm. Odtokové potrubie presahuje za okraj konštrukcie min. 150 mm. Všetky prestupy potrubia cez betón sa utesnenia trvalo pružným tmelom. Súčasťou odvodnenia sú osadené odvodňovacích trubičiek do trolejového káblovodu.

Žeriavová dráha – existujúca – bude vybúraná. Navrhnutá je koľajová dráha z pre žeriavové dráhy bez žliabku. Koľajníc sú v osovej vzdialenosti 6,0 m podľa rozchodu existujúceho žeriavu. Osadenie koľajníc položené na vyrovnávacích gumených podložkách a následne ukotvené do podkladu cez príchytky a kotevné skrutky. Po osadení a presnom rektifikovaní koľajníc, sa priestor okolo koľajníc zaleje jemnozrnným betónom. Koľajnica je vo svojej dĺžke zostavená z viacerých dielov, všetky navzájom vodivo prepojené, pričom na začiatku a na konci žeriavovej dráhy bude každá koľajnica prepojená s existujúcim uzemnením.

Zábradlie - v celej korune priehrady je navrhnutá výmena existujúcich zábradlí. Hlavnú časť tvorí obvodové zábradlie koruny priehrady. Výška zábradlia je 1,3 m a skladá sa z prefabrikovaných železobetónových stĺpikov, prefabrikovaných ŽB madiel a oceľových zváraných výplní. Nakoľko je potrebné, aby sa zo zábradlia vytvárali celky rôznej dĺžky, je potrebné viaceré kusy madiel a výplní upraviť podľa skutkového stavu. Po montáži medzi jednotlivými kusmi madiel vynechaná dilatačná medzera 10 mm. Táto bude na hĺbku minimálne 15 mm vyplnená tesniacim tmelom. Oceľový výplne naskrutkované na pripravené konzoly, ktoré sa zabetónujú v stĺpikoch. Povrchová ochrana pozinkovaním je navrhnutá na celom prvku. Súčasťou zábradlia sú aj oceľové bránky.

Sanácia bude spočívať v očistení povrchu tlakovou vodou a v reprofilácii sanačnou hmotou. Predpokladá sa hrúbka sanačnej hmoty do 40 mm (20 mm priemer). Obnažená výstuž bude pred sanáciou očistená a ošetrená ochranným antikoróznym náterom. Nakoniec celý povrch bude natretý zjednocujúcim náterom s ochranou proti chloridom sivej farby.

Šachty a poklopy vo vozovke budú umiestnené nad tesniacimi šachtami (600/600) , poklopy na šachty pre revíziu vodovodného potrubia minerálneho prameňa (600/600) a poklopy šácht pre vykurovacie trne (900/600 mm). Osadenie poklopov na vozovke je navrhnuté v priečnom sklone 1,0% a musia spĺňať triedu dopravného zaťaženia. Všetky poklopy sú uzamykacie a vodotesné. V rímse na pravej strane budú osadené plastové (kompozitné) revízne šachty ku stožiarom vonkajšieho osvetlenia.

ZOZNAM LITERATÚRY

- [1] *Povodie horného Váhu, odštepny závod (2023): Manipulačný poriadok pre vodné stavby Orava a Tvrdošín na rieke Orava*
- [2] *Ministerstvo lesného a vodného hospodárstva SSR: Ing. Augustín Jambor CSc. a kolektív - 30 rokov prevádzky vodného diela Orava*
- [4] *Bednárová, E. a kol. 2010.: Priehradné staviteľstvo na Slovensku. Originality – mĺňniky – zaujímavosti. Bratislava, Kuskus 2010, 207 s.*
- [4] *Povodie horného Váhu, odštepny závod (2018): Manipulačný poriadok pre vodnú stavbu Nosice*
- [5] *DAQE Slovakia s.r.o. (2022): Vodná stavba Nosice – rekonštrukcia koruny betónovej priehrady.*

AUTORI

Autor 1: Miloš Okál, SVP š.p., Povodie horného Váhu, odštepny závod Ružomberok, SR, milos.okalsery@svp.sk

Autor 2: Ing. Miloš Šerý, SVP š.p., Povodie horného Váhu, odštepny závod Ružomberok, SR, milos.sery@svp.sk

**VODNÉ NÁDRŽE V SPEKTRE
KLIMATICKÝCH ZMIEN,
POSTAVENIE VODNÝCH NÁDRŽÍ
PRI HOSPODÁRENÍ S VODOU**

AKO EFEKTÍVNE SA UKÁZALI VODOHOSPODÁRSKE OPATRENIA PRI ZVLÁDANÍ EXTRÉMNYCH POVODNÍ V SLOVINSKU V ROKU 2023

HOW EFFECTIVE WATER MANAGEMENT MEASURES HAVE PROVEN TO BE IN MANAGING EXTREME FLOODS IN SLOVENIA IN 2023

Nina Humar¹, Andrej Kryžanowski²

Abstrakt: Rok 2023 bol jedným z najvlhších rokov v minulom storočí. Od mája do decembra spadlo na slovinskom území sedem veľkých zrážok (v máji, júli, auguste, októbri, novembri a decembri). Hoci povodne v máji, októbri a novembri tiež spôsobili značné škody, najhoršia povodňová udalosť sa vyskytla v auguste 2023 a do histórie sa zapíše ako najhoršia prírodná katastrofa v dejinách Slovinska. Podľa slovinskej agentúry pre životné prostredie (ARSO) sa najhoršie povodne vyskytli na úpätí Julských Alp, od Idrie cez Lubľanskú kotlinu až po Koroškú oblasť, kde spadlo 150 až 200 litrov na meter štvorcový. Silné dažde, ktoré sa prehnali východným, severovýchodným, severozápadným a stredným Slovinskom, spôsobili rozsiahle záplavy riek, pričom boli postihnuté takmer dve tretiny územia Slovinska, teda 183 z 212 obcí, pričom najväčšie škody boli spôsobené na cestnej, energetickej a bytovej infraštruktúre. Poškodené boli mnohé vodohospodárske stavby vrátane hrádzi, ale škody by boli ešte väčšie, keby nebolo priehrad a hrádzi, ktoré významne prispeli k zabráneniu ešte väčších škôd. Odhadované škody spôsobené povodňami sú približne 10 miliárd EUR, ale tento odhad nezahŕňa len škody na infraštruktúre, ale aj nepriame škody, ako je nemožnosť využívať zariadenia, strata výroby atď. Škody vznikli takmer výlučne v oblastiach, kde boli vykonané neuvážené zásahy v oblastiach pozdĺž vodných tokov a kde ešte neboli vybudované plánované priehrady a hrádze z dôvodu požiadaviek ochrany prírody.

Summary: 2023 was one of the wettest years in the last century. Between May and December, seven major rainfall events (in May, July, August, October, November and December) covered the Slovenian territory. Although floods in May, October and November also caused considerable damage, the worst flood event occurred in August 2023 and will go down in history as the worst natural disaster in Slovenia's history. According to the Slovenian Environment Agency (ARSO), the worst floods occurred in the foothills of the Julian Alps, from Idrija through the Ljubljana basin to Koroška region, where between 150 and 200 liters per square meter fell. The heavy rainfall that swept across eastern, north-eastern, north-western and central Slovenia caused widespread river flooding, with nearly two-thirds of Slovenia's territory, or 183 out of 212 municipalities, affected, with the most damage to road, energy and housing infrastructure. Many waters management structures, including levees, were damaged, but the damage would have been even worse if it had not been for the dams and levees that contributed significantly to preventing even more damage. The estimated flood damage is around €10 billion, but this estimate does not only cover damage to infrastructure, but also indirect damage such as the inability to use facilities, loss of production, etc. The damage occurred almost exclusively in areas where reckless interventions were made in areas along watercourses and where the planned dams and levees had not yet been built due to nature protection requirements.

1 INTRODUCTION

The year 2023 was one of the wettest years for Slovenia in the last century. It followed an exceptionally dry period between 2021 and 2022, which is also recorded as one of the driest periods in the history of hydrological observations. Between May and December 2023, several major rainfall events (May, July, August, October, November and December) caused the watercourses to overtop their channels and start flooding. The first flood event occurred in May, when the 10-to 20-year return period of river flows in the southern part of Slovenia was exceeded. The next event occurred in July with two peaks: the first peak was marked by floodwaters in NW Slovenia with a return period of up to 100-year and the second peak by flash floods with a return period of 5- to 10-year in central and eastern Slovenia. In early August, a third flood event followed in most of Slovenia, with flood waters reaching in places between 250- to 500-year return period, making it the largest natural disaster in Slovenia's history. October and November marked the fourth flood event with flood waters up to the 100-year return period in western Slovenia and the 5- to 10-year return period in central and SW Slovenia. The last extreme rainfall event occurred in December with flood water events with a return period of 20-year in western Slovenia and 5- to 10-year in NW Slovenia.

2 THE AUGUST 2023 EVENT

The flooding event in August 2023 was the result of unusual meteorological conditions, caused by high temperature of the Mediterranean Sea, which was warmer than the long-term average at the time of the event. Preceded by the July events, the occurrence of prolonged rainfall in August, more typical of the late autumn period, resulted in extreme flows in watercourses of northern, northwestern and northeaster Slovenia; consequently, this was reflected in the co-occurring of extreme flows of three largest Slovenian rivers.

Between 3rd and 6th August, Slovenia and the wider catchment area beyond its northern border were hit by a period of heavy rainfall. The unfavorable aspect of the rainfall event was that the ground was already well pre-wetted from the rainfall in July. On the night of 3rd and 4th August, rainfall covered areas of northern, western and central Slovenia. Many settlements with residential and commercial buildings were flooded. Numerous landslides were triggered and floodwaters carried large quantities of debris and floating material, threatening settlement areas and damaging public utilities, transport and energy infrastructure. Heavy rainfall, but of a lower intensity, continued on 4th and 5th August, covering the whole country. Flows of other watercourses also increased, but within the annual flood range (Fig.1).

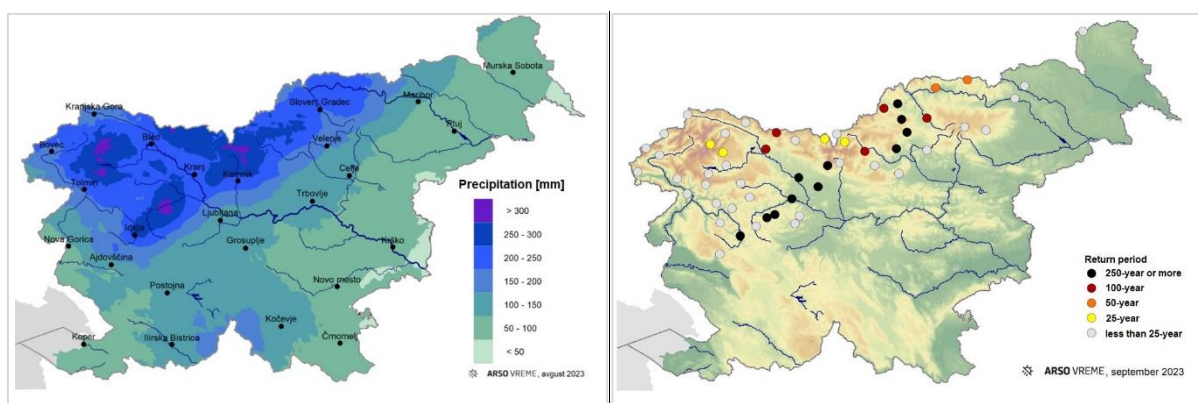


Fig. 1 Representation of the 3-day precipitation event between 3rd and 6th August in Slovenia - left and return period for the heaviest 12-hour precipitation event between 3rd and 4th August 2023 – right (ARSO, 2023)

According to the Slovenian Environment Agency (ARSO), the worst of the rainfall was in the foothills of the Julian Alps, from Idrija through the Ljubljana basin to Koroška region, where 150 to 200 liters per square meter fell in 6 to 12 hours, with a locally estimated return period of 250- to 500-year (Fig. 1). The return periods of peak flows of smaller watercourses in the catchment parts of the main river basins were estimated at more than 100-year. As heavy rainfall also affected areas outside Slovenia, the Drava and Mura rivers also began to flood, reaching flows with a return period of up to 100-year, as did the lower Savinja River. The Sava and the Drava rivers reached flood flows of up to 20-year return period in the lower reaches. A special feature of this event was that the three largest Slovenian rivers, the Sava, the Drava and the Mura, flooded at the same time. However, the flooding itself was followed by numerous landslides triggered by the intense rainfall - which occurred at very short intervals, keeping river flows high and the ground in the river basins saturated with water between events. In a flood damage inventory, it was concluded that around 10,000 landslides were triggered by heavy rainfall in July and August (Fig. 2).

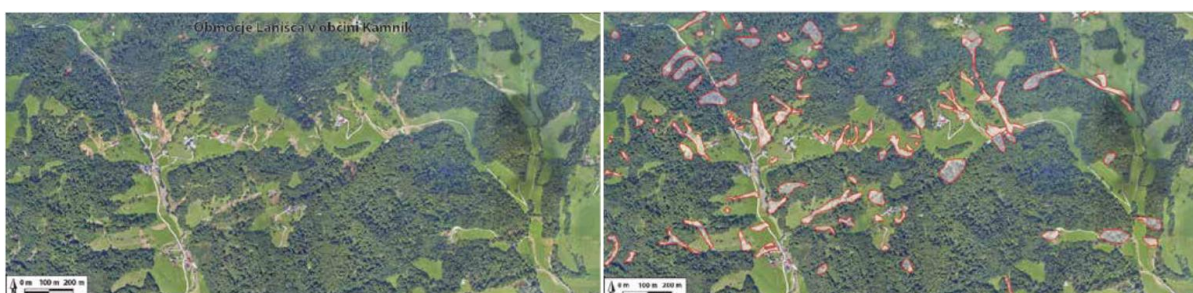


Fig. 2 Mapped landslides in the Kamniška Bistrica catchment area - more than 50 landslides (polygons with red border) have been mapped over an area of about 1 km², most of which have been converted into mudflows or debris flows.

Floods affected just under two-thirds of Slovenia's territory, or 183 out of 212 municipalities, with most damage to water, roads, energy and housing infrastructure (Fig. 3). Many water management structures were damaged in the floods, including a number of levees. However, dams and reservoirs were fortunately able to withstand the pressure of the floodwaters and contributed significantly to avoiding further damage. The estimated damage from the floods, including indirect damage (inability to use facilities, loss of production, etc.) is around EUR10 billion - of which direct damage alone is around EUR 3 billion.



Fig. 3 The consequences of flooding on dwellings and infrastructure

Rescuing and dealing with the consequences of a natural disaster on this scale required specific organizational approaches, with the appointment of expert bodies at the level of the Government of the Republic of Slovenia and the relevant ministries, and the adoption or amendment of legislation to speed up the procedures for implementing intervention measures. Additional financial resources from tax revenues, as well as from the State budget and the EU Solidarity Fund, are temporarily foreseen to finance the measures.

The consequences of the floods have also raised questions related to the correctness of the planning baselines of flood protection measures. In Slovenia, the sectoral legislation is not adequately regulated. The widespread consequences of the flood events have forced all stakeholders to rethink again on how to regulate this field. On the initiative of professional associations and universities, activities have been initiated to amend the legal regulations and technical guidelines in the field of water management, which are relevant for future planning of water management and flood protection measures, as well as for the implementation of routine maintenance and supervision of facilities.

The events have also encouraged the reflection on the effectiveness of strictly natural based flood protection measures, such as dams, retention basins and levees. In recent years, there has been a heated debate in Slovenia on the merits and necessity of designing such facilities. In particular, the so-called nature conservation part of the public has been advocating non-invasive approaches in designing measures using NBS, activation of retention areas, abandoning the construction of dams and reservoirs, etc. In this context, it is important to consider the need for a more comprehensive - not strictly NBS based - approach to the design of flood protection measures. The expert community supports initiatives for a more sustainable approach to the design of measures, but also points out the need to maintain their functionality and resilience at the same time. The following is a brief analysis of the effectiveness of the most widely used flood safety measures.

3 DAMS AND RETENTION BASINS

In Slovenia, the construction of the first flood protection dams began in the 1960's - most of these structures are multi-purpose. Currently, 37 structures, or 53% of all dams in Slovenia, have a primary function of flood protection, but when we add the dams, whose primary function is energy generation – but whose purpose is also regulation of the water regime and to flatten high-water peaks - the vast majority of Slovenian dams have a flood protection function. The importance of these structures was clearly highlighted in the August floods, when the dams and retaining structures contributed significantly by flattening the high-water wave and consequently to reducing the damage caused by the floods, especially on the Sava and Drava rivers. The most stressed dams were in northern, north-eastern, eastern and south-eastern Slovenia. Most of the dams remained intact and functional throughout the event, despite the extreme hydrological quantities.

The exceptional event of August 2023 underlined the importance of dams as the as flood protection measures especially in Lower Sava River, where a chain of 6 hydropower plants is under construction. One of the functions of the mentioned system is to provide flood protection for settlements and low-lying areas along the Sava River. In the section 5 HPP were already constructed, these measures have fully justified their function and no flood damage of note has been recorded even in recent flood events. In accordance to the plans, the flood protection system in this section should be completed by the Brežice reservoir with the possibility of activating the retention areas - which is already in function and successfully fulfilled its purpose in the August 2023 event - and for now still not implemented Mokrice reservoir, which should enable the balancing of flows on the border profile with Croatia. The Mokrice reservoir should also provide flood protection for the area at the confluence with the Krka River, which is

flooded during any major flood event, as well as in 2023, due to the hydraulic damming effects of the Sava River (Fig. 4). Although the flood damage is evident in every flooding event, the Mokrice HPP project, as well as the conclusion of flood protection system for Lower Sava River, was stopped in 2022 due to an appeal by nature conservationists against the already issued nature conservation consent and in August 2023 the area was consequently flooded and devastated by the high waters. Recent flood events have clearly shown the effectiveness of dams in ensuring flood safety and public support for the construction of dams and flood retention basins is slowly growing.

The damage caused by torrential waters affected mainly small check dams in headwaters, whose primary function is to stabilize river slopes and slow down erosion processes. Some of these dams have been damaged or even carried away by torrential waters, turning the material behind them into mud or mudflow. The damage is mainly due to the lack of regular maintenance of the structures due to lack of funds or, more worryingly, to inadequate project design and planning, which also stems from the lack of an appropriate regulatory basis.



Fig. 4 *Flooding in the area of the confluence of the Sava and Krka rivers that would be prevented by the construction of the Mokrice HPP (photo: Uroš Supančič)*

Apart from the check dams in the catchment areas, the most serious damage has been caused by the Gradišče dam on Trinity Lake, which is not a large dam. The reservoir is part of a system of multi-purpose reservoirs in the Pesnica Valley, which are designed to serve the needs of agro-remediation, aquaculture as well as flood protection. Extreme water levels have caused crest overtopping and damage to the outlet area, where erosion damage occurred. The spillway structure has been damaged (Fig. 5). The rehabilitation of the dam, the protection of erosion damages and the rehabilitation of the existing spillway structure are planned for 2025.

Extreme water levels also caused local damage on the outlet section to of the Pristava dam, upstream of the Gradišče dam, which is intended to provide flood protection for the Pesnica valley. Damage to the dam is of a localized nature and includes also some small slope slides at several locations on the air side of the dam. The rehabilitation of the dam is planned for 2024.



Fig. 5 *Crest overtopping caused damage to the Gradišče dam*

4 LEVEES

The consequences after the August floods were slightly worse on levees. Although they contributed to a significant reduction of flood damage in most flood areas and thus successfully fulfilled their flood protection function, they also suffered significant damage in some sections, particularly along the larger watercourses where the hydraulic stresses on the embankment body were significantly increased due to flood waters and debris.

It should be noted that - unlike dams, where higher return periods (1000-year) are used for the sizing of structures - levees in Slovenia are designed for 100-year return period. In the case of the August floods, however, these return periods were exceeded in several places. In the absence of guidelines for the design of these structures, a large proportion of the levees built in the last 50 years are in fact of a simple homogeneous design, protected only by grass sward and without adequate protective measures in case of an increase in hydraulic loads (consolidation of the slopes of the levees or of the toes) or of seepage through the body of the levees (construction of filter layers, etc.). As a rule, fine-grained, clayey earth material has been used for the construction of levees in order to achieve sufficient impermeability. The problem we observe is that with the onset of prolonged dry periods, structural changes occur in the bodies of levees. This, in turn, may have an impact on the altered mechanical properties of the embedded material (permeability). A second, more pressing problem is the irregular maintenance of the structures, which is more or less a consequence of the reduction in financial resources, as well as the lack of appropriate legal provisions governing this area. The irregular monitoring and maintenance of the levees has resulted in increased overgrowth of the slopes of the levees and settlement of small animals. Both the overgrowth of the root system and the presence of smaller animals (birds, rodents, reptiles, etc.) that dig tunnels interfere with the integrity of the body of the levee, thus weakening it.

In recent times, however, we have also increasingly encountered the problem of ensuring the resilience of these structures, which is the result of the so-called nature conservation design guidelines, by rejecting any so-called grey interventions, even where these interventions are absolutely necessary. The consequence of these planning assumptions is that such facilities can fail even at low flood waters and constitute an additional problem in themselves for flood safety in the surrounding area.

There are no specific legal requirements for the design, regular maintenance and monitoring of levees in Slovenia. Although the authorities have been repeatedly warned in the past of the problems of proper design and regular maintenance, levees receive much less attention than dams. The results of years of neglect of these structures, which have been given far too little maintenance funding, were evident in the floods of August 2023. The levees on several major rivers (Mura, middle Sava), where flows have reached a return period of 50- to 100-year, have suffered damage, at least in part, and have collapsed under the water load, either due to weak zones, or due to crest overtopping, or even due to anthropogenic activity.

4.1 Mura River

The damming of the Mura River in Austria has resulted in the intensification of the erosion processes of the Mura riverbed in the border section (dredging) and in the deposition of larger quantities of fluvial sediments in the inner section of the Mura. In this way, the section of the Inner Mura River, which also has a high nature conservation potential, is increasingly at risk of flooding due to the deposition of sediments. Flood protection solutions following the Sava River pattern (i.e., construction of dams) are therefore not possible, and the construction of levees with activation of the oxbow lakes, etc. remains the only solution. Residents and river work managers have repeatedly warned in the past about the deterioration of the levees along the

Mura River. Due to limited resources, over the past decades the damages to the levees on the section of the Inner Mura River have only been repaired by the river works manager to the minimum extent necessary to ensure that the structures were already in a good state. However, during the floods of August 2023, despite the efforts of the river works manager, civil protection and the population, local breaches of the levees occurred in this section, resulting in flooding of the surrounding settlements in the hinterland (Fig. 6). On the basis of previous studies, the most effective and permanent measure to ensure flood safety in this section is proposed to be the construction of a dam or a hydropower stage, where the flooding problem would be addressed in a similar way as in the Lower Sava River section. Unfortunately, this measure is not an option due to public opposition.



Fig. 6 *Levees along the Mura needed reconstruction - but waited too long*



Fig. 7 *The levees along the Middle Sava River section were deteriorated - there were rodent and bird tracks, as well as overgrowth that does not belong on the levees itself.*

4.2 Sava River

The levees along the middle Sava River in the relatively densely populated northern part of Ljubljana have been rather irregularly maintained due to a lack of funds and pressure and demands from nature conservationists to minimize encroachment into the riparian areas. Monitoring of the facilities, which could have detected in time the irregularities (overgrowth,

animal activity, illegal construction, etc.) that led to the loosening of the levees, was also carried out irregularly, and intervention work alone was no longer sufficient to improve the condition of the facilities. A particularly exemplary case, as a consequence of non-maintenance, was the settlement of protected bird species in the area of the flood protection structures, followed by the prohibition of any further rehabilitation measures for the protection of endangered species. The end result was that erosion processes have intensified; the habitat of protected species has been destroyed and the damage to the levees was irreparable to a reasonable extent (Fig. 7). Based on this kind of experience, one would expect decision-makers to take a subtler approach to planning flood protection measures, but practice does not show this to be the case. Even in dealing with the consequences of the August floods, it appears that all too often emergency solutions are used, which tend to be permanent and pose a potential risk in subsequent flood events. In the Middle Sava River, the most rational option is to build a chain of hydroelectric power plants that would comprehensively address flood safety issues, and this project also enjoys greater support in the region than among decision-makers.

5 CONCLUSION

After a prolonged dry period lasting several years, Slovenia was hit by several consecutive rainfall events in 2023, which occurred throughout the year. The most severe rainfall event occurred in August 2023 and will go down in history as the biggest natural disaster in Slovenia's history. The recovery from the August floods far exceeded the procedural capacities normally associated with such events and therefore required appropriate organizational, administrative, financial and legislative measures to be taken at government level, as well as the need to mobilize resources from the EU Solidarity Fund.

Many of the damage events in water infrastructure are due to the fact that this area is poorly covered by regulation related to constructional and overall safety of these facilities. Flood recovery has therefore also proved to be an opportunity to contribute to a higher level of planning of water management and flood protection measures, as well as to maintaining their condition in order to achieve greater flood safety and resilience, by improving sectoral legislation and a professional approach in the future.

Dams and high-water storage reservoirs have made a major contribution to reducing flood damage, especially where they are built to regulate the water regime in flood water events. In recent years, opposition to the construction of dams and reservoirs has increased in Slovenia, but recent flood events have highlighted that active management of the water regime will not be possible without flood water storage, which is shifting public opinion in favor of reservoir construction.

Major deficiencies have been recorded in the case of levees, which are basically due to the design assumptions (100-year return period) being exceeded in relation to the actual situation (200- to 500-year return period). Another deficiency recorded is due to the design of levees, which is generally based on a homogeneous embankment covered with grass sward and only rarely with filter protection (chimney filter, etc.) or a suitable top stabilization layer. The third shortcoming highlighted by the storm was the poor maintenance of levees and the lack of surveillance. This is most often the result of a lack of resources to carry out the regular maintenance and surveillance that is the basis for keeping the structures in good condition and for resisting the increasingly aggressive opposition of nature conservationists. The latter has proved to be a serious shortcoming, since the a priori insistence on following so-called nature conservation principles in the design of such facilities, even where it is not advisable, has proved to be potentially dangerous - the facilities themselves can pose a threat to the surrounding area.

LITERATURE

1. Slovenian Environment Agency (ARSO). (2023). *Exceptional flooding in Slovenia between 4th and 8th August 2023*. Office of Meteorology, Hydrology and Oceanography, Aug 2023. 40 pages
2. Slovenian Environment Agency (ARSO). (2023). *Hydrometeorological report - Heavy rainfall and flooding in Slovenia between 3rd and 8th August 2023*. Office of Meteorology, Hydrology and Oceanography, Sept. 2023. 10 pages
3. Government of the Republic of Slovenia. *State aid measures after floods*
<https://www.gov.si/zbirke/projekti-in-programi/ukrepi-drzave-za-pomoc-po-poplavah/>
4. <https://www.rsg.si/2023/05/20/slovenjedoriske-obcine-pricakujejo-hiter-odziv-in-pomoc-drzave-po-ujmi>/<https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=9tzt98IObrQ>
5. <https://the-slovenia.com/en/news/floods-in-slovenia-2023/>
6. https://www.facebook.com/permalink.php?story_fbid=668695368619823&id=100064380982130&ref=embed_post
7. <https://www.eposavje.com/ostale-novice/poplave-v-brezicah-kot-v-letu-2010>
8. <https://www.eposavje.com/ostale-novice/poplave-v-obcini-brezice-5-avgust-2023>
9. <https://www.eposavje.com/ostale-novice/ukrepi-ob-napovedi-poplave-ob-poplavi>
10. <https://www.eposavje.com/ostale-novice/poplave-v-obcini-brezice-5-avgust-2023>
11. <https://www.rainews.it/tgr/fjk/articoli/2023/08/huda-ura-zajela-slovenijo-nalivi-poplave-in-plazovi-povzrocili-opustosenje-0b5c790f-c84a-49c5-ad33-969fb33e9e57.html>

AUTHORS

Author 1: Nina Humar, UL Faculty of Civil Engineering, Jamova 2, Ljubljana, Slovenia, nina.humar@fgg.uni-lj.si

Author 2: Assoc. Prof. Dr. Andrej Kryžanowski, UL Faculty of Civil Engineering, Jamova 2, Ljubljana, Slovenia, andrej.kryzanowski@fgg.uni-lj.si

MALÉ VODNÉ NÁDRŽE V ÚZEMNEJ POSOBNOSTI POVODIA SLANEJ - ICH VPLYV A PRÍNOS NA HYDRICKÝ REŽIM V DANOM ÚZEMÍ – POTREBA, ZHODNOTENIE A BUDÚCNOSŤ

SMALL WATER RESERVOIRS IN THE TERRITORIAL CHARACTERISTICS OF THE BASIN SLANÁ - THEIR INFLUENCE AND BENEFIT ON THE HYDRIC REGIME IN CERTAIN TERRITORY - NEED, VALUATION AND FUTURE

Miloš Trocha

Abstrakt :

V územnej pôsobnosti SVP š. p. Povodia Hornádu OZ, Prevádzkové stredisko Rimavská Sobota sa v povodí rieky Slaná nachádza 20 vodných nádrží z čoho 18 predstavujú malé vodné nádrže zaradené v kategórii III. a IV. Väčšina z nich bola vybudovaná v minulom storočí a to v 60-tych resp.70-tych rokoch z dôvodu zabezpečenia závlahovej vody pre poľnohospodárske účely v danej oblasti. Aký je ich súčasný technický stav, aktuálna miera využitia, krajnotvorný význam a v neposlednom rade ekologický význam. V najbližšej budúcnosti je nepochybne potrebné sa zamyslieť na ich využití a to hlavne v súvislosti meniacou sa klimatickou zmenou.

Abstract :

In the territorial scope of SVP š. p. Povodie Hornádu OZ, Operation center Rimavská Sobota. There are 20 water reservoirs in the river basin Slaná, of which 18 are classified as small water reservoirs in category III. and IV. Most of them were built in the last century, in the 60s and 70s due to the provision of irrigation water for agricultural purposes in the area. Their actual technical condition, current rate of use, landscape importance and last but not least, ecological significance. In the near future, it is surely necessary to think about their use and especially due to the context of the climate change.

1 ÚVOD

V minulom storočí a to hlavne v 60 – tych resp. 70 – tych rokoch boli na území bývalej ČSSR vybudované mnohé vodné nádrže a to hlavne v súvislosti s rozvojom poľnohospodárskej činnosti, kde bolo potrebné zabezpečiť doplnkovú závlahu poľnohospodárskej pôdy a to formou výstavby vodných nádrží s dostatočným množstvom vody v zásobnom priestore pre následne vybudované závlahové čerpace stanice. Vzhľadom na zmenu spoločenskej a politickej situácie koncom 80 -tych rokov minulého storočia došlo k postupnému upusteniu od potrieb dodávky závlahovej vody z už vybudovaných vodných nádrží na poľnohospodárske využitie.

2 SÚČASNÝ TECHNICKÝ STAV MALÝCH VODNÝCH NÁDRŽÍ A AKTUÁLNA MIERA ICH VYUŽITIA

V rámci územnej pôsobnosti SVP š.p. Povodie Hornádu, odštepny závod Košice sa na Prevádzkovom stredisku Rimavská Sobota nachádza 18 malých vodných nádrží, ktoré boli delimitované v roku 1994 do správcovstva a vlastníctva od bývalej Štátnej melioračnej správy do majetku Slovenského vodohospodárskeho podniku š.p. (Tab. 1, Obr. 1 až 10). Je nutné skonštatovať, že mnohé z nich boli od výstavby a uvedenia do prevádzky značne zanedbané bez náležitej pozornosti v podobe opráv a údržby. Dnes môžeme konštatovať, že súčasný stav a to hlavne ich stavebných objektov, dnových uzáverov ako aj samotných hrádzových telies je plne funkčný a prevádzka s manipuláciou bezpečná. Terajšie využitie je zameraná na transformáciu povodňovej vlny aj keď retenčný priestor u väčšiny z nich podstatne neovplyvňuje prechod povodňových prietokov, ďalej je to športový rybolov, chov rýb a rekreácia.

Tab. 1 Zoznam malých vodných nádrží v územnej pôsobnosti prevádzkového strediska Rimavská Sobota

Názov VS / kategória	Vodný tok	Uvedenie do prevádzky	Typ priehrady	Výška priehrady / objem nádrže.
Gemerský Jablonec / III	Gortva	1998	Zemná hom.	9 m / 2 490 000 m ³
Hostice / III	Mačací	1968	Sypaná heter.	6,6 m / 1 010 000 m ³
Miková / III	Muráň	1964	Zemná hom.	8,4 m / 1 100 000 m ³
Bottovo / III.	Belínsky	1978	Zemná hom.	6,10 m / 357 000 m ³
Martinová / III.	Belínsky	1961	Zemná hom.	4,10 m / 483 000 m ³
Číž / III.	Téška	1962	Zemná hom.	5,80 m / 341 500 m ³
Kurinec / III.	Lukva	1967	Zemná hom.	7 m / 480 000 m ³
Gemerské Teplice / IV.	Hlavište	1964	Zemná heter.	6,15 m / 648 000 m ³
Včelince / IV.	Hubovský	1973	Zemná hom.	3 m / 214 400 m ³
Bátka / IV.	Ganajdok	1962	Zemná hom.	6,30 m / 210 000 m ³
Tachty / IV.	Gortva	1978	Zemná hom.	6,80 m / 995 000 m ³
Chrámeč / IV.	Čikava	1967	Zemná hom.	5,85 m / 241 021 m ³
Otročok / IV.	Rašický	1983	Zemná hom.	5,70 m / 389 880 m ³
Vyšný Skálnik / IV.	Vyvieračka	1967	Zemná hom.	2,25 m / 22 000 m ³
Radnovce / IV.	Cerovo	1966	Zemná hom.	4,67 m / 53 050 m ³
Kružná / IV.	Kružný potok	1965	Zemná hom.	4,70 m / 91 000 m ³
Muránska Lehota 1 / IV.	Lehotský	1961	Zemná hom.	3 m / 41 000 m ³
Muránska Lehota 2 / IV.	Lehotský	1961	Zemná hom.	3 m / 41 000 m ³



Obr. 1 *VS Gemerský Jablonec*



Obr. 2 *VS Hostice*



Obr. 3 *VS Miková*



Obr. 4 *VS Bottovo*



Obr. 5 *VS Martinová*



Obr. 6 *VS Číž*



Obr. 7 *VS Kurinec*



Obr. 8 *VS Gemerské Teplice*



Obr. 9 *VS Včelince*



Obr. 10 *VS Bátka*

3 SÚČASNÝ TECHNICKÝ STAV MALÝCH VODNÝCH NÁDRŽÍ A AKTUÁLNA MIERA ICH VYUŽITIA

V rámci územnej pôsobnosti SVP š.p. Povodie Hornádu, odštepný závod Košice sa na Prevádzkovom stredisku Rimavská Sobota nachádza 18 malých vodných nádrží, ktoré boli delimitované v roku 1994 do správcovstva a vlastníctva od bývalej Štátnej melioračnej správy do majetku Slovenského vodohospodárskeho podniku š.p. (Tab. 1). Je nutné skonštatovať, že mnohé z nich boli od výstavby a uvedenia do prevádzky značne zanedbané bez náležitej pozornosti v podobe opráv a údržby. Dnes môžeme konštatovať, že súčasný stav a to hlavne ich stavebných objektov, dnových uzáverov ako aj samotných hrádzových telies je plne funkčný a prevádzka s manipuláciou bezpečná. Terajšie využitie je zameraná na transformáciu povodňovej vlny aj keď retenčný priestor u väčšiny z nich podstatne neovplyvňuje prechod povodňových prietokov, ďalej je to športový rybolov, chov rýb a rekreácia.

4 KRAJINOTVORNÝ VÝZNAM A EKOLOGICKÁ FUNKCIA MALÝCH VODNÝCH NÁDRŽÍ

Z pohľadu krajinotvorného významu tvoria Malé vodné nádrže jedinečné vodné prostredie pre rôzne druhy živočíchov ako aj pre samotného človeka, kde vodná plocha vytvára prostredie pre možnosti vývoja a rozvoja vodomilných druhov. Čo sa týka ekologických funkcií sa Malé vodné nádrže nachádzajú v rôznych stupňoch ochrany prírody a krajiny, kde sú súčasťou Chráneného vtáčieho územia Porimavie, Slaná a Rimava. Svojou pozíciou a umiestnením prispievajú výraznou a významnou mierou k biodiverzite vo forme flóry a fauny.

5 SÚČASNÉ VYUŽITIE MALÝCH VODNÝCH NÁDRŽÍ

V súčasnosti klimatickú zmenu a problémy s ňou spojené citlivo a podrobne vníma už veľká časť odbornej verejnosti, najmä ľudia, ktorí sa danej problematike venujú a to z oblastí hydrologie, meteorológie, ekológie, pedológie, klimatológie, lesného hospodárstva, ako aj iných vedných odborov. Táto skutočnosť vyvoláva množstvo otázok, na ktoré nie je ľahké odpovedať, ale treba tie odpovede hľadať a pristúpiť tak k spoločnému riešeniu problémov vyplývajúcich z týchto zmien. Ak dnes chceme globálne zmierňovať negatívny vplyv klimatickej zmeny na spoločnosť, musíme najskôr začať na lokálnej úrovni. SVP, š.p. OZ Košice, Prevádzkové stredisko Rimavská Sobota ako správca a vlastník a správca vodných stavieb spravuje 18 malých vodných nádrží v kategórii III., IV., ktoré majú výrazný vplyv na krajinu, jej ekologickú stabilitu, hydrický režim, ochranu pôdy, prírodný a rekreačný potenciál. Keďže pôvodné – primárne využitie Malých vodných nádrží bolo zabezpečenie dostatočného množstva závlahovej vody pre poľnohospodárske využitie zaniklo je nepochybne potrebné sa zamyslieť na ich ďalšom využití a to v procese klimatických zmien. Ako je zrejmé z mnohých vedeckých štúdií a prác je zaznamenaný nárast teploty ovzdušia a to z dôvodu nárastu emisií CO₂ do ovzdušia. V našich klimatických podmienkach je zaznamenaný nárast a prerozdelenie zrážok v čase a priestore čoho následkom sú časté lokálne - prívalové povodne. Opačným príkladom je prípad suchého – bez zrážkového obdobia (leto 2022) kedy sme na mnohých vodných tokoch zaznamenali úplné vyschnutie tokov, pričom na vodných tokoch, kde boli vybudované Malé vodné nádrže bol sanitárny prietok zabezpečený prostredníctvom vypúšťania sanitárneho prietoku a zároveň zabezpečený biologický prietok v danom vodnom toku. Jednou z možností pre aspoň čiastočnú elimináciu uvádzaných klimatických zmien je udržiavať Malé

vodné nádrže v bezchybnom a prevádzky schopnom stave s plne funkčnými technickými zariadeniami, dostatočným zásobným a retenčným priestorom.

6 ZÁVER

Vzhľadom na skutočnosť, že mnohé z uvedených Malých vodných nádrží majú viac ako 50 - rokov je ich zásobný priestor v mnohých prípadoch značne zanesený sedimentami a ich skutočný zásobný priestor nezodpovedá pôvodnému projektovanému stavu. V najbližšej budúcnosti je potrebné zabezpečiť odstránenie sedimentov za účelom zvýšenia na minimálne pôvodný, teda projektovaný stav čo si vyžiada značný objem finančných prostriedkov ako aj časovo zdĺhavý proces z pohľadu zabezpečenia legislatívnych povolení a procesov z dôvodu komplikovanosti samotného procesu. Záverom je na mieste poďakovať sa za vykonanú prácu našim predchodcom, ktorí sa podieľali na plánovaní, projektovaní a v neposlednom rade na výstavbe uvedených malých vodných nádrží, pretože tieto vodné diela resp. stavby majú a splňajú požiadavkám súčasnej doby čo bezpochyby prospieva a nemalou mierou prispieva súčasnej dobe.

ZOZNAM LITERATÚRY

[1] SVP, š. p.): *Manipulačné poriadky pre uvedené vodné stavby.*

AUTORI

Ing. Miloš Trocha, Slovenský vodohospodársky podnik, š. p., Povodie Hornádu, odštepný závod Košice, pracovisko: Cukrovarská 6, 979 01 Rimavská Sobota, Slovensko, milos.trocha@svp.sk

POSÚDENIE POVODŇOVÝCH ŠKÔD V OBLASTI PIRAN V DÔSLEDKU STÚPANIA HLADINY MORA

ASSESSMENT OF FLOOD DAMAGE IN THE PIRAN AREA DUE TO RISING SEA LEVELS

Mark Bryan Alivio¹, Simon Rusjan², Andrej Vidmar³, Andrej Kryžanowski⁴

Abstrakt: Tento článok predstavuje výsledky analýzy vplyvu zmeny výskytu morských záplav podľa rôznych scenárov zvyšovania priemernej hladiny mora a z toho vyplývajúceho rozsahu povodňových škôd v oblasti Piranu. Posúdenie vystavenia obyvateľstva a rôznych priestorových prvkov v rámci mesta Piran sa uskutočnilo prekrytím hydrologicky prepojených záplavových území rôznymi súbormi priestorových údajov. Rozsah inundácie a rozloženie hĺbky vody v záplavových územiach sa použili ako vstupy do modelu KR PAN na odhad povodňových škôd pre rôzne scenáre zvýšenia priemernej hladiny mora. Odhady škôd sa vykonali s prihliadnutím na rôzne doby návratnosti morských záplav a ďalej sa použili na vytvorenie pravdepodobnostných kriviek škôd. Výsledky štúdie ukázali, že frekvencia výskytu súčasných extrémnych morských povodní na slovinskom pobreží sa dramaticky zvýši približne 2-násobne na každých 10 cm zvýšenia hladiny mora. Očakávané ročné škody (ORS) v prípade zvýšenia hladiny mora o 30 cm do roku 2100 sa odhadujú na 2,4 mil. eur/rok, pričom 60 - 70 % škôd sa týka obytných budov. V prípade zohľadnenia kritických scenárov zvýšenia hladiny morí sa ORS zvýši na 10,2 mil. eur/rok. Výsledky jasne ukazujú, že povodňové škody v oblasti Piranu sa v dôsledku zvyšovania hladiny morí zvýšia a že miestna komunita sa bude musieť nevyhnutne vyrovnáť s narastajúcimi dôsledkami zvyšovania hladiny morí.

Summary: This paper presents the results of an analysis of the impact of changing sea flood incidences under different scenarios of mean sea level rise and the resulting extent of flood damage in the area of Piran. The assessment of the exposure of the population and various spatial elements within the city of Piran was carried out by overlaying hydrologically connected floodplains with different spatial datasets. The inundation extents and water depth distributions in the floodplains were used as inputs to the KR PAN model to estimate flood damage for different scenarios of mean sea level rise. Damage estimates were made taking into account different return periods of sea flooding and further used to generate probabilistic damage curves. The results of the study showed that the frequency of occurrence of current extreme sea floods on the Slovenian coast will increase dramatically by a factor of about 2 for every 10 cm of sea level rise. The expected annual damage (EAD) in the event of a sea level rise of 30 cm by 2100 is estimated at €2.4 million/year, 60-70% of the damage is related to residential buildings. The EAD rises to €10.2 million/year if critical sea level rise scenarios are considered. The results clearly show that flood damage in the Piran area will increase due to sea level rise and that the local community will inevitably have to cope with the increasing consequences of rising sea levels.

1 INTRODUCTION

Globally, mean sea level rise (MSL) is being recorded at an accelerated rate of 5 mm/year over the five-year period 2014 to 2019 [1], which is significantly faster than the average rate of 3.2 mm/year recorded between 1993 and 2010. The consequences of sea level rise due to climate change are already being, and will continue to be in the foreseeable future, manifested in an increasing frequency and intensity of sea flooding, with severe consequences and impacts on social, economic and ecological conditions. The frequency of extreme flood events with return periods of 100-year or more is also expected to increase, occurring annually or even more frequently in the period up to 2100 under the RCP 8.5 scenario [2]. According to the findings of a study by Vousdoukas et al. [3], up to 90% of the economic damage caused by sea flooding could be avoided if appropriate measures to adapt coastal land-use with adequate flood defences are implemented in the EU area.

Data on sea levels on the Slovenian coast from the period 1960-2015 show that mean sea level has been rising at a rate of 1.7 mm/year and that the cumulative rise in MSL during this period is approximately 10 cm [4]. A more pronounced positive trend in sea level rise has been observed since the 1990's, at a rate of approximately 5 mm/year [5]. Detailed, more accurate projections of future MSL rise along the Slovenian coast due to climate change are not available, nor has their impact been investigated in detail so far. Some authors support a relatively uniform trend of sea level rise in the northern Adriatic Sea area ([5] and [6]), with an expected MSL rise of at least 30 cm by 2100 [5]. According to the RCP4.5 scenario, the Adriatic Sea is projected to rise by 30 to 40 cm, which will increase the frequency of sea inundation along the Adriatic coast by a factor of 26 to 50 by the end of the 21st century [4].

For Slovenia, the coastal area is extremely important for the functioning and development of many economic activities, for the preservation of cultural and built heritage, and for the existence and conservation of natural protected areas. Virtually all activities taking place in the coastal zone will inevitably have to cope with the consequences of rising sea levels and more frequent flooding. The area most exposed to sea flooding on the Slovenian coast is the old core of the town of Piran [7], which, due to its characteristic location in the coastal zone, is exposed to sea tides and other weather factors (e.g. strong winds, waves) that cause damage to public infrastructure and often prevent the normal use of urban areas. In terms of planning future land use and flood protection measures in the area of Piran, it is essential to assess the potential flood damage that can be expected from sea level rise. Past flood events and some of the few studies that have already been carried out clearly show the critical flood risk of Piran. Analyses of expected flood damage in the Piran area will provide key information that stakeholders at different levels of governance (from municipal to national level) will need to find the most appropriate solutions for flood protection.

2 METHODS

An analysis of the future occurrence of sea flooding and a further analysis of the expected annual damage (EAD) was carried out considering different scenarios of MSL rise according to the scenarios predicted by the IPCC (Tab. 1). For each scenario, sea floods with 2-, 5-, 10-, 100-, 500- and 1,000-year return periods were statistically evaluated. The official digital elevation model of Slovenia, based on official Lidar imagery, was taken as the basic input topographic data. The derived sea level levels for different combinations of sea level rise scenarios and return periods of flood events were used in the GIS tool for the definition of flood polygons. A static sea inundation model was used. In the further analysis of the GIS due to sea inundation, 42 combinations of input data were considered in the software tool KR PAN (Cumulative Flood Damage Accounts and Analyses) [8].

The obtained flood polygons were overlaid on spatial data included in the KR PAN software tool, such as: data from the cadastre of buildings, the central register of population, the summary cadastre of utilities, the business register of Slovenia, the register of cultural heritage, etc. The result of using the KR PAN software tool was a breakdown of the damage for each spatial entity. Given the specific characteristics of the city of Piran, the analysis mainly focused on the aspects of damage to residential properties, threats to cultural heritage, public utility infrastructure, economic activities, and the potential costs of clean-up and temporary accommodation. Taking into account the trapezoidal rule [9] and the probability of occurrence of individual flood events, EAD to sea flooding in the area of Piran was calculated for different sea level rise scenarios.

3 RESULTS AND DISCUSSION

The results of the statistical analysis of sea levels under different MSL rise scenarios show that sea level rise would have a significant impact on the frequency of sea flooding events (Tab. 1). The highest sea level recorded so far, 1.85 m in November 1969, which has an estimated return period of approximately 200-year, would be transformed into an event with a return period of approximately 100-year in the event of a MSL rise of 10 cm. Given that there is a relatively high probability of a sea level rise of 30 cm by 2100 [5], under such a scenario the return period of the 1969 extreme event would be reduced to approximately 25-year, a fourfold increase in the frequency of occurrence, and the 5-year event would become an annual event in terms of the probability of occurrence by 2100. Significant changes will also occur in the probability of occurrence of extreme flood events. A 500-year return period sea flood would be reduced to 13- to 235-year under the S1 to S5 sea rise scenarios, and a 1,000-year return period flood would be reduced to 25- to 458-year. Overall, the increase in the probability of a sea-flood event follows a trend where a 10 cm increase in MSL level results in an approx. 50% reduction in the return period of the event or a doubling of the probability of a sea-flood event.

Tab. 1 *MSL Rise Scenarios considered and estimated return periods of flood events under different scenarios of MSL rise in the Slovenian coastal area*

MSL Rise Scenario:		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
MSL Rise	[m]	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.84	1.46
Sea flood return period [year]	Sea level rise [m]	Estimated Sea flood return period, taking into account MSL Rise Scenarios [year]						
2	1.19	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
5	1.34	2.5	1.2	<1	<1	<1	<1	<1
10	1.44	5.2	2.5	1.2	<1	<1	<1	<1
100	1.75	49.7	24.1	11.7	5.6	2.7	<1	<1
500	1.97	235.0	113.8	55.1	26.7	12.9	1.1	<1
1,000	2.06	458.4	222.1	107.6	52.1	25.3	2.1	<1

The increasing exposure of coastal areas will require a good definition of the expected spatial extent of sea flooding and data on flood water depths. The spatial extent of sea flooding, considering a flood event with a return period of 10- and 100-year for different MSL rise scenarios in the area of Piran, is shown in Fig. 1, which shows that sea flooding is pronounced mainly in low-lying coastal areas, and the spatial extent of flood water spreading depends on the MSL rise scenario considered. It is evident that the Old Town of Piran, where there is a high density of built-up areas with accompanying urban infrastructure, economic activities and

cultural heritage facilities, will be strongly threatened by increasing flood events [7]. In the event of flood events with short return periods (e.g. 2- to 5-year), the lowest coastal areas are already highly exposed to sea inundation. If a 10 cm MSL rise is considered, the extent of flooded areas will increase by 43% for a 2-year event and 36% for a 5-year event, relative to the current situation, which will of course represent a significant increase in flood risk to many other important urban elements of Piran.

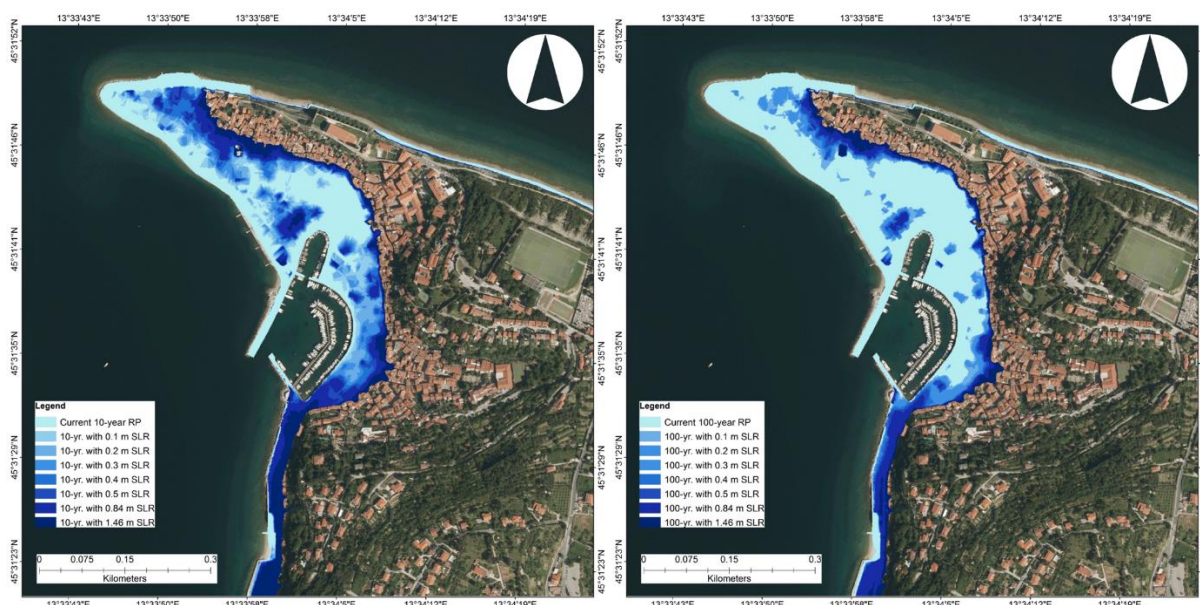


Fig. 1 Showing the sea inundation zones in the Piran area for the 10- and 100-year flood event considering different scenarios of sea level rise

Fig. 2 shows the increase in the flooded area under the considered MSL rise scenario, depending on the return period of the flood event. The dynamics of the increase in the area of flooded areas is most pronounced in the case of flood events with a return period of 2-, 5-, 10-year, which is conditioned by the specific topographic characteristics of the coastal area under consideration.

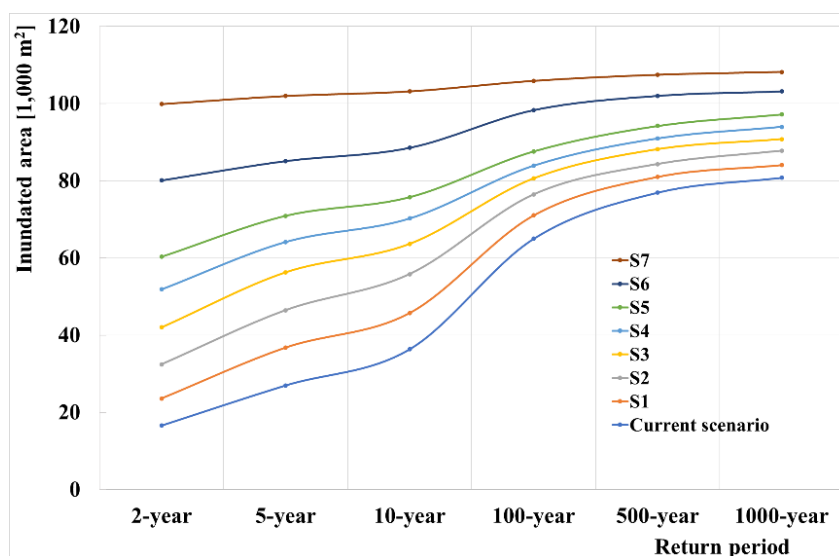


Fig. 2 Variability of the extent of flooded areas in the city of Piran under different scenarios of MSL rise and different return periods

The sea naturally inundates the lower-lying coastal areas first, and in the range of sea level levels up to approximately the 10-year return period, the volume of inundated areas increases

by approximately 9,000 m² for every 10 cm of sea level rise. In the case of higher return periods and further sea level rise, the expansion of the flooded area slows down. The further increase in the extent of flooded areas is approximately 4,000 m² for every 10 cm of sea level rise, which is related to the marked rise in land elevation in the immediate hinterland of the lower-lying coastal area. In the event of a 30 cm MSL rise by 2100, it is projected that extremely extreme flood events will completely inundate approximately 20% of the area of Piran under consideration, with all lower lying areas being completely inundated.

It is also worth noting that small flood events with return periods of up to approximately 10-years, taking into account current mean sea levels, cause a relatively limited range of negative impacts. However, there is no doubt that a marked increase in the frequency of flooding, with the MSL rising to the level of normal flood events occurring several times a year, will cause many additional problems for the normal functioning and use of the urban areas of Piran, the inhabitants of the town, the numerous economic activities and the cultural heritage elements.

The expected damage (ED) is determined on the basis of knowledge of the water depth, the number and size of the exposed elements in a given area, the structural damage to the individual element and the economic value of the individual elements in a given area. ED for the different elements of flood vulnerability in the area of Piran represents mainly direct material damage, the extent of which is largely defined by the extent of sea inundation and the depths of flood waters reached. Fig. 3 shows the relationship between the probability of occurrence of a flood event and the values of ED for the different MSL rise scenarios. The significant impact of the MSL rise considered on the total extent of damages for the same probability of a flood event can be seen.

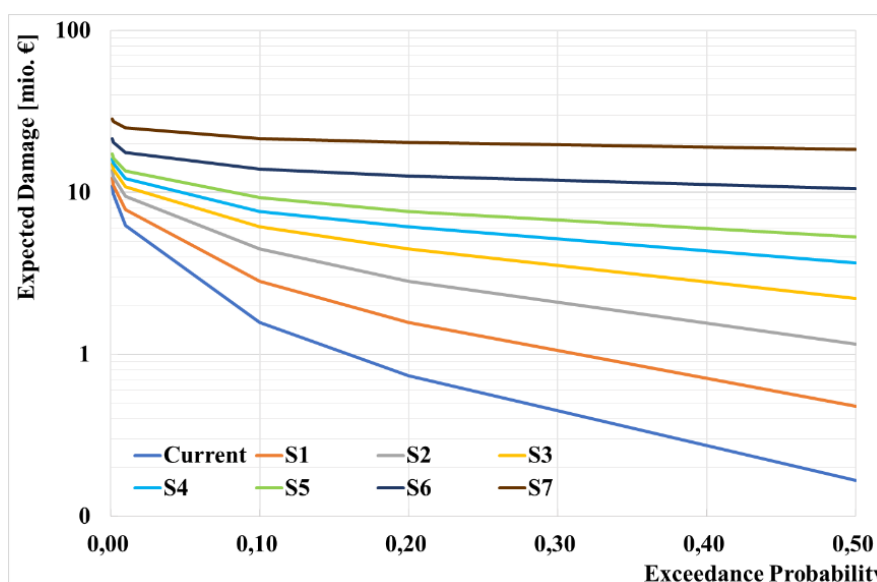


Fig. 3 Relationship between the probability of a flood event and the expected damage for different scenarios of MSL rise

EAD is defined as the sum of the product of the ED and the likelihood of the flood event. Geometrically, EAD represents the area under the curve as shown in Fig. 3. The values of EAD in the area of Piran for the different scenarios of MSL rise are shown in Fig. 4.

It can be clearly seen that there is a marked increase in the extent of the flood damages depending on the MSL rise scenario.

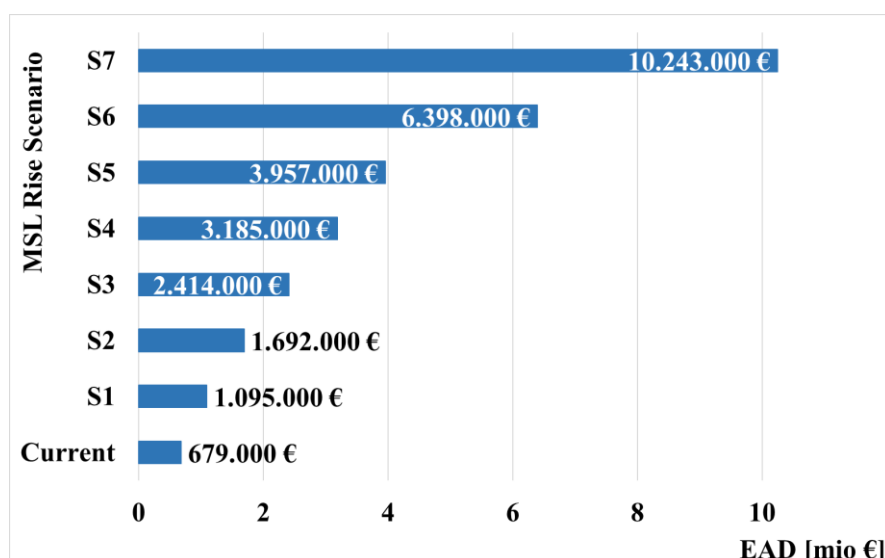


Fig. 4 Expected annual damage (EAD) in the Piran area for different MSL rise scenarios

The EAD calculations show that the total cost of flood damage, taking into account current mean sea levels, is around €0.68 million/year. It should be noted that if sea levels were to rise according to the most pessimistic scenario, which foresees a 1.46 m rise in MSL, the EAD would rise to as much as €10.2 million/year. The analysis of the EAD shows that for every 10 cm increase in MSL between 30 cm and 50 cm, the increase in the EAD will be fairly constant and will amount to approximately € 0.76 million/year. If we follow the repeatedly mentioned scenario of an increase in MSL of at least 30 cm by 2100 [5], in such a situation Piran would suffer a EAD of EUR 2.4 million/year. In the extreme scenarios of MSL rise S6 or S7 and flood events with low probability of occurrence, the EAD would be significantly higher than the current values, by a factor of approximately 9.4 and 15.1 respectively.

4 CONCLUSION

In this study, we have analysed the impact of the expected MSL increase on the extent of flood damage in the area of Piran, the most flood-prone part of the Slovenian coast. A statistical analysis of the return periods of flood events under different sea level rise scenarios revealed that the frequency of flood events will increase by a factor of 2 on average for every 10 cm of MSL rise, without taking into account the impact of weather events, which according to many forecasts are expected to be more stormy and, in combination with sea level rise, will undoubtedly pose an additional threat of more frequent flooding in the Piran area.

The estimated values of expected annual damage in Piran shows a marked upward trend with a projected increase in the MSL from an estimated value of EUR 0.68 million/year under current conditions up to approx. EUR 10.2 million/year in the case of the most extreme scenario of MSL increase. The analysis shows that the most exposed properties are the residential properties, which will suffer the most damage from flooding. Therefore, regardless of the sea level rise scenario considered, it is evident that the repair of flood damage in the area of Piran will represent an increasing financial burden for the residents and the local community in the foreseeable future. It is therefore urgent to take a comprehensive approach to planning flood protection measures as soon as possible in order to significantly limit the extent of flood damage.

ACKNOWLEDGMENT

This research received funds from the Slovenian Research and Innovation Agency - Target research programme, No.: V2-2369.

LITERATURE

1. *World Meteorological Organization (WMO). (2019). The Global Climate in 2015 - 2019. Geneva, Switzerland.*
2. *IPCC. (2019). IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. In press.*
3. *Vousdoukas, M.I., Mentaschi, L., Hinkel, J. et al. (2020). Economic motivation for raising coastal flood defences in Europe. Nat Commun 11, 2119.*
4. *Strojan, I. and Robič, M. (2016). Sea level. Slovenian Environment Agency.*
5. *Ličer, M. (2019). Climate change and sea level rise in the North Adriatic. National Institute of Biology - Marine Biological Station Piran.*
6. *Zanchettin, D., Bruni, S., Raicich, F., Lionello, P., Adloff, F., Androsov, A., Zerbini, S. (2020). Review article: Sea-level rise in Venice: historical and future trends. Doi:10.5194/nhess-2020-351*
7. *Vahtar M. (2006). Institute for Integral Development and Environment. Eurosion case study on the Slovenian coast, Eurosion project.*
8. *FGG, (2019). Developing a unified method for assessing the benefits of construction and non-construction measures for flood risk reduction. Final project report.*
9. *Olsen, A., Zhou, Q., Linde, J., & Arnbjerg-Nielsen, K. (2015). Comparing Methods of Calculating Expected Annual Damage in Urban Pluvial Flood Risk Assessments. Water, 7(12), 255-270. Doi:10.3390/w7010255*

AUTHORS

Author 1: Assist. Mark Bryan Alivio, UL Faculty of Civil Engineering, Jamova 2, Ljubljana, Slovenia, markbryan.alivion@fgg.uni-lj.si

Author 2: Assoc. Prof. Dr. Simon Rusjan, UL Faculty of Civil Engineering, Jamova 2, Ljubljana, Slovenia, simon.rusjan@fgg.uni-lj.si

Author 3: Sci. Assoc. Dr. Andrej Vidmar, UL Faculty of Civil Engineering, Jamova 2, Ljubljana, Slovenia, andrej.vidmar@fgg.uni-lj.si

Author 4: Assoc. Prof. Dr. Andrej Kryžanowski, UL Faculty of Civil Engineering, Jamova 2, Ljubljana, Slovenia, andrej.kryzanowski@fgg.uni-lj.si

PROPOJENÍ ZBYTKOVÉ JÁMY LIBOUŠ S VODNÍM DÍLEM NECHRANICE

CONNECTION OF THE LIBOUŠ SURFACE QUARRY WITH THE NECHRANICE WATER RESERVOIR

Petra Suchopárková¹, Petr Smrž², Ondřej Švarc³

Abstrakt: V současné době je hnědouhelný lom Libouš jedním z největších aktivních velkolomů v České republice. Na základě vládních usnesení se ukončení těžby a zahájení konečných fází rekultivace území předpokládá mezi roky 2030 až 2041. Při řešení vodohospodářské problematiky podkrušnohorské hnědouhelné pánve po ukončení těžby hnědého uhlí a rekultivaci území je v současné době řešena také alternativa přímého propojení vodního díla Nechranice se zbytkovou jámou Libouš. Vodohospodářským řešením propojení vodních ploch VD Nechranice – Libouš bylo zhodnoceno posílení zásobního a retenčního prostoru nádrže pro účely VD Nechranice a přínosy v území na dolní Ohři. Provedeným posouzením bylo prokázáno, že propojením nádrže Nechranice a jezera Libouš se výrazně zvýší nadlešovací efekt v řece Ohři pod VD Nechranice, a to až o 24 % oproti současnému stavu. Propojení zároveň umožní zajistit současný nadlešovací účinek na dolní Ohři i pro nejvzdálenější horizont klimatické změny (rok 2100). Vzhledem ke skutečnosti, že realizace nových zásobních nádrží na dolní Ohři není v současnosti reálná, jedná se o vynikající příležitost adaptace vodních zdrojů v daném zemědělsky silně využívaném území na klimatickou změnu.

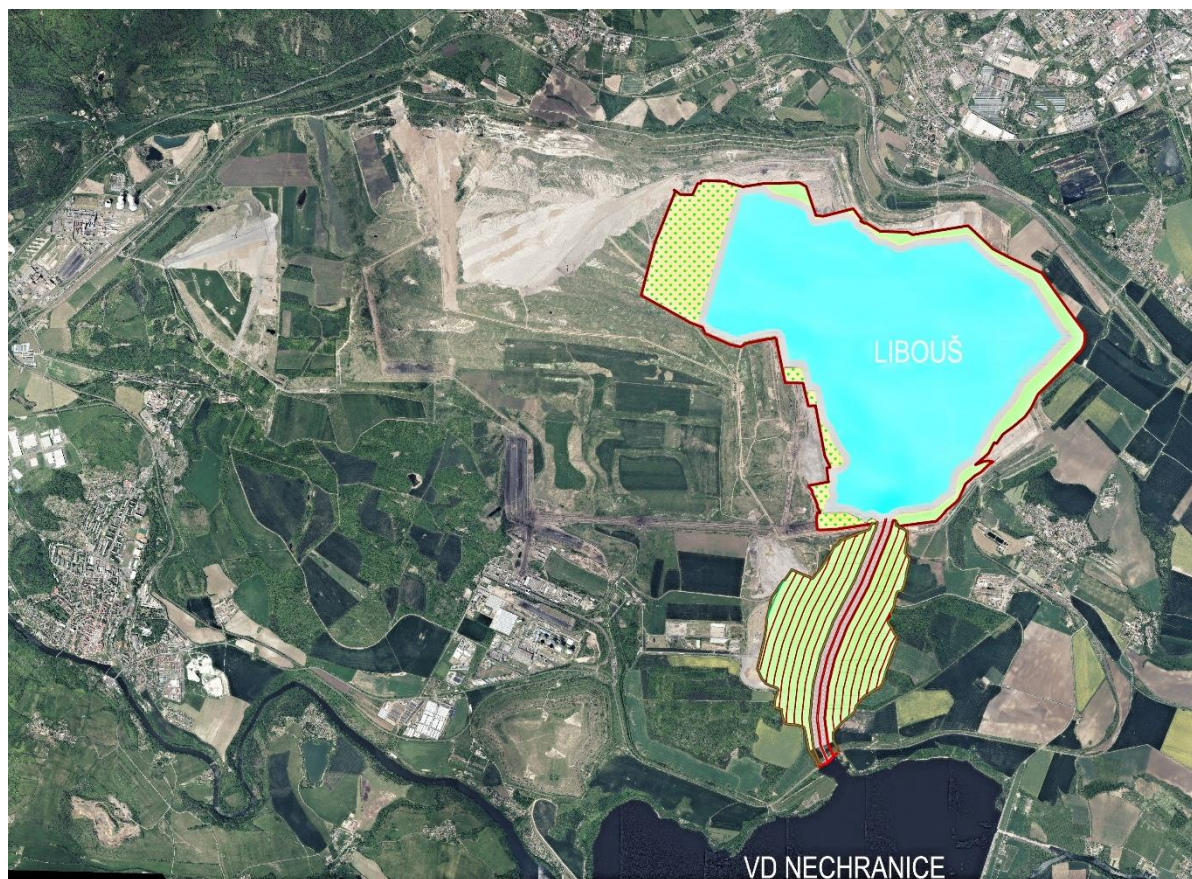
Abstrakt: The Libouš surface quarry is currently one of the largest active quarries in the Czech Republic. Based on government resolutions, mining is expected to be stopped in the period 2030-2034. In connection with the closure of mining, the possibility of a connection between the Nechranice water reservoir and the Libouš quarry is being assessed. The assessment of the interconnection has been carried out in order to obtain new storage and retention capacity in the reach of Ohře river downstream of the Nechranice dam. The possible connection would significantly increase the possibility of improving flows by up to 24% compared to the current situation, even considering the furthest horizon of climate change of 2100.

Due to the fact that the realization of new storage reservoirs on the lower Ohře River is currently not realistic, this is an excellent opportunity how to create new water resources in this heavily used agricultural area.

1 ÚVOD

Vodní dílo Nechranice leží přibližně v polovině toku řeky Ohře mezi městy Chomutov, Kadaň a Žatec. Jedná se o největší přehradní nádrž v povodí Ohře s celkovým objemem nádrže 287,6 mil. m³ při zatopené ploše 13,38 km². V blízkosti tohoto vodního díla se nachází jeden z nejrozsáhlejších povrchových lomů Mostecké uhelné pánve. (Obr. 1)

Možností propojení vodního díla Nechranice a sousedící zbytkové jámy hnědouhelného lomu Libouš se zabývala technickoekonomická studie zpracovaná v lednu 2022, [1] jejímž úkolem bylo nalezení technicky a ekonomicky optimální varianty tohoto propojení včetně navázání na okolní rekultivované plochy. Zároveň byla řešena problematika obtoku vzniklého jezera, z důvodu zajištění minimálního zůstatkového průtoku ve vodním toku Hutná, z přivaděče průmyslové vody a z krušnohorských vodních toků dané oblasti.



Obr. 1 Situace propojení VD Nechranice a povrchového lomu Libouš - var. otevřeného kanálu

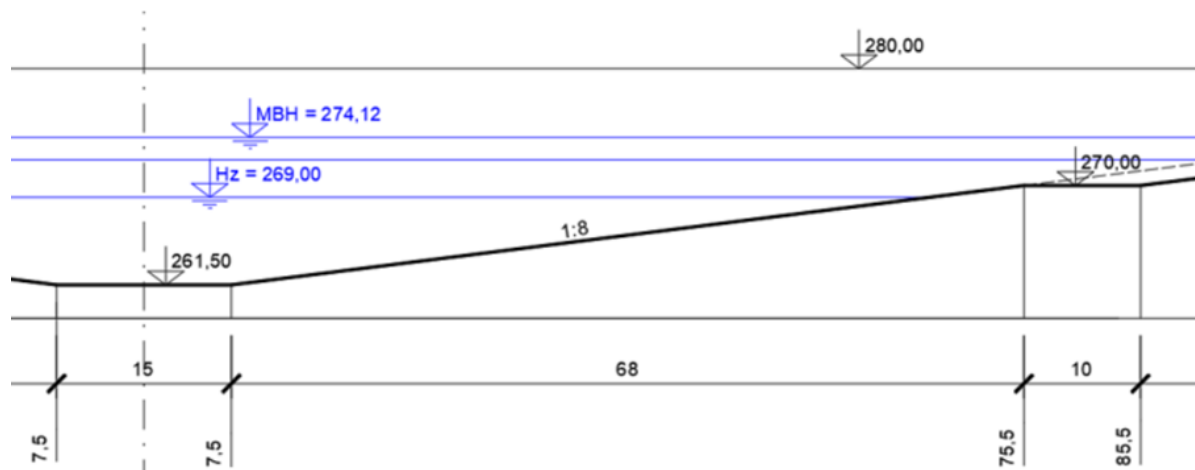
2 TECHNICKÉ ŘEŠENÍ

Technicky byly řešeny tři způsoby propojení – otevřeným korytem (kanálem), štolovým přivaděčem a kombinací štoly a koryta. Variantními hydraulickými výpočty bylo prokázáno, že jakékoli propojení vodních ploch kombinující otevřené koryto a štolový přivaděč nemá prakticky žádný vodohospodářský efekt, proto byly rozpracovány pouze dvě zbývající varianty otevřeného koryta a štolového přivaděče.

Základními podklady k jednotlivým koncepčním návrhům byly aktuální digitální model terénu zájmové oblasti s báňským ukončením těžby v roce 2041, variantní vodohospodářské řešení zásobní a ochranné funkce propojených vodních ploch, hydraulické výpočty a výpočty stability svahů propojovacího koryta a břehů budoucího jezera.

2.1 Varianta otevřeného kanálu

Otevřený kanál byl navržen o celkové délce 3,2 km lichoběžníkového tvaru se šířkou ve dně 15 m a sklony svahů 1:8. (Obr. 2). Dno je vodorovné a neopevněné, svahy jsou až do úrovně lavice opevněny kamenným pohozem. Na nechranické straně kanálu je navržen uzávěrový objekt sdružený s přemostěním komunikace druhé třídy. Kanál umožní plavbu lodí v rekreační třídě vodní cesty I. Návrh trasy kanálu propojujícího nádrž VD Nechranice s budoucím jezerem Libouš zohledňuje požadavek minimalizace zásahu do původní krajiny. Celý zábor kanálu zasahuje výhradně do krajiny přetvořené ukládáním skrývkových materiálů (výsypky) a produktů spalování uhlí (úložisko popílku a směs s popílkem).



Obr. 2 Výsledný příčný profil propojovacího kanálu (symetricky druhý břeh)
 Pozn.: MBH - mezní bezpečná hladina pro VD Nechranice
 Hz- horní hranice zásobního prostoru nádrže VD Nechranice

2.2 Varianta štolového přivaděče

Štolový přivaděč by měl obdobně jako otevřený kanál nulový podélný sklon a je na obou koncích opatřen uzavěrovou šachtou. Ražba tunelu světlého průměru 5 m by byla realizována zeminovým štítem. Délka ražené části přivaděče je 2,7 km.

Při jeho výstavbě by byl vytěžen jen zlomek zeminového materiálu v porovnání s výkopem propojovacího koryta (kanálu). Oproti otevřenému kanálu ale nedokáže splnit všechny požadované vodohospodářské funkce a při výstavbě a provozu lze očekávat komplikace související se složitou geologickou stavbou podloží. Velkým otazníkem je způsob provádění provozní kontroly a údržby.

2.3 Zbytková jáma Libouš

Významným prvkem technického řešení jezera je stabilizace strmých svahů zbytkové jámy Libouš. Bude provedena přitěžovacím násypem ze zemin těžených při výkopu propojovacího kanálu. Přebytný materiál bude uložen na dno jezera. V případě ražby štoly by musel být materiál na stabilizaci svahů jezera těžen z výsypků v prostoru dolu. Na hrubé zeminové práce se počítá s nasazením těžké důlní techniky – rýpadla a pásových dopravníků. V rámci rekultivačních prací se v rozpětí pohybu hladiny vody v nádrži navrhuje celý obvod jezera Libouš opevnit kamenným pohozem.

3 VODOHOSPODÁŘSKÉ ŘEŠENÍ

Cílem vodohospodářského řešení propojení vodních ploch VD Nechranice – Libouš bylo zhodnocení takto posíleného zásobního a retenčního prostoru nádrže pro účely VD Nechranice a přínosy v území na dolní Ohři.

3.1 Retenční funkce

K posílení retenční funkce VD Nechranice dojde převáděním části objemu povodňových vln do jezera Libouš, což umožní redukovat kulminaci odtoku pod hrází a zvýšit ochranu před povodněmi na dolní Ohři a dále na dolním Labi. Za současné situace nádrží Nechranice poskytuje níže ležícímu území ochranu před povodněmi na necelou teoretickou 20letou vodu. Posouzení retenční funkce bylo provedeno transformací zimní teoretické povodňové vlny s dobou opakování 100 let. U varianty propojení otevřeným korytem je výsledkem analýzy zjištění, že hladina v jezeře Libouš komunikuje jen s velmi malým zpožděním za hladinou v nádrži Nechranice. Maximální převýšení hladiny v nechranické nádrži činí 0,14 m, maximální průtok spojovacím korytem je cca $300 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a odpovídá mu střední profilová rychlost $0,32 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Kapacita koryta plně prokázala schopnost využít maximálně efektivně retenční prostor jezera Libouš pro transformaci povodňových vln. U varianty propojení štolovým přivaděčem je výsledkem analýzy zjištění, že štola s průměrem $D = 3,0 \text{ m}$ nemá na retenční potenciál nádrže Nechranice téměř žádný příznivý vliv. Je to dáno skutečností, že komunikace jezera Libouš s nádrží Nechranice není při povodňových průtocích dostatečná z důvodu omezené kapacity štoly. Ani propojení dvěma štolami průměru $D = 5 \text{ m}$ není z pohledu využití retenční funkce jezera Libouš dokonalé (Tab. 1).

Tab. 1 Porovnání retenčního účinku pomocí transformací TPVN pro variantu současného stavu (bez propojení) a pro variantu s propojením VD Nechranice a jezera Libouš: a) jednou štolou 3,0 m, b) dvěma štolami 5,0 m, c) dokonalé propojení (otevřené koryto).

Kóta ovladatelného retenčního prostoru (po modernizaci přelivu VD Nechranice)	TPV			100 zimní	50 zimní	20 zimní	10 zimní
	počáteční hladina	H_0	[m n. m.]	269,00	269,00	269,00	269,00
kulminace přítok	P_{\max}	$[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	753	648	509	415	
objem PV nad Oneš= $200 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	W	[mil. m^3]	104,3	81,7	48,7	29,4	
kulminace odtok	současný stav	O_{\max}	$[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	380	312	221	200
	štola 1 × DN3000	O_{\max}	$[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	376	307	216	200
	štola 2 × DN5000	O_{\max}	$[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	333	259	200	200
	otevřené koryto =dokonalé propojení	O_{\max}	$[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	268	220	200	200

Legenda:

Oneš - neškodný odtok z VD Nechranice, O_{\max} - kulminační odtok z VD Nechranice

3.2 Zásobní funkce

Provedeným posouzením bylo prokázáno (Tab. 2), že propojením nádrže Nechranice a jezera Libouš všemi uvažovanými variantami se výrazně zvýší nadlepšovací efekt v řece Ohři pod VD Nechranice, a to až o 24 % oproti současnému stavu. Propojení zároveň umožní zajistit současný nadlepšovací účinek na dolní Ohři i pro nejvzdálenější horizont klimatické změny (rok 2100). Vzhledem ke skutečnosti, že realizace nových zásobních nádrží na dolní Ohři není

v súčasnosti reálna, jedná sa o vynikajúcu príležitosť adaptácie vodných zdrojů v danom zemědělsky silně využívaném území na klimatickou změnu.

Tab. 2 Výsledky VH řešení zásobní funkce

varianta klimatu	Celkové nadlepšení (MZP + ΔQ)		navýšení nadlepšení díky propojení	
	VD Nechranice	VD Nechranice a jezero Libouš	[m ³ .s ⁻¹]	[%]
	[m ³ .s ⁻¹]	[m ³ .s ⁻¹]		
současné klima	12,3	15,2	2,9	23,6
časový horizont 2050	11,5	14,1	2,6	22,6
časový horizont 2100	10,0	12,4	2,4	24,0

3.3 První napouštění

Součástí vodohospodářského řešení propojení vodních ploch bylo i stanovení harmonogramu prvního napouštění jezera Libouš. Velikost plnicího průtoku byla uvažována hodnotou maximálně 2 m³.s⁻¹, což je průtok, který lze kapacitně zajistit v obou případech propojení jezera Libouš a VD Nechranice. Analýza prvního plnění byla zpracována pro hydrologické podmínky dle současného klimatu (2020) a pro dva časové horizonty klimatické změny: 2050 a 2100. Pro posouzení doby prvního plnění byly zvoleny tři varianty převodu vody z VD Nechranice. Varianta 1 vychází z požadavku, aby celková doba plnění byla, v souladu s dříve zpracovanými dokumenty, 10 let. Této doporučené době plnění odpovídá potřebný průměrný převod z VD Nechranice o velikosti 0,79 m³.s⁻¹. Varianta 2 a 3 slouží pro posouzení citlivosti harmonogramu plnění na velikosti převodu a uvažují převod 1,0 m³.s⁻¹ a 2,0 m³.s⁻¹. Vzhledem ke skutečnosti, že přítoky z vlastního povodí a přítok z hlubokých zvodní činí jen malý zlomek převodu z VD Nechranice, bylo provedenými výpočty prokázáno, že plánování harmonogramu prvního plnění jezera Libouš je velmi spolehlivé (Tab. 3).

Tab. 3 Průměrné doby plnění (T_{pr}) a doby plnění s 95 % zabezpečeností (T₉₅).

	Q převod	klima 2020		klima 2050		klima 2100	
		T _{pr}	T ₉₅	T _{pr}	T ₉₅	T _{pr}	T ₉₅
	[m ³ .s ⁻¹]	[roky]	[roky]	[roky]	[roky]	[roky]	[roky]
Varianta 1	0,79	9,8	9,9	10,1	10,2	10,6	10,8
Varianta 2	1,00	7,7	7,8	7,9	8,0	8,2	8,3
Varianta 3	2,00	3,8	3,8	3,9	3,9	3,9	4,0

4 ZHODNOCENÍ VARIANT PROPOJENÍ

Porovnání obou řešených variant bylo provedeno pomocí multikriteriálního hodnocení, pro posouzení byla vybrána kritéria jako plnění požadovaných vodohospodářských funkcí, ekologické hledisko, investiční a provozní náklady, ekonomické přínosy v území pod VD Nechranice, bezpečnost a provozní spolehlivost a trvanlivost a údržba.

Ve výsledném hodnocení dosahuje štola lepších výsledků jen ve dvou kritériích – investiční náklady a provozní náklady. Vyšší náklady na vybudování otevřeného přivaděče však mohou v budoucnu převážit ekonomické přínosy spojené se zvýšením protipovodňové ochrany v území pod přehradou. Ve třech kritériích dosahují oba způsoby propojení shodných výsledků (napouštění, nadlepšování a trvanlivost), v ostatních dominuje propojení pomocí otevřeného koryta. Nejmarkantnější rozdíly jsou u kritérií transformace povodňových vln a nároků na údržbu díla. Z výsledků hodnocení jednoznačně vyplývá preference varianty propojení nechanické nádrže a zbytkové jámy Libouš otevřeným kanálem před štolovým přivaděčem.

5 ZHODNOCENÍ EFEKTIVITY DOPORUČENÉHO TECHNICKÉHO ŘEŠENÍ

V rámci finanční analýzy byly porovnány předpokládané investiční náklady na výstavbu plánovaných vodních děl v ČR s náklady na vybudování jezera Libouš propojením s nechanickou nádrží otevřeným korytem. Srovnávacím kritériem byl náklad na vytvoření 1 m³ disponibilního objemu nádrže určeného součtem objemu zásobního a retenčního prostoru. U plánovaných vodních děl v ČR se cena 1 m³ disponibilního objemu nádrže pohybuje v intervalu od 287 do 785 Kč. Z poměru předpokládaných investičních nákladů na realizaci propojení VD Nechanice s jezerem Libouš formou otevřeného kanálu 20 886 mil. Kč a součtu zásobního a retenčního objemu jezera 106,565 mil. m³ vychází cena 1 m³ disponibilního objemu 196 Kč. Z provedeného porovnání vyplývá, že propojení vodních ploch otevřeným kanálem je efektivní.

6 ZÁVĚR

Technicko-ekonomickým posouzením navrhovaného propojení VD Nechanice se zbytkovou jámou Libouš byla vyhodnocena jako optimální varianta realizace otevřeného koryta lichoběžníkového tvaru s šířkou ve dně 15 m a sklony svahů 1:8 o celkové délce 3,2 km. Ze zpracované analýzy vodohospodářského řešení byl prokázán značný potenciál propojení vodních ploch otevřeným korytem ve smyslu posílení zásobní a retenční funkce nádrže Nechanice s významnými vodohospodářskými přínosy pro dolní Ohři.

ZOZNAM LITERATURY

- [1] *VODNÍ DÍLA – TBD a.s. ve spolupráci s Doc. Dr. Ing. Pavlem Fošumpaurem (2022): Propojení zbytkové jámy Libouš s VD Nechanice, technickoekonomická studie*

AUTORI

Autor 1: Ing. Petra Suchopárková, Povodí Ohře, státní podnik, Bezručova 4219, 430 03 Chomutov, Česká republika, suchoparkova@poh.cz

Autor 2: Ing. Petr Smrž, VODNÍ DÍLA – TBD a.s., Hybernská 1617/40, 110 00 Praha 1, Česká republika, smrz@vdtbd.cz

Autor 3: Ing. Ondřej Švarc, VODNÍ DÍLA – TBD a.s., Hybernská 1617/40, 110 00 Praha 1, Česká republika, svarc@vdtbd.cz

VD ORLÍK – ZABEZPEČENÍ VD PŘED ÚČINKY VELKÝCH VOD

SECURING THE ORLÍK DAM AGAINST THE IMPACTS OF EXTREME FLOODS: CURRENT INFORMATION ON THE CONSTRUCTION PROGRESS

Ondřej Hrazdira¹, Tomáš Beržinský²

Abstrakt: Článek seznamuje s aktuálním postupem rekonstrukce vodního díla Orlík, jejímž předmětem je doplnění hráze o druhý bezpečnostní přeliv pro zajištění bezpečného převedení povodně Q10 000. Jedná se o největší rekonstrukci hráze v historii ČR, stavba je výjimečná nejen svým rozsahem a finančními náklady, ale i používanými technologiemi nejen v rámci stavebních prací, ale i v rámci řízení stavby. Stavba byla zahájena po více než 10leté přípravě v říjnu 2021 a pravděpodobně dokončení je v roce 2026. Investorem je státní podnik Povodí Vltavy, Zhotovitelem stavby je společnost Metrostav, a.s. a na stavbě se podílí desítky organizací na straně Objednatele i Zhotovitele.

Náklady vlastní stavby (v době tvorby abstraktu) jsou 1 861 mil. Kč, celkové náklady pak cca 1 950 mil. Kč bez DPH. Stavba je financována z Dotačního programu Ministerstva zemědělství „Prevence před povodněmi IV. A z vlastních zdrojů investora.

Abstract: The article introduces the current procedure of the reconstruction of the Orlík dam, the purpose of which is to supplement the dam with a second safety spillway to ensure the safe transfer of a Q10 000 flood. This is the largest dam reconstruction in the history of the Czech Republic. The reconstruction is exceptional not only in its scope and financial costs, but also in the technologies used not only in the framework of the construction work, but also in the framework of construction management. Construction works began after more than 10 years of preparation in October 2021 and is likely to be completed in 2026. The investor is the state-owned enterprise Povodí Vltavy, the contractor is the company Metrostav, a.s. and dozens of organizations are involved in the construction on both the Client's and the Contractor's side. The costs of the actual works (at the time of creating this abstract) are 1,861 million CZK (74,44 million Euros), the total costs are approx. 1,950 million CZK (78,00 million Euros) without VAT. The construction is financed from the Subsidy Program of the Ministry of Agriculture "Flood Prevention IV" and from the investor's own resources.

1 ZKUŠENOSTI Z PŘÍPRAVY STAVBY

1. Výchozí situace

Zkušenosti s povodní v roce 2002 a náročnější technicko-bezpečnostní požadavky na vodní díla ve světě i u nás vedly státní podnik Povodí Vltavy k rozhodnutí zrealizovat opatření strategického významu, díky kterému dokáže Orlík odolat i zcela extrémním povodním, bezpečně převést desetitisíciletou povodeň s kulminačním průtokem 5 300 m³ za sekundu a omezit riziko zvláštní povodně na úroveň požadovanou aktuálními předpisy. V rámci projektu bude vybudován nový doplňkový bezpečnostní přeliv se třemi poli hrazenými segmentovými uzavěry (každý o šířce 13,3 m a světlé výšce 8,15 m) a navazující skluz délky 360 m navazující na bezpečnostní přeliv. Při výstavbě se počítá se spotřebou více než 50 000 m³ konstrukčního vodostavebního železobetonu. Stavba se nachází mimo hlavní těleso hráze a segmentové uzavěry budou umístěny v místě současné manipulační plochy vodního díla.

1.2 Přípravné práce pro rekonstrukci VD Orlík

Příprava tohoto strategického projektu začala de facto po zmíněné povodni v roce 2002. Na základě vyhodnocení jejích dopadů na vodní dílo byl sestaven a zahájen program analýz a přípravných prací pro budoucí rekonstrukci VD Orlík.

V letech 2013 až 2015 proběhly komplexní strukturální výpočtové analýzy metodou konečných prvků (MKP), pro které byl nejdříve zajištěn inženýrsko-geologický průzkum materiálů skalního podloží a zejména kontaktu na základové spáře mezi tělesem hráze a podložím. Postupně byly zpřesňovány zatěžovací stavy odpovídající variantám v souběžně zpracovávané studii proveditelnosti. Strukturální analýzy vedly ke klíčovým doporučením týkající se maximální bezpečné hladiny, požadavků na funkci drenážního systému a zejména vhodnosti efektivitě a provozní bezpečnosti zvažovaných opatření. Rozpracování vybraných perspektivních variant bylo provedeno v roce 2013 ve studii proveditelnosti.

Celkem bylo vypracováno na 14 variant různých technických řešení a provedeny inženýrsko-geologické průzkumy, fyzikální modely a odborné studie, na kterých se podílelo akademické pracoviště ČVUT v Praze, VUT Brno, ale i zahraniční experti (ukázka fyzikálního modelu – viz obr.1). Jako optimální varianta byla zvolena výše popsaná realizace doplňkového bezpečnostního přelivu se třemi poli hrazenými segmentovými uzávěry.



b)

a)

Obr.1 Fyzikální model doplňkového bezpečnostního přelivu se třemi poli hrazenými segmentovými uzávěry

a) z návodní strany hráze, b) ze vzdušné strany hráze (foto: Ondrej Hrazdira)

1.3 Princip doplňkového zabezpečení vodního díla „Orlík před účinky velkých vod“

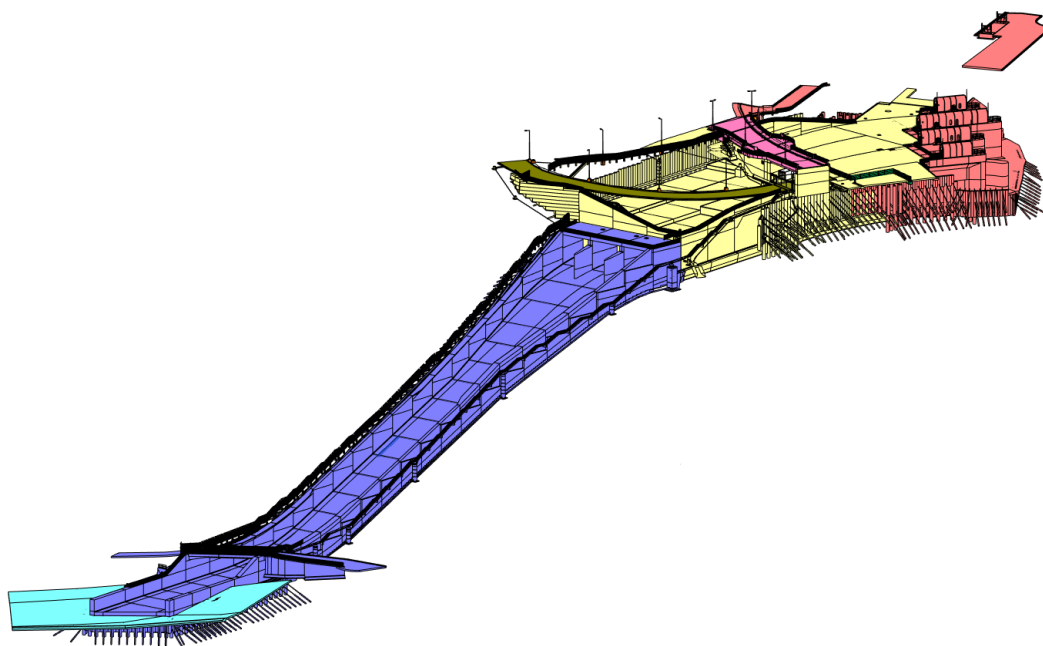
Nová přelivná pole mají primárně sloužit pro převedení extrémních povodňových průtoků, kdy je kapacita stávajícího bezpečnostního přelivu vyčerpána. Příkladem může být povodeň z roku 2002, která způsobila nemalé škody na vodním díle. Návrhová kapacita nových polí je 1736 m³/s. Po manipulaci s hradícím segmentem voda prochází vtokovým objektem a dále proudí uzavřeným železobetonovým profilem pod obslužnými plochami areálu nad ním. Na vzdušné straně hráze přechází v otevřený skluz, který odvede bezpečně vodu od hráze zpět do koryta toku.

1.4 BIM a 3D model

Projektant stavby AQUATIS a.s. podle požadavku investora zpracoval v období přípravy projektové dokumentace detailní třírozměrný model stavby, a to na základě dokumentace pro provádění stavby (viz obr. 2, 3), který umožnil precizní koordinaci prostorového uspořádání stavebních i technologických částí záměru.



Obr. 2 Vizualizace vtoků do přelivu na horní vodě



Obr. 3 Ukázka 3D vizualizace

Model je podkladom pro stavební přípravu, řízení stavby a dokumentování skutečného provedení. Ukazuje se, že nasazení metodiky BIM může být velmi přínosné i u atypických a velmi složitých konstrukcí a lze ji aplikovat i u staveb tohoto typu.

2 DOSAVADNÍ ZKUŠENOSTI Z PRŮBĚHU STAVBY

Celé dílo je rozděleno do tří hlavních oblastí – vtokový objekt, skluz krytá část a skluz otevřená část (tyto základní objekty jsou patrné z leteckého snímku – viz obr. 4, 5 a 6).

Přitom stavba se skládá celkem z 18 stavebních objektů a 3 provozních souborů. Od zahájení stavby se nejvíce zasáhlo do objektu „SO 03 – otevřená část skluzu“, kde jsou dokončeny zemní a trhací práce v rozsahu cca 60 000 m³ zeminy. Pro zemní práce se používá kombinace těžké strojní techniky a v poslední fázi přicházejí na řadu, pro horniny třídy těžitelnosti VI a VII, trhací práce.

Z těžké techniky se na stavbě využívají nejvíce 50t bagry značky Kobelco. Jejich velkou devizou je kromě objemu zeminy, s kterou dokáží operovat, také GPS vybavení, které slouží pro 3D orientaci v prostoru s přesností ± 3 cm. V praxi tak odpadá časté geodetické vytyčování stavby a je zajištěn její plynulý chod.

Na stavbě byly rovněž prováděny speciální geotechnické práce. použity jsou téměř veškeré technologie speciálního zakládání, jako jsou převrtávané piloty, mikropiloty, záporová stěna, podzemní jílocementová stěna, vibrované šterovnicové stěny, horninová a trysková injektáž. tyto konstrukce primárně slouží k zajištění stavebních jam hlavních stavebních objektů.

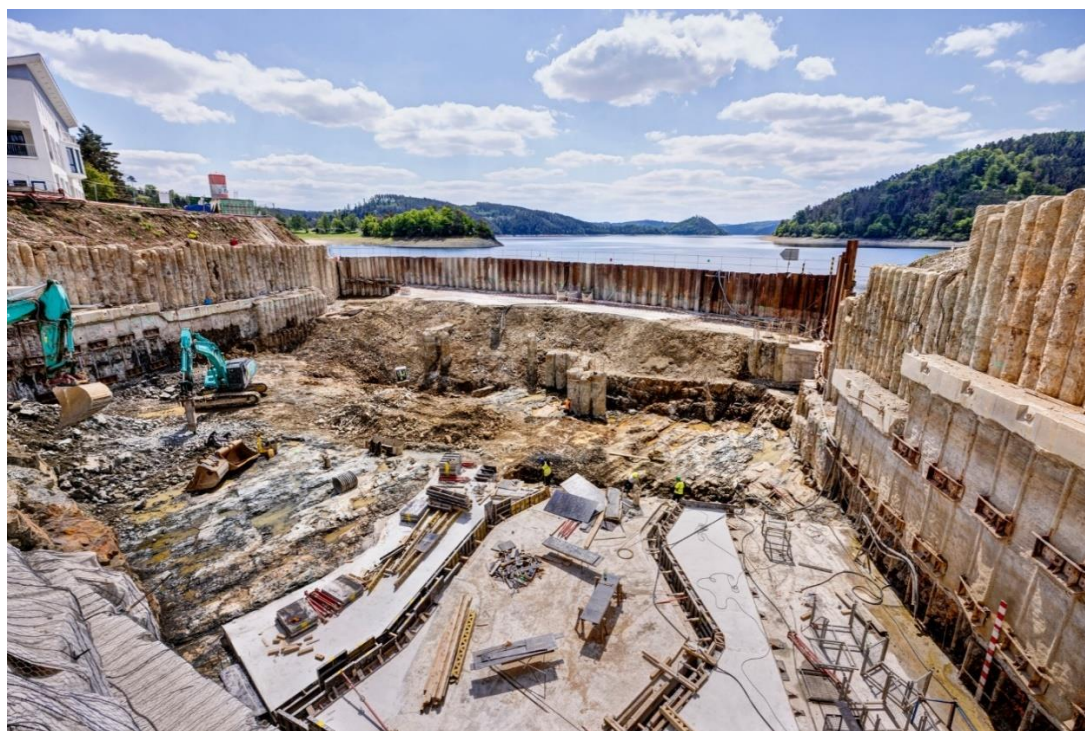
Vzhledem k zastíženému geologickému profilu a sklonitosti terénu byl při provádění výkopů kladen velký důraz na monitoring okolního rostlého terénu. Pro potřeby geologického monitoringu je stavba vybavena inklinometrickými vrty na všech stavebních objektech. Vrty jsou do hloubky v rozmezí 15–35 m, součástí každého vrtu je posouzení jeho jádra. U SO 03 je dále svah sledován celkem čtyřmi extenzometrickými drahami, na kterých probíhá pravidelné měření a vyhodnocování.



Obr. 4 Rozpracovanost na objektech SO 01 – vtoková část a SO 03 – otevřená část skluzu



Obr. 5 Realizace stavebního objektu SO 03 – otevřená část skluzu (květen 2024)



Obr. 6 Pohled do stavební jámy vtokového objektu (květen 2024)

Složitosti stavby odpovídá nejen organizace prací hlavního dodavatele a subdodavatelů, ale také nadstandardní rozsah dohledu a dozoru na straně objednatele. Z těch netradičních uvedme např. dohled nad trhacími pracemi, dohled nad vývojem a realizací specifických železobetonových konstrukcí, geodetický a geotechnický dohled a další.

Pro bezpečnost stávajícího vodního díla hráze je při trhacích pracích prováděn také okamžitý monitoring pohybů ŽB konstrukce hráze. Z probíhajících měření při trhacích pracích na SO 03 je zřejmé, že odstřely nemají na konstrukci VD Orlický zásadní vliv.

2.1. Komplikovaná situace při realizaci stavby

Během výstavby se objevili nečekané okolnosti. Pandemie covidu, situace na trhu se stavebními materiály, a to nejen jejich cena ale všeobecná dostupnost nebo spíše přesněji řečeno nedostupnost. Oproti tomu objevené základy původní infrastruktury po budování hráze, které nikdo nečekal a které museli být odbourány jsou maličkostí. Daleko větší překvapení si pro všechny zúčastněné připravila geologie v místě vtokového objektu. Dá se říci, že co metr čtvereční to jiné vlastnosti. Zhruba rok trvalo zajištění průsakových cest podloží. To sebou přineslo nutnost přeprojektování celého založení vtokového objektu, na kterém byly v letošním roce ž konečně byly zahájeny práce.

3 ZÁVĚR

Stavba přes neočekávané problémy pokračuje stále dál. Jejímu průběhu pomáhá práce sešlých týmů a díky zkušeným kolegům na obou stranách realizace, kteří mají za sebou řadu významných staveb, dokážeme včas a efektivně řešit neočekávané a komplikované situace, kterým se žádná stavba nevyhne.

4 AKTUÁLNÍ INFORMACE

Vždy aktuální informace naleznete na webových stránkách stavby, které obsahují základní data týkající se stavby a vodního díla jako takového, informace o harmonogramu a případných dopravních a dalších komplikacích a také odkaz pro dotazy. Stránky jsou spravovány Zhotovitelem a Objednatelem a osvědčili se jako vhodný formát pro komunikaci s veřejností a obcemi dotčenými stavbou.

Pro více informací: www.orlikppo.cz

AUTOŘI

Autor 1: Ing. Ondřej Hrazdira, Povodí Vltavy, státní podnik, Holečkova 3718/8, 150 00 Praha 5, Česká republika, e-mail: ondrej.hrazdira@pvl.cz

Autor 2: Ing. Tomáš Beržinský, Metrostav a.s., Koželužská 2450/4, 180 00 Praha 8 – Libeň, Česká republika, e-mail: tomas.berzinsky@metrostav.cz

VD ROZKOŠ JAKO NÁSTROJ PRO SNÍŽENÍ DOPADŮ SUCHA A ZAJIŠTĚNÍ PRŮMYSLOVÝCH I ZEMĚDĚLSKÝCH ODBĚRŮ NA STŘEDNÍM LABI

ROZKOŠ RESERVOIR AS A TOOL TO MITIGATE THE IMPACT OF DROUGHT ON INDUSTRIAL AND AGRICULTURAL WATER ABSTRACTION ON THE MIDDLE ELBE

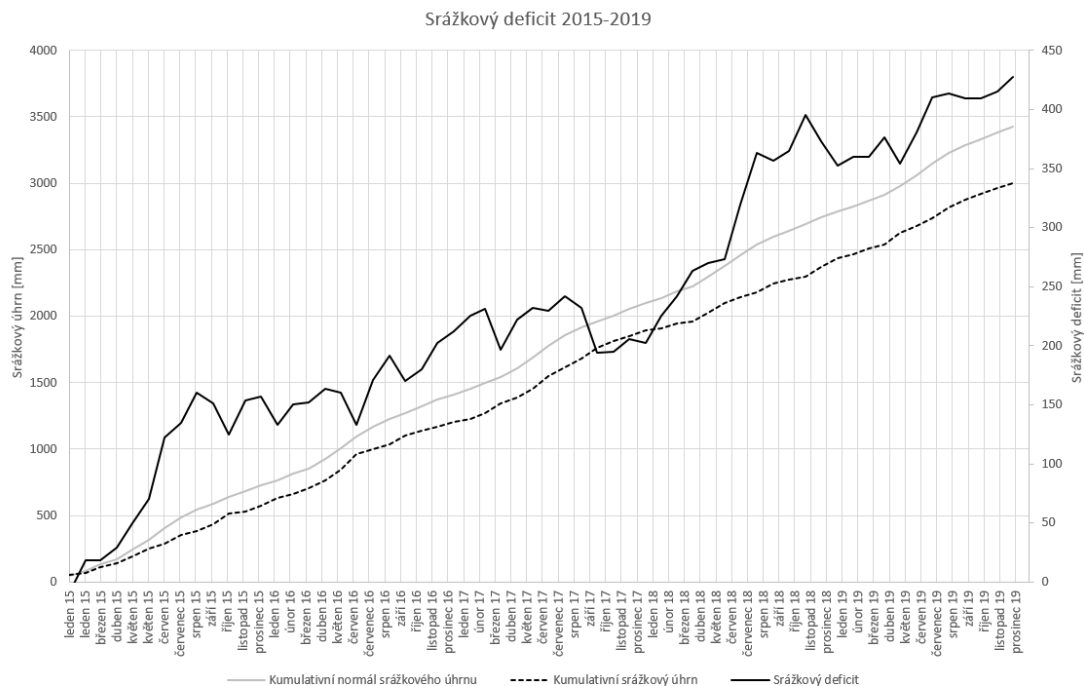
Jiří Petr¹, Tomáš Kacálek²

Abstrakt: V České republice došlo v letech 2015 – 2019 k výskytu souvislého období s deficitem srážek, které mělo mimořádně negativní dopad na velikost přirozených průtoků ve vodních tocích a tím i možnosti odběrů povrchových vod. Vodní dílo Rozkoš se v tomto období významným způsobem podílelo na dotaci přirozených průtoků a to průtoky v rozsahu 2 – 4 m³.s⁻¹ vždy po dobu několika měsíců v roce. Dotace průtoků z VD Rozkoš je primárně zaměřena na umožnění odběru chladicí vody pro Elektrárny Opatovice, a.s., současně ale mohou být zvýšené průtoky využity i pro další průmyslové odběry a v rámci odběrů pro zemědělské závlahy na celém středním Labi. Význam nádrží dokresluje situace, kdy v srpnu 2018 byla celková dotace ze všech nádrží v povodí středního Labe 6,3 m³.s⁻¹, a průtok v Labi před soutokem s Vltavou byl 6,1 m³.s⁻¹ a veškerý „přirozený“ průtok tak pohltily odběry, břehová infiltrace a výpar. Vodní nádrže v povodí horního a středního Labe a vzhledem ke svému objemu a možnostem pak zejména VD Rozkoš, se tak ukázaly jako téměř jediný spolehlivý nástroj pro snížení dopadů extrémního sucha a zajištění průmyslových i zemědělských odběrů na středním Labi.

Abstract: A continuous period with precipitation deficit occurred in the Czech Republic between 2015 and 2019. This dry period had an extremely negative impact on the level of natural discharges in watercourses and as well on the possibility of surface water abstraction. The Rozkoš Reservoir, with discharge increasing in the range of 2 - 4 m³.s⁻¹ for several months each year, contributed significantly to the increase in discharges during this period. The main purpose of Rozkoš Reservoir is to secure the abstraction of cooling water for the Opatovice Thermal Power Plant. The increased discharges can meet other industrial and agricultural water demands throughout the middle Elbe at the same time. The significance of the reservoirs is illustrated by the situation in August 2018 when the total discharge increasing from all the reservoirs in the middle Elbe basin was 6.3 m³.s⁻¹ and the discharge in the Elbe above the confluence with the Vltava River was 6.1 m³.s⁻¹. Thus, the entire "natural" runoff has absorbed due to water abstractions, riverbank infiltration and evaporation. The reservoirs in the upper and middle Elbe basins, and especially the Rozkoš Reservoir due to its volume and capability, have proved to be almost the only reliable tool for reducing the impact of extreme drought and ensuring industrial and agricultural water abstractions on the middle Elbe.

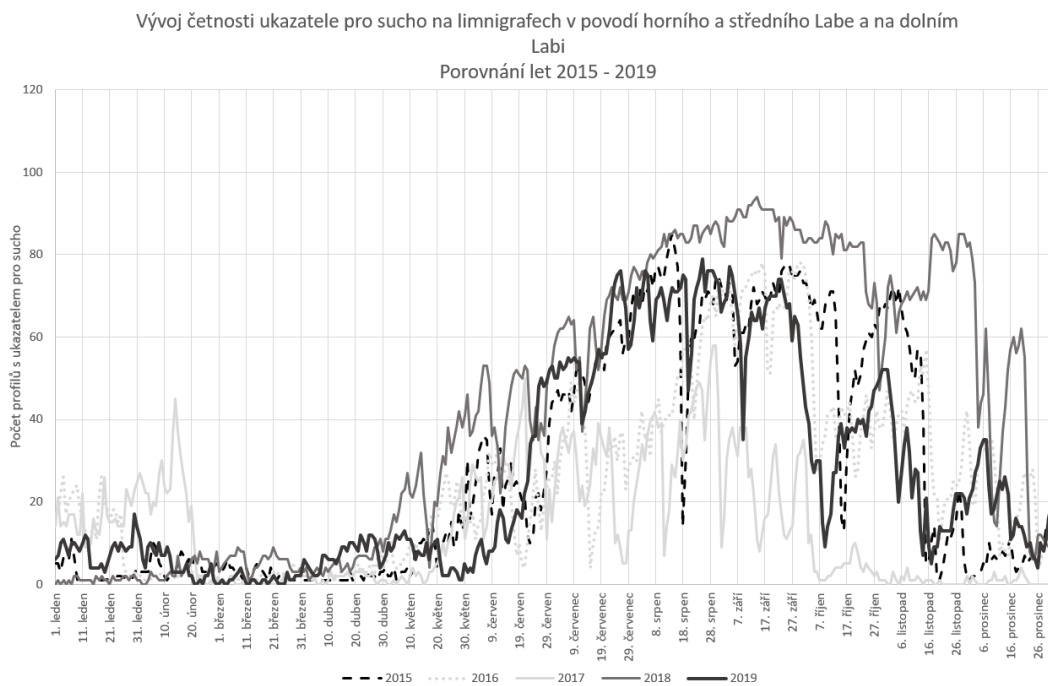
1 „SUCHÁ“ PĚTILETKA 2015 – 2019 V ČR

Česká republika byla v letech 2015 - 2019 opakovaně zasažena významnými epizodami sucha. Srážkový deficit se v tomto období, s výjimkou roku 2017, trvale prohluboval a na konci roku 2019 dosahoval průměrný srážkový deficit v ČR celkových 428 mm, např. v Královéhradeckém kraji byl ale 674 mm (roční normál je 760 mm). Spolu s dalšími faktory (nadprůměrné teploty, silný vítr, ...) se srážkový deficit výrazně negativně projevil na hydrologické situaci, na celkovém stavu nasycenosti povodí i na velikosti přirozených průtoků ve vodních tocích.



Obr. 1 Vývoj srážkového deficitu v ČR 2015–2019

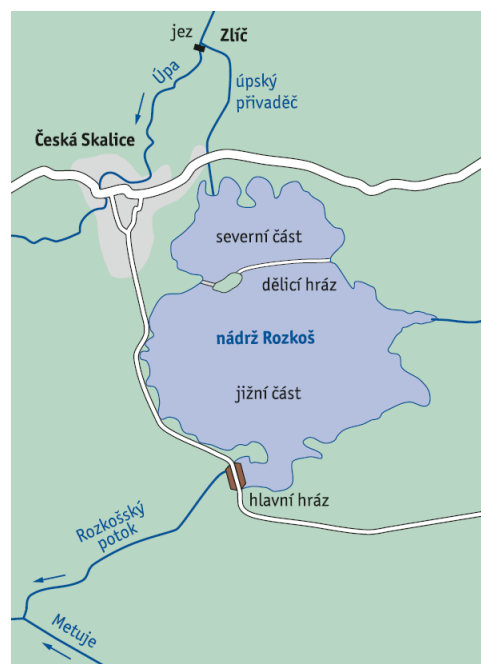
Zajímavým ukazatelem stavu povodí je vývoj počtu profilů, kde dochází k podkročení průtoku Q_{355} . Tento ukazatel byl v české republice stanoven jako ukazatel pro „sucho“ a poměrně úzce souvisí i se stavem mělkých úrovní podzemních vod. Grafické znázornění vývoje podkročení průtoku Q_{355} ve 120 sledovaných profilech v letech 2015–2019 je zobrazeno v níže uvedeném grafu a opět s výjimkou roku 2017 je vidět jeho výrazný nárůst v období cca květen - říjen.



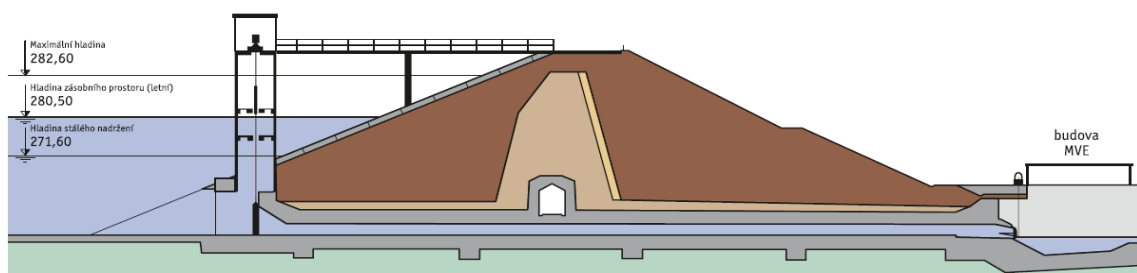
Obr. 2 Vývoj četnosti ukazatele pro sucho Q_{355} na 120 sledovaných limnigrafech v povodí horního a středního Labe a na dolním Labi 2015–2019

2 VD ROZKOŠ

Vodní dílo Rozkoš se nachází nedaleko města Česká Skalice. Přehradní nádrž byla v letech 1965–1972 vystavěna v plochem údolí na potoce Rozkoš jako boční nádrž napájená přivaděčem z řeky Úpy. Jez na Úpě u Zlíče zaručuje regulaci plnění nádrže úpským přivaděčem o délce 2337 m s kapacitou $150 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Při překročení kapacity tohoto přivaděče dochází k přelévání snížené části hráze nad jezem ve Zlíči na Úpě, která tak nahrazuje bezpečnostní přeliv hlavní hráze. Hlavní hráz přehradní nádrže je přímá sypaná zemní se středním těsněním ze sprašových hlín a nemá bezpečnostní přeliv. Při kolísání hladiny v rozmezí zásobního prostoru by se obnažovaly velké plochy pobřeží a především v okolí České Skalice by docházelo k estetickým a hygienickým závadám, což by znemožňovalo rekreační využití nádrže. Proto byla zřízena zvýšením a prodloužením hráze bývalého Rovenského rybníka vnitřní hráz. Vnitřní hráz rozděluje nádrž na část severní (rekreační) a část jižní (hlavní nádrž). Plocha povodí k tělesu hlavní hráze je $562,9 \text{ km}^2$, z toho je $513,1 \text{ km}^2$ plocha povodí řeky Úpy a $49,8 \text{ km}^2$ plocha povodí Rozkošského potoka. Zásobní prostor nádrže má objem 45,95 mil. m^3 , ochranný prostor nádrže má objem 19,8 mil. m^3 .



Obr. 3 VD Rozkoš – situace



Obr. 4 VD Rozkoš – příčný řez hrázovým tělesem

Do nádrže jsou, obvykle v období jarního tání, převáděny vyšší a povodňové průtoky z řeky Úpy. Voda akumulovaná v zásobním prostoru nádrže je v období sucha využívána pro kompenzační nadlepšení průtoků pod vodním dílem, tedy v Metuji a následně Labi až do profilu Opatovického uzlu a dále k převodu vody Opatovickým kanálem odbočujícím nad Opatovickým jezem. Tohoto nadlepšení využívají odběratelé jak pro průmyslové využití (významným odběratelem je tepelná elektrárna Opatovice), tak pro zemědělské závlahy podél Labe. Zároveň dotace průtoků pomáhá udržovat dobré podmínky pro vodní a na vodu vázané živočichy. Vodní dílo Rozkoš poskytuje částečnou ochranu před povodněmi městu České Skalici a dalším obcím při Úpě od Zlíče po Jaroměř. Energetický potenciál vypouštěné vody využívá malá vodní elektrárna umístěná u hlavní hráze. Vodní dílo je též využíváno pro chov ryb i sportovní rybaření, rekreaci a vodní sport.



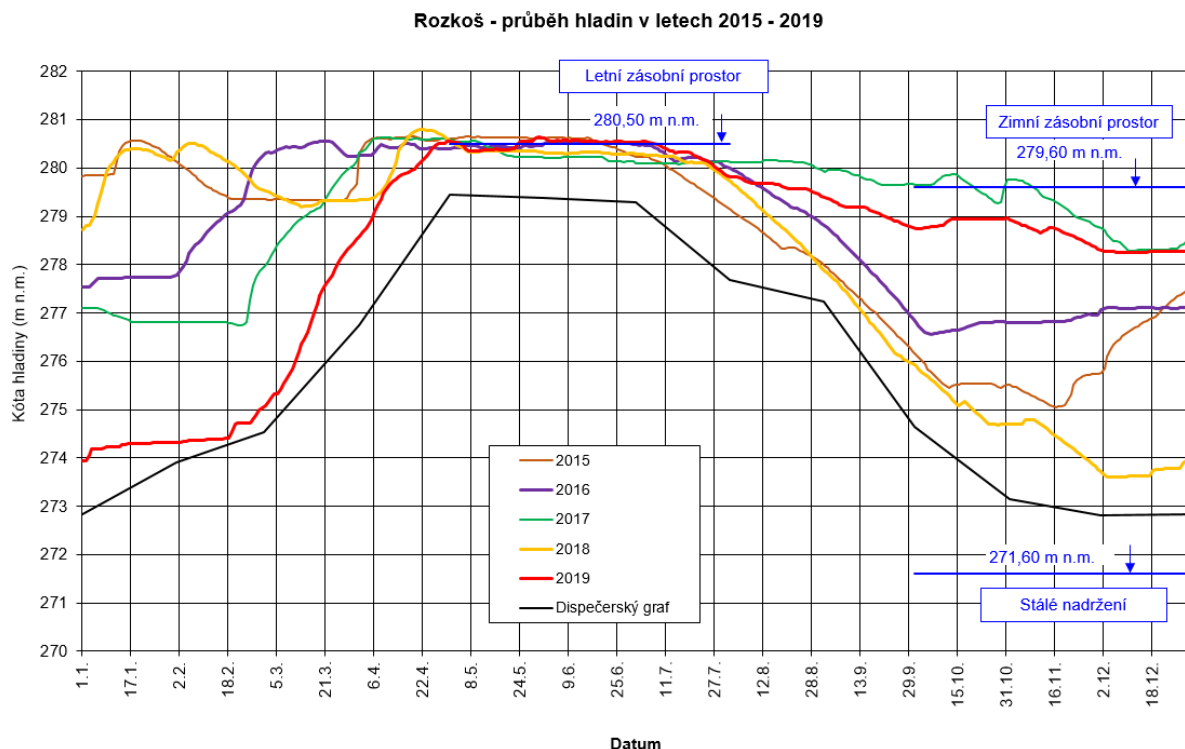
Obr. 5 VD Zlič - Rozdělovací objekt na Úpě



Obr. 6 Letecký pohled na VD Rozkoš

3 VLIV NÁDRŽÍ NA PRŮTOKOVÝ REŽIM

Například v suchém roce 2018 byl při zvýšených průtocích během března a dubna vodou z Úpy zcela naplněn zásobní prostor nádrže Rozkoš, pak až do podzimních měsíců byl přítok do nádrže nulový. Pokles přirozených průtoků v říční síti si vyžádal zahájení dotací průtoků pod nádrží již v druhé půlce července. Z nádrže Rozkoš pak byla po více než 4 měsíce zajišťována dotace průtoků ve velikosti 2 až 5 m³·s⁻¹ (za běžného stavu je odtok z nádrže 0,08 m³·s⁻¹) a to s ohledem na maximální úsporu vody tak, aby byly těsně uspokojeny všechny nezbytné požadavky. V Labi pod Hradcem Králové tedy pocházelo až 70 % protékající vody z nádrže Rozkoš. Nadlepšování průtoku trvalo do konce listopadu. V té době vypadala přehrada na první pohled jako „prázdná“, a i když podobná situace není ojedinělá a nastala i v letech 2003, 2008, nebo 2015, tak sucho v roce 2018 bylo extrémní a přes veškerá úsporná opatření chyběly pouze necelé dva měsíce do dosažení prostoru stálého nadržení a tedy do poruchy v hospodaření nádrže. Nádrž Rozkoš nicméně po celou dobu velmi dobře plnila svůj účel.



Obr. 7 VD Rozkoš – Dispečerský graf a průběh hladin v letech 2015 – 2019

XXXVIII. Priehradné dni 2024, Horný Smokovec - Vysoké Tatry, 24.9. - 26.9.2024

VD Rozkoš je se svým zásobním objemem 45,95 mil. m³ největší nádrž v správě Povodí Labe, státního podniku a na celkové dotaci průtoků v povodí Labe po soutok s Vltavou se podílela z více jak 80 %. Dotaci po celou letní sezonu zajišťovaly i další nádrže v tomto povodí, níže uvedené srovnání je provedeno pro vrchol suchého období 2018.

Tab. 1 Dotace z nádrží v povodí horního a středního Labe a na dolním Labi dne 21.8.2018

Vodní dílo	Přítok (m ³ ·s ⁻¹)	Odtok včetně odběru (m ³ ·s ⁻¹)	Dotace (m ³ ·s ⁻¹)
<i>Les Království</i>	1,640	2,090	0,450
<i>Rozkoš</i>	0,000	4,100	4,100
<i>Pastviny</i>	0,230	0,800	0,570
<i>Hamry</i>	0,010	0,088	0,078
<i>Seč</i>	0,100	0,610	0,510
<i>Pařížov</i>	0,022	0,024	0,002
<i>Vrchlice</i>	0,010	0,165	0,155
<i>Josefův Důl</i>	0,030	0,310	0,280
<i>Souš</i>	0,115	0,275	0,160
		Dotace celkem:	6,305

I přes takto významnou dotaci se však průtoky v uzávěrovém profilu středního Labe v Kostelci nad Labem pohybovaly v průměru okolo 6,1 m³·s⁻¹, tedy hluboko pod úrovní Q₃₆₄ (17,7 m³·s⁻¹).

Tab. 2 Průměrný denní průtok v profilu Labe - Kostelec n. L. dne 21.8.2018

Datum	Průměrný denní průtok v profilu Labe - Kostelec n. L. (m ³ ·s ⁻¹)
21.8.2018	8,8
22.8.2018	4,4
23.8.2018	5,1
Třídenní průměr:	6,1

Z předaných hlášení významných odběratelů do systému ISPOP vyplývá, že se odběry z vodních toků v povodí Labe po soutok s Vltavou v srpnu 2018 v součtu pohybovaly okolo 6,8 m³·s⁻¹, z toho nevratné odběry okolo 2,9 m³·s⁻¹, se započítáním i drobných odběrů můžeme počítat s hodnotou nevratných odběrů vyšší jak 3 m³·s⁻¹.

S určitou nepřesností lze konstatovat, že přirozené průtoky pokrývaly potřeby na nevratné odběry, a průtoky v Labi nad soutokem s Vltavou byly na úrovni dotace průtoků nádrží. Bez průtokové dotace vodních toků z nádrží by tedy bylo v krajních případech koryto Labe nad soutokem s Vltavou zcela vyschlé, nebo by nebyl možný žádný odběr z vodních toků v tomto povodí.

4 ZÁVĚRY A ZKUŠENOSTI

1. Ze zkušeností z let 2015-2019 vyplývá, že vodní nádrže, ve kterých dochází k hospodaření s vodou, jsou jediným operativně použitelným nástrojem pro řešení či alespoň zmírnění dopadů extrémního sucha (ale i povodní).
2. Celkem byl v období 2015 – 2019 jen na zajištění MZP a odběrů pod nádržími Povodí Labe využito objem 316 mil. m³ vody, což je 2,8 násobek objemu zásobních prostorů všech vodních nádrží Povodí Labe, státního podniku.
3. Z toho 256,5 mil. m³ bylo využito pro zajištění odběru chladící vody pro Elektrárny Opatovice, a.s. – významného producenta elektrické energie, který zároveň poskytuje

- služby kritické infrastruktury pro zajištění stability rozvodné sítě a zajišťuje zásobování teplem pro Hradec Králové, Pardubice a Chrudim. Tento objem vody byl ale z 98 % opět vypouštěn do Labe a umožnil tak další průmyslové a zemědělské odběry na středním Labi.
4. V období 2015 – 2019 byl z vodních nádrží Povodí Labe, státního podniku realizován odběr ve výši 82 mil. m³ pro vodárenské účely.
 5. V případě významných odběrů a odběratelů byly hledány zákonné cesty jak tyto odběry umožnit i za cenu rezignace na institut minimálního zůstatkového průtoku.
 6. Řada platných povolení k nakládání s vodami se současnými extrémními nepočítá a nejsou v nich stanoveny odpovídající omezující podmínky.
 7. Jediným faktickým omezujícím faktorem pro realizaci odběru je fyzický nedostatek vody v toku či v jiném zdroji.

5 NÁMĚTY K DISKUSI

1. Společnost sucho a nedostatek vody vnímá jako významný problém. Naprosté většině populace ale voda z kohoutku stále teče, nevzniká tedy žádný zásadní společenský tlak na řešení situace a jsou tak navrhována spíše organizační opatření s minimálním potenciálem konfliktu, a většinou i s omezenou efektivitou.
2. I v budoucnu lze očekávat v případě výskytu sucha zvýšený tlak na zdroje vody, a to jak pro odběry vody, tak pro zajištění alespoň minimálních průtoků ve vodních tocích.
3. Již nyní jsou patrné konflikty mezi zájmy jednotlivých odběratelů/uživatelů vody a požadavky na zajištění MZP.
4. V otázce kde zdroje vody hledat, nemá však naše společnost ani po zkušenostech ze suchých let 2015 - 2019 jasno.
5. V suchém období působením vysokých teplot s podporou větru fungují rybníky a mokřady jako odpařovače, významná část přítoku je spotřebována na kompenzaci výparu a odtok z nádrže je často nulový. V poslední době podporovaná realizace malých vodních nádrží (rybníků) v krajině, bez předem jasně stanoveného zásobního prostoru s možností s vodou hospodařit, není z pohledu vodohospodáře krokem vpřed.
6. Vodní díla se stanoveným zásobním objemem vody se budují (nebo zatím jen plánují) výjimečně a ve zcela nedostatečné míře.
7. Vzpomeneme si, kdy významný politický představitel naposledy vystoupil s jasnou podporou výstavby vodních nádrží? Má toto téma ve svém volebním programu některá politická strana?
8. Má smysl stavět nádrže, u kterých jsou z důvodů požadavků ochrany přírody degradovány jejich základní funkce, případně na základě požadavků ochrany přírody zahrnují neproověřená technická řešení, která budou komplikovat jejich provoz a správu?
9. Má smysl za stávajících podmínek nádrže vůbec navrhovat?

AUTOŘI

Autor 1: Ing. Jiří Petr, Povodí Labe, státní podnik, Víta Nejedlého 951, Hradec Králové 3, 500 03, Česká republika, petrj@pla.cz

Autor 2: Ing. Tomáš Kacálek, Povodí Labe, státní podnik, Víta Nejedlého 951, Hradec Králové 3, 500 03, Česká republika, kacalekt@pla.cz

VODNÍ NÁDRŽE V PODMÍNKÁCH ZMĚNY KLIMATU

WATER RESERVOIRS UNDER CLIMATE CHANGE CONDITIONS

Václav Rára¹, Jana Bernsteinová², Milan Fischer³, Evžen Zeman⁴, Maxim Bernstein⁵, Petr Štěpánek⁶, Miroslav Trnka⁷, Pavel Tachecí⁸, Vanda Tomšovičová⁹

Abstrakt: Probíhající klimatická změna přináší globální nárůst teploty vzduchu. Teplota v ČR, obdobně jako na celé planetě, ukazuje rostoucí trend, dlouhodobé úhrny srážek v ČR zůstávají pro následující desetiletí bez výrazných změn. V důsledku této kombinace klimatických podmínek je očekáván pokles odtoků. Za hlavní příčinu lze považovat fakt, že rostoucí teplota vzduchu vede ke zvýšenému evaporačnímu požadavku atmosféry, a to při stejných srážkových úhrnech přinese zápornou tendenci klimatické vodní bilance. Předkládaný článek si klade za cíl představit distribuované, procesně založené hydrologické modelování, jako jednu z metod, jak kvantifikovat dopady předpokládané klimatické změny na vodní bilanci, a zvláště na přítoky do vodních nádrží. Základem je využití hydrologického modelu umožňujícího transformovat scénáře změny klimatu do časových řad hydrologických procesů a kvantifikovat vodní bilanci povodí a její případné změny v čase i prostoru. V rámci příspěvku bude představena případová studie v povodí řeky Dyje. Jedná se o povodí s nejmenším množstvím průměrných ročních srážek v poměru k výparu, a tedy o povodí s potenciálně nejnapjatější vodní bilancí v České republice.

Abstrakt: Ongoing climate change is causing a global increase in air temperature. The temperature in CZE, like in the rest of the globe, shows an increasing trend, while long-term precipitation totals in CZE are without significant changes for the following decades. Due to this combination of climate conditions, runoff is expected to decline. The main reason for this is that rising air temperatures causes an increased evaporative demand of the atmosphere, and this, with the same precipitation totals, will result in a negative trend in the climatic water balance. The presented paper aims to introduce distributed, process-based hydrological modelling as one of the methods for quantification of the impacts of projected climate change on the water balance, and especially on reservoirs. Hydrological models can transform climate change scenarios into time series of hydrological processes and thus are able to quantify the water balance of a river basin and its possible changes distributed in time and space. In this contribution, a case study on the Thaya (Dyje) river basin will be presented. It is basin with the lowest amount of average annual precipitation to evaporation ratio, and therefore the catchment with potentially the most stressed water balance in the Czech Republic.

1 ÚVOD

Povodí řeky Dyje, s celkovou plochou 13 419 km² z čehož 11 164,7 km² je na území ČR, patří mezi česká povodí zasažená nejvýraznějšími negativními dopady klimatických změn a vykazuje největší zranitelnost vodních zdrojů. Vysokou zranitelnost lze doložit na podílu odtoku ze spadlých srážek. V celostátním průměru ČR dosahuje odtok přibližně 30 % [1], avšak v suchých oblastech povodí Dyje připadá na odtok pouze 10 % srážek [2]. Tato hodnota je natolik nízká, že i malé narušení systému, například v podobě srážkově deficitního roku, může vést k dlouhodobému snížení hladiny podzemní vody, případně hladiny v nádrži.

Dlouhodobý průměr (1981–2010) průměrné roční teploty vzduchu činí 8,3°C. Od poloviny 80 let 20. století lze pozorovat statisticky významný nárůst teploty vzduchu. Průměrná roční teplota roste o 0,5 °C za 10 let, což odpovídá i průměrným hodnotám v ČR [3] (Obr. 2).

Dlouhodobý průměr (1981–2010) roční sumy srážek činí 613,6 mm. V ročních sumách lze pozorovat nevýznamný růst srážek, a to o hodnotu 7 mm za 10 let. V tomto případě je potřeba zmínit, že změny jsou malé a trendy statisticky nevýznamné [4], (Obr. 2). Významná je ovšem časoprostorová variabilita, která může negativně ovlivnit vlhkostní poměry jednotlivých oblastí. Jižní, převážně nížinná část povodí Dyje patří navíc mezi nejsušší oblasti ČR s průměrným ročním úhrnem srážek nižším než 550 mm.

Ze základního fyzikálního popisu evaporace je zřejmé, že rostoucí teplota vzduchu znamená zvýšený evaporační požadavek atmosféry [5], a tedy, že při stejných srážkách (P) a vyšší evaporaci (E) se poměr E/P zvýší [6, 7]. Výsledkem je, že vodní bilance, převážně v oblastech, kde evaporace (obecněji i evapotranspirace) ještě není tolik limitována nedostatkem vody, vykazuje negativní trend [2].

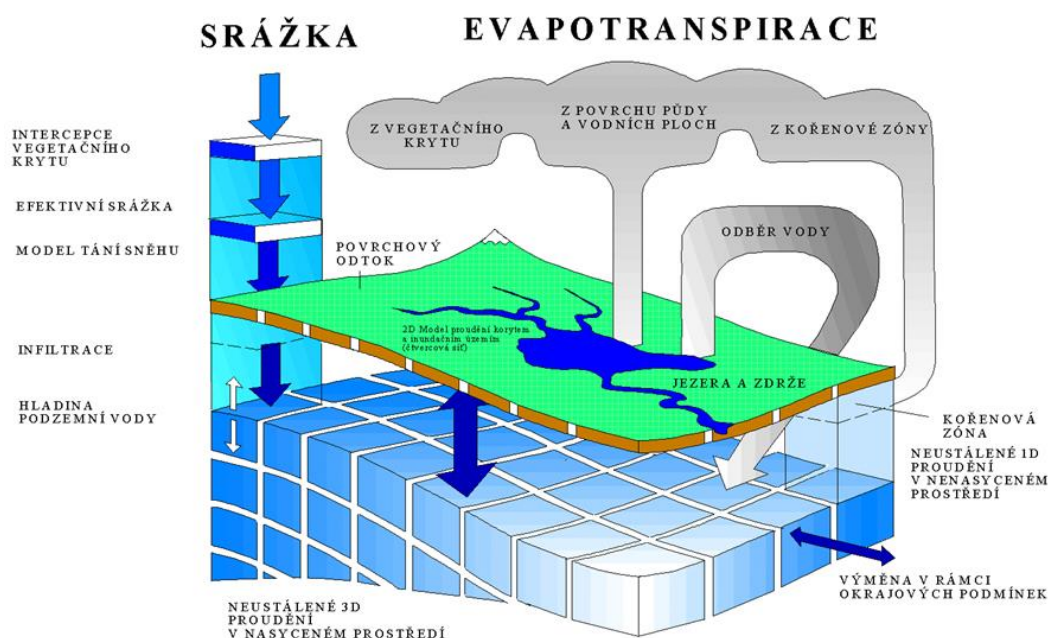
V celém povodí Dyje se nachází 14 údolních nádrží (bez zahrnutí soustavy novomlýnských nádrží) a z toho je celá polovina nádrží vodárenských. Vodní nádrž (VN) Vír I je nejdůležitější vodárenskou nádrží v celém Jihomoravském kraji, zásobující pitnou vodou brněnskou aglomeraci a široké okolí, dohromady bezmála 500 tis obyvatel.

2 METODIKA

Pro vyhodnocení dopadů klimatické změny na hydrologické poměry řešené oblasti a udržitelnost vodních zdrojů je doporučeno použít klimatické scénáře v kombinaci s hydrologickým modelem (HM) vodní bilance [8]. HM umožňuje převod klimatického signálu do časových řad (i prostorově distribuovaných) jednotlivých hydrologických proměnných, např. průtoků, stavů hladin nádrží, aktuální evapotranspirace, půdní vlhkosti, zásoby podzemních vod apod. V neposlední řadě lze pomocí HM posuzovat i zajištěnosti vodních zdrojů.

Studie celého povodí řeky Dyje si kladla za cíl vytvořit přesný digitální obraz reálného povodí (tzv. digitální dvojče). K tomu bylo potřeba velké množství vstupních dat, která byla poskytnuta řadou spolupracujících institucí. Vegetační a klimatické proměnné, stejně jako budoucí klimatické scénáře zajistil hlavní řešitel celé studie, Ústav výzkumu globální změny, ÚVGZ AV ČR, v. v. i.

Hydrologický model (digitální dvojče) povodí Dyje je sestaven na základě jednotné metodiky popsané Fischerem et al. 2023 [8] v simulačním nástroji MIKE SHE (MIKE by DHI) v prostorovém rozlišení distribuovaného ortogonálního gridu o velikosti výpočetní buňky 500 m. Generální časový krok pro vstupní data, simulaci a ukládání výsledků je 1 den. Plošně distribuovaný fyzikálně založený HM umožňuje zahrnutí všech klíčových procesů hydrologického cyklu. Simulační nástroj je zaměřený na integrovaný výpočet bilance objemu vody plošně v jednotlivých diskretních částech území (ve zvoleném rozlišení čtvercové výpočetní sítě). Nástroj zahrnuje moduly pro výpočet tání sněhu, intercepci, infiltraci, výpar z půdy, transpiraci, vertikální proudění v nenasycené zóně (infiltrace/vzlínání) včetně proudění systémem makropórů, odběr vody kořeny, 3D pohyb podzemní vody v nasycené zóně a výměnu z podzemní vody do povrchových toků a do půdy (či obráceně), (Obr.). Integrovaný hydrodynamický model proudění v korytech MIKE HYDRO (MIKE by DHI) využívá schematizaci 1D aproximacemi pohybových rovnic a byl použit i pro schematizaci vodních děl. Přímé propojení hydrologického a hydrodynamického modulu v rámci použitého modelovacího řešení umožňuje integraci procesů a zachování spojení jejich mechanismů. Vodní nádrže jsou popsány jako součást hydrologického modelu v rámci propojeného hydrodynamického modelu MIKE HYDRO včetně zavedení strategií řízení vycházejících z aktuálních manipulačních řádů.



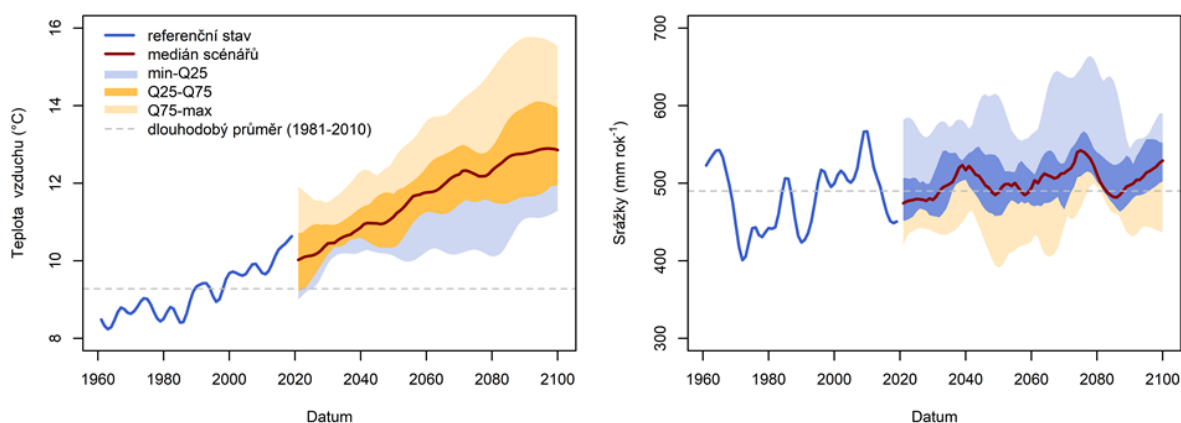
Obr. 1 Schéma modelovacího systému MIKE SHE.

3 KLIMATICKÉ SCÉNÁŘE

V současnosti jsou používané klimatické scénáře vycházející z CMIP6 simulací [9]. Ty zahrnují data až do konce 21. století, a navíc se jedná o simulace v relativně podrobném rozlišení (50 km). V rámci těchto simulací jsou v současné době k dispozici pouze globální klimatické modely (GCM). Přestože regionální klimatické modely (RCM) poskytují prostorově zřetelnější informace, v oblasti střední Evropy dochází mezi těmito skupinami modelů k relativně rozporuplným výsledkům, které jsou předmětem probíhající vědecké diskuse.

V rámci řešené studie byly použity klimatické scénáře z CMIP6 simulací s výhledem na několik následujících desetiletí, konkrétně na čtyři 30letá období se středy v letech 2030, 2050, 2070 a 2085.

Dřívější hodnotící zprávy Mezivládního panelu pro změnu klimatu (IPCC) používaly termín emisní scénář (RCP), aktuální šestá zpráva IPCC [10] zavedla pojem scénářů socioekonomického vývoje (SSP). Jako scénář se středními emisemi lze označit RCP4.5, nyní uváděný jako SSP2-45.

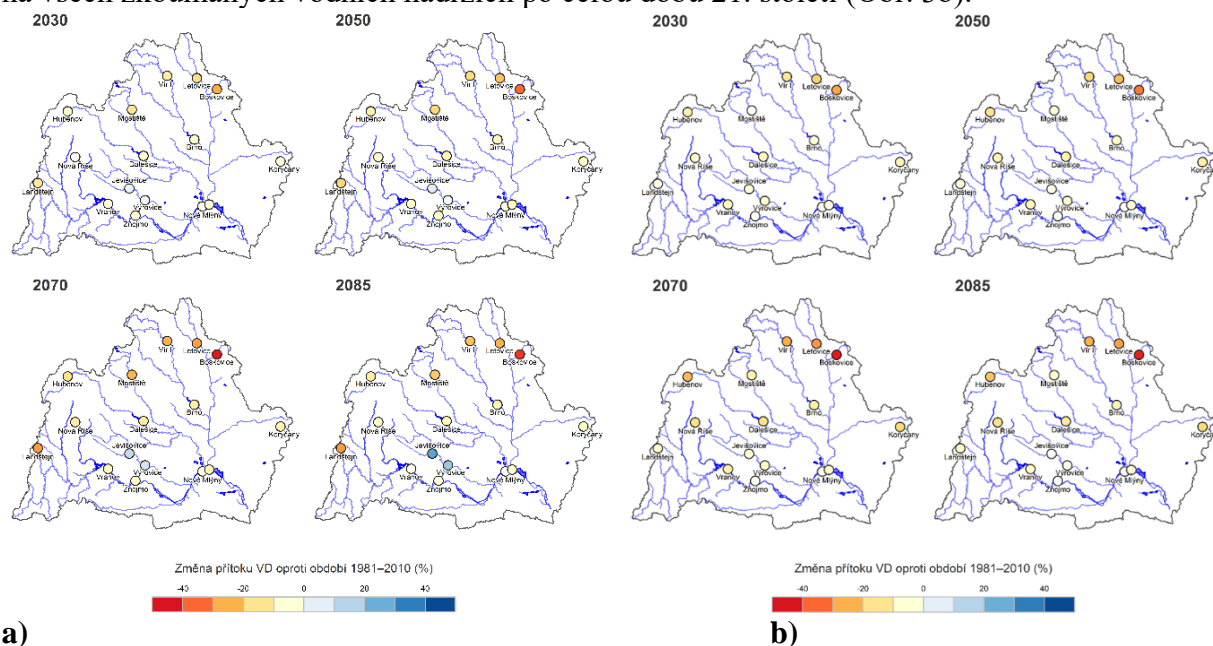


Obr. 2 Ukázka možného vývoje teploty vzduchu (vlevo) a srážek (vpravo) v okolí vodní nádrže Vranov v povodí Dyje v letech 1961 až 2100.

4 VYHODNOCENÍ

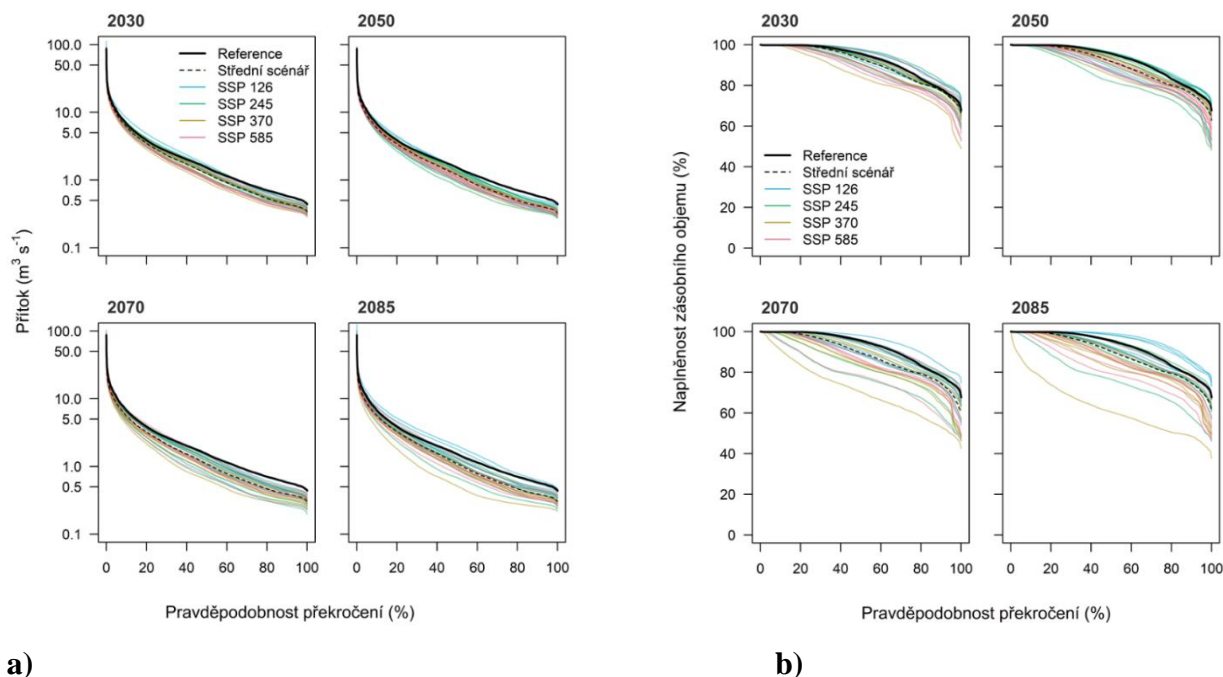
V rámci předkládaného článku je hlavní pozornost upřena na posouzení dopadů klimatické změny na vodní díla (VD). Analýza přítoků do VD byla primárně zaměřena na hodnocení relativních změn vybraných M-denních průtoků oproti referenčnímu období (1981–2010). Ukazatel Q355d byl během hodnocení z analýzy vyrazen, neboť tyto nízké průtoky jsou často zatíženy největší relativní chybou (simulované i měřené). Pro stanovení posuzovaných M-denních průtoků (Q30d, Q180d, Q330d) byl využit přímočarý empirický přístup namísto prokládání teoretickou křivkou.

Zkrácené výstupy popisované v následujícím textu a mapových výstupech (Obr. 3) představují medián ze simulací pro všechny kombinace klimatických modelů a SSP (celkem 26 scénářů). Změny průtoků Q180d v simulacích klimatického vývoje oproti referenčnímu stavu vykazují pokles přítoku vodních nádrží okolo 20-40 %, přičemž v druhé polovině 21. století, je u některých vodních nádrží pozorován naopak malý nárůst (Obr. 3a). U hodnot Q330d je prognóza ještě trochu horší a poklesy průtoků v jednotkách až desítkách procent lze pozorovat na všech zkoumaných vodních nádržích po celou dobu 21. století (Obr. 3b).



Obr. 3 Změny M-denního průtoku **a)** Q180d, **b)** Q330d oproti referenčnímu období pro střední klimatický scénář (medián ze všech simulací). Záporné hodnoty indikují snížení průtoku do VD, kladné hodnoty naopak zvýšení

Analýza čar překročení, pro simulace reprezentující jednotlivé klimatické scénáře na příkladu VN Vír I (Obr. 4a), ukazuje, že všechny scénáře vykazují nižší přítoky oproti referenční simulaci. Dále je nutné si uvědomit, že vycházet pouze ze středního scénáře může vést případně k optimistickým prognózám. Obr. 4b ukazuje čáry překročení naplněnosti zásobního objemu VN Vír I pro jednotlivé klimatické scénáře. Vodohospodářská porucha je stanovena jako dosažení 0 % naplněnosti zásobního objemu. Tato porucha nebyla dosažena během simulací klimatických scénářů celého 21. století (při současných odběrech a manipulačním řádu).



a)

b)

Obr. 4: Čary překročení **a)** pro celkový přítok do VN Vír I **b)** pro naplněnost zásobního objemu VN Vír I. Reference odpovídá simulaci období 1981–2010, jednotlivé klimatické modely sady CMIP6 jsou znázorněny liniemi, kde barva ukazuje příslušnost ke scénáři SSP. Přerušovaná černá linie představuje střední scénář – medián ze všech klimatických scénářů

5 ZÁVĚRY A DOPORUČENÍ

Předkládaný článek představil hydrologické modelování jako fyzikálně podloženou kvantitativní metodu, kterou lze kvantifikovat dopady klimatické změny na vodní bilanci, se speciálním zaměřením na vodní nádrže. Metoda se opírá o stěžejní vlastnosti hydrologického modelu, a to schopnost transformovat scénáře změny klimatu do časových řad hydrologických procesů a díky tomu kvantifikovat vodní bilanci povodí a její změny v čase i prostoru. Analýza výstupů studie na povodí řeky Dyje také jasně ukázala, že při posouzení dopadů klimatické změny je podstatné pracovat s širším souborem klimatických modelů a analyzovat nejen střední, ale rozsáhlejší množinu scénářů (včetně těch extrémních), aby bylo možné nejistotu dopadu změn vyhodnotit statisticky a navrhnout co nejrobustnější systém adaptačních opatření pro snížení možných poruch vodohospodářské bilance.

PODĚKOVÁNÍ

Studie byla podpořena projektem NAZV QL24020457 „Vliv změny klimatu na evapotranspiraci a vodní bilanci v krajině v kontextu zabezpečení a udržitelnosti vodních zdrojů“ a projektem PERUN SS02030040 „Predikce, hodnocení a výzkum citlivosti vybraných systémů, vlivu sucha a změny klimatu v Česku“.

SEZNAM LITERATURY

- [1] Kašpárek, L., Peláková, M., 2023. Budou průtoky ve vodních tocích v létě k horizontu roku 2060 o polovinu menší? VTEI/ 2023/ 5

- [2] Fischer, M., Pavlík, P., Vizina, A., Bernsteinová, J., Parajka, J., Anderson, M., Řehoř, J., Ivančicová, J., Štěpánek, P., Balek, J., Hain, C., Tachecí, P., Hanel, M., Lukeš, P., Bláhová, M., Dlabal, J., Zahradníček, P., Máca, P., Komma, J., Rapantová, N., Feng, S., Janál, P., Zeman, E., Žalud, Z., Blöschl, G., Trnka, M., 2023. *Attributing the drivers of runoff decline in the Thaya river basin. Journal of Hydrology: Regional Studies* 48, 101436.
- [3] Zahradníček, P., Brázdil, R., Štěpánek, P., Trnka, M., 2021. *Reflections of global warming in trends of temperature characteristics in the Czech Republic, 1961–2019. International Journal of Climatology* 41, 1211–1229.
- [4] Brázdil, R., Zahradníček, P., Dobrovolný, P., Štěpánek, P., Trnka, M., 2021. *Observed changes in precipitation during recent warming: The Czech Republic, 1961–2019. International Journal of Climatology* 41, 3881–3902.
- [5] Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper No. 56. FAO, Rome, Italy.*
- [6] Trnka, M., Brázdil, R., Balek, J., Semerádová, D., Hlavinka, P., Možný, M., Štěpánek, P., Dobrovolný, P., Zahradníček, P., Dubrovský, M., Eitzinger, J., Fuchs, B., Svoboda, M., Hayes, M., Žalud, Z., 2015. *Drivers of soil drying in the Czech Republic between 1961 and 2012. International Journal of Climatology* 35, 2664–2675
- [7] Trnka, M., Vizina, A., Hanel, M., Balek, J., Fischer, M., Hlavinka, P., Semerádová, D., Štěpánek, P., Zahradníček, P., Skalák, P., Eitzinger, J., Dubrovský, M., Máca, P., Bělinová, M., Zeman, E., Brázdil, R., 2022. *Increasing available water capacity as a factor for increasing drought resilience or potential conflict over water resources under present and future climate conditions. Agricultural Water Management* 264, 107460.
- [8] Fischer, M., Zeman, E., Vizina, A., Hanel, M., Bernsteinová, J. et al (2023) *Metodika pro stanovení hlavních poruch vodohospodářské bilance a optimalizace adaptačních opatření v podmínkách změny klimatu, Certifikovaná metodika, Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i. 2023, ISBN 978-80-87902-37-0*
- [9] Stockhause, M., Matthews, R., Pirani, A., Treguier, A. M., and Yelekci, O.: *CMIP6 data documentation and citation in IPCC's Sixth Assessment Report (AR6), EGU General Assembly 2021, online, 19–30 Apr 2021, EGU21-2886, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-2886>.*
- [10] *Mezivládní panel OSN pro změnu klimatu (IPCC): <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/>*

AUTOŘI

Autor 1: Ing. Václav Rára, ÚVGZ AV ČR v.v.i., Bělidla 986/4a, 603 00 Brno a Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1665/1, 613 00 Brno, ČR, rara.v@czechglobe.cz

Autor 2: RNDr. Jana Bernsteinová, PhD., ÚVGZ AV ČR v.v.i. Bělidla 986/4a, 603 00 Brno, ČR, bernsteinova.j@czechglobe.cz

Autor 3: Ing. Milan Fischer, PhD., ÚVGZ AV ČR v.v.i., Bělidla 986/4a, 603 00 Brno, ČR, fischer.m@czechglobe.cz

Autor 4: doc. Ing. Evžen Zeman, CSc., ÚVGZ AV ČR v.v.i., Bělidla 986/4a, 603 00 Brno, ČR, zeman.e@czechglobe.cz

Autor 5: Ing. Maxim Bernstein, ÚVGZ AV ČR v.v.i., Bělidla 986/4a, 603 00 Brno, ČR, bernstein.m@czechglobe.cz

Autor 6: Mgr. Petr Štěpánek, Ph.D., ÚVGZ AV ČR v.v.i., Bělidla 986/4a, 603 00 Brno, ČR, stepanek.p@czechglobe.cz

Autor 7: prof. Mgr. Ing. Miroslav Trnka, PhD., ÚVGZ AV ČR Bělidla 986/4a, 603 00 Brno, ČR, trnka.m@czechglobe.cz

Autor 8: Ing. Pavel Tachecí, PhD., DHI a.s., Na Vrších 5, 100 00 Praha 10, ČR, pt@dhigroup.com

Autor 9: Ing. Vanda Tomšovičová, DHI a.s., Na Vrších 5, 100 00 Praha 10, ČR, vat@dhigroup.com

VYHODNOTENIE POVODŇOVEJ SITUÁCIE NA OHRADZOVANÝCH VODNÝCH TOKOCH V POVODÍ BODROGU NA PRELOME ROKOV 2023/2024

ASSESSMENT OF THE FLOOD SITUATION ON PROTECTIVE DAMS OF WATER FLOWS IN THE BODROG BASIN AT THE TURN OF 2023/2024

Alena Šoltisová¹, Ľuboslav Chvostal², Vladimír Vereb³, Samuel Farkaš⁴,
Ľubomír Uhorščák⁵

Abstrakt: Povodňová situácia v zimnom období na prelome rokov 2023/2024 bola sprevádzaná prechodným oteplením, topením snehovej pokrývky a výdatnými zrážkami s následnou vysokou nasýtenosťou povodia, na ktorú reagovali vodné toky prevažne v nížinných oblastiach Východného Slovenska. Na ohradzovaných vodných tokoch v južnej časti povodia Bodrogu sa vytvorili povodňové vlny s dosiahnutím, resp. prekročením stupňov povodňovej aktivity. Výdatné a dlhotrvajúce dažde spôsobili nasýtenie podloží a telies hrádzí vodou, pričom na pravobrežnej hrádzi Laborca v blízkosti obce Veľké Raškovce došlo k zosuvu návodného svahu hrádze. Obdobne bol zosuv pozorovaný aj na vzdušnom svahu juhovýchodnej hrádze vodnej stavby Zemplínska Šírava. Na ochranných hrádzach Trnávky, Latorice a Bodrogu dochádzalo po prechode povodňovej vlny k pomiestnym poškodeniam telies zemných hrádzí činnosťou vodných živočíchov.

Cieľom príspevku je poukázať na poškodenia častí ochranných hrádzí vodných tokov na Východoslovenskej nížine po prechode povodňovej vlny počas zimnej povodne a poukázať na bezprostredné zásahy operatívneho správcu toku, aby sa predišlo možným povodňovým škodám väčšieho rozsahu.

Abstract: The flood situation in the winter period at the turn of 2023/2024 was accompanied by temporary warming, melting of the snow cover and heavy precipitation with subsequent high saturation of the basin, to which the water courses responded mainly in the lowland areas of Eastern Slovakia. Flood waves were created on the fenced waterways in the southern part of the Bodrog basin, reaching by exceeding the levels of flood activity. Heavy and long-lasting rains caused the subsoils and dam bodies to get wet, while on the right-bank Laborec dam near the village of Veľké Raškovce, a slide was also observed on the air slope of the southeastern dam of the Zemplínska Šírava water reservoir. On the protective dams of Trnávka, Latorica and Bodrog, after the passage of the flood wave, there was local damage to the bodies of the earth dams due to the activity of aquatic animals.

The aim of the contribution is to point out the damage to parts of the protective dams of the watercourses in the Eastern Slovakia Plain after the passage of the flood wave during the winter flood and to point out the immediate interventions of the operational manager of the stream in order to prevent flood damage of a larger scale.

1 ÚVOD

Povodňová situácia na vodných tokoch a stavbách na území povodia Bodrogu na prelome rokov 2023 a 2024 bola pokračovaním povodňovej situácie z 11. decembra 2022, počas ktorej bolo vyhlásených celkovo 228 stupňov povodňovej aktivity v 107-mich lokalitách vodných tokov a stavieb, ktoré sú na nich vybudované.

Toto obdobie bolo charakterizované nestálym počasím. Koncom roka, vplyvom dažďových zrážok a vysokou nasýtenosťou povodia, ktorá bola spôsobená zrážkami spadnutými

XXXVIII. Priehradné dni 2024, Horný Smokovec - Vysoké Tatry, 24.9. - 26.9.2024

v novembri, boli pozorované vzostupy vodných hladín prevažne na hraničných vodných tokoch v južnej časti povodia Bodrogu. Povodňové vlny boli v danom období sprevádzané oteplením s následným topiacim sa snehom na našom území, ako aj na území západnej Ukrajiny. Podľa výsledkov hodnotenia priemerných mesačných prietokov, Slovenským hydrometeorologickým ústavom, boli posledné mesiace v roku 2023 na väčšine tokov v povodí Bodrogu vodné až extrémne vodné. Správca toku sledoval situáciu na vodných tokoch, sledoval vývoj hydrologickej situácie a realizoval zabezpečovacie práce v súlade so zákonom o ochrane pred povodňami.

Príspevok poukazuje na poškodenia a poruchy na vodných stavbách nížinných vodných tokov v povodí Bodrogu počas povodňovej situácie v ostatnom zimnom období, ktoré vznikli vplyvom dlhodobého zaťaženia telies a podloží hrádzí zrážkami, ako aj na poškodenia vodných stavieb činnosťou chránených vodných živočíchov.

2 POVODŇOVÁ SITUÁCIA NA VODNÝCH TOKOCH V POVODÍ BODROGU

V hodnotenom období dochádzalo na ohradzovaných vodných tokoch v južnej časti povodia Bodrogu – Latorica, Bodrog, Uh, Roňava, Laborec a Trnávka k vzostupom vodných hladín s následným prekročením stupňov povodňovej aktivity. Kritická situácia nastala v polovici februára 2024, kedy hladiny na hraničných vodných tokoch Bodrog v profile Streda nad Bodrogom a Latorica v profile Veľké Kapušany kulminovali tesne pod hranicou III. stupňa povodňovej aktivity a na Uhu v profile Lekárovce, kde bola táto úroveň stupňa povodňovej aktivity prekročená. Kulminačné stavy hladín na vybraných vodomerných stanicích sú v Tab. 1.

Tab. 1 Kulminačné stavy hladín na rozhodujúcich a pomocných vodomerných stanicích (zdroj: vlastné meranie, www.shmu.sk)

Tok	vodomerná stanica	stupne PA			vodný stav [cm]	dátum	hod.	trvanie SPA (dni)
		I.	II.	III.				
DECEMBER 2023								
Uh	Lekárovce	600	700	800	855	03.12.2023	17:00	2
Laborec	Ižkovce	650	700	800	728	04.12.2023	04:00	2
Roňava	Michaľany	190	220	250	348	13.12.2023	19:00	5
Trnávka	Trebišov (časť Paričov)	150	250	380	338	13.12.2023	21:00	32
Latorica	Veľké Kapušany	550	600	750	641	18.12.2023	00:00	29
Bodrog	Streda nad Bodrogom	650	700	850	716	18.12.2023	12:00	28
JANUÁR 2024								
Laborec	Ižkovce	650	700	800	666	04.01.2024	06:00	2
Roňava	Michaľany	190	220	250	226	07.01.2024	12:00	1
Trnávka	Trebišov (časť Paričov)	150	250	380	282	07.01.2024	18:00	11
Latorica	Veľké Kapušany	550	600	750	680	08.01.2024	06:00	31
Bodrog	Streda nad Bodrogom	650	700	850	771	08.01.2024	18:00	24
Uh	Lekárovce	600	700	800	610	19.01.2024	06:00	4
FEBRUÁR 2024								
Trnávka	Trebišov (časť Paričov)	150	250	380	198	07.02.2024	06:00	0
Uh	Lekárovce	600	700	800	837	11.02.2024	06:00	0
Laborec	Ižkovce	650	700	800	754	11.02.2024	18:00	0
Latorica	Veľké Kapušany	550	600	750	745	14.02.2024	00:00	7
Bodrog	Streda nad Bodrogom	650	700	850	837	15.02.2024	00:00	2

Po vyhlásení stupňov povodňovej aktivity správca toku sledoval situáciu a vývoj hydrologickej situácie na vodných tokoch a realizoval zabezpečovacie práce v postihnutých úsekoch vodných stavieb.

3 PORUCHY A POŠKODENIA NA VODNÝCH STAVBÁCH POČAS ZIMNEJ POVODNE

Počas zimnej povodne dochádzalo vplyvom nasýtenia podložia zrážkami k poruchám a poškodeniam telies častí zemných hrádzí Latorice, Bodrogu, Laborca a Trnávky, pričom pozorované boli zosuvy svahov ochranných hrádzí, ako aj poškodenia telies ochranných hrádzí spôsobené činnosťou chráneného vodného živočicha – bobra. Predmetné vodné stavby sú zaradené v databáze kategorizovaných vodných stavieb z hľadiska technicko – bezpečnostného dohľadu (TBD) nasledovne: ochranné hrádze Latorice do II. kategórie TBD, ochranné hrádze Bodrogu, ochranné hrádze Trnávky a ochranné hrádze Laborca v Michalovciach do III. kategórie TBD. Územne spadajú do pôsobnosti SVP, š. p., Povodie Bodrogu, OZ Trebišov.

Zosuv návodného svahu pravobrežnej ochrannej hrádzce Laborca v rkm 8,033 – 8,057

Na návodnom svahu pravobrežnej hrádzce Laborca v rkm 8,033 – 8,057 v extraviláne obce Veľké Raškovce v okrese Michalovce, v súbehu so štátnou cestou II. triedy č. 522, bol koncom decembra 2023 pri pravidelnej obchôdzke zistený zosuv návodného svahu ochrannej hrádzce (Obr. 1). K zosuvu došlo vplyvom dlhotrvajúcich zrážok z predošlého obdobia, nasýtenosťou podložia, ako aj dlhodobým podmáčaním päty ochrannej hrádzce v dôsledku vysokého stavu Laborca. V predmetnom úseku vodnej stavby bola vykonaná tvaromiestna obhliadka za účelom zistenia rozsahu poškodenia telesa ochrannej hrádzce, ako aj určenia postupu zabezpečovacích prác. Správca toku zabezpečil v uvedenom období provizórne prekrytie zosuvu fóliou a vrecami s pieskom. Následne bol svah v mieste zosuvu zastabilizovaný prítlažením pomocou vriec s pieskom rebrovaním.



Obr. 1 Pohľad na miesto zosuvu návodného svahu pravobrežnej hrádzce Laborca zo dňa 01.02.2024 a 15.02.2024 (Foto: A. Šoltisová, S. Farkaš)

Dĺžka zosuvu pozdĺžne po svahu dosahovala 24,70 m, max. prehĺbenie 1,12 m. Správca toku zabezpečil sanáciu predmetného úseku hrádzce stabilizáciou päty návodného svahu lomovým kameňom a úpravou do profilu projektovaného stavu ochrannej hrádzce v predmetnom úseku.

Zosuv vzdušného svahu juhovýchodnej hrádzce VS Zemplínska Šírava v hkm 3,400 – 3,500

Pri pochôdzkovej činnosti bol koncom januára 2024 zistený zosuv na juhovýchodnej hrádzci VS Zemplínska Šírava v hkm 3,400 – 3,500. Na poškodenom úseku vodnej stavby bola vykonaná tvaromiestna obhliadka, v mieste novozisteného zosuvu v hkm cca 3,400 – 3,500, za účelom zistenia rozsahu poškodenia telesa ochrannej hrádzce, ako aj určenia postupov pri realizácii

zabezpečovacích prác. Pracovná skupina skonštatovala, že práce spojené so sanáciou zosuvu je potrebné z hľadiska TBD vykonať v čo najkratšom možnom termíne za priaznivej hydrometeorologickej situácie v povodí vodnej stavby. Pracovná skupina zároveň v závere skonštatovala, že z hľadiska TBD nie je možné poškodený úsek vodnej stavby hodnotiť ako bezpečný.

Dĺžka zosuvu pozdĺžne po svahu dosahovala cca 100 m, nameraná dĺžka zosuvu priečne po svahu 8,42 m a max. prehĺbenie v predmetnom úseku hrádze činilo 68,5 cm. Správca toku zabezpečil v uvedenom období provizórne prekrytie zosuvu fóliou a vrecami s pieskom. Následne bol svah v mieste zosuvu zastabilizovaný prifažením pomocou vriec s pieskom rebrovaním. Zosuv je tohto času stabilizovaný, k posunom nedochádza (Obr. 2).



Obr. 2 Prifaženie svahu v mieste zosuvu vrecami s pieskom (rebrovaním) zo dňa 09.02.2024 a situácia v mieste zosuvu zo dňa 15.02.2024 (Foto: P. Pončák, S. Farkaš)

K poškodeniam menšieho rozsahu dochádzalo po prechode povodňovej vlny na ľavobrežnej hrádzi Latorice v rkm 8,200 v extraviláne obce Zátin, kde bol pozorovaný zosuv vzdušného svahu hrádze o celkovej dĺžke 6,700 m a s max. prehĺbením 19,0 cm, ďalej to bol zosuv návodného svahu pravobrežnej hrádze Latorice v rkm 11,200 v extraviláne obce Beša s dĺžkou zosuvu 6,09 m a max. prehĺbením 21,0 cm. Predmetné zosuvy boli zastabilizované, k ďalším posunom už nedochádzalo. Správca toku zabezpečil po odchode jarných vôd dorovnanie, resp. dosypanie zeminy do profilu projektovaného stavu ochranných hrádzí v predmetných úsekoch s osiatím trávnyim semenom. Zosuv menšieho rozsahu bol spozorovaný aj na vzdušnom svahu ľavobrežnej hrádze Laborca v rkm 5,400 v extraviláne obce Beša s dĺžkou zosuvu 25,0 m a max. prehĺbením 45,0 cm. V mieste betónovej šachty hrádzového priepustu v úseku pravobrežnej hrádze Latorice v rkm 3,259 bolo zistené poškodenie, resp. prepadnutie koruny hrádze s hĺbkou cca 50 – 70 cm, pričom prepádová plocha predstavuje cca 100 x 100 cm. Prepádlna bola dočasne utesnená pomocou piesku. Cez teleso pravobrežnej hrádze Latorice v hkm 1,800 – 2,800 boli pozorované pri päte hrádze priesaky. Priesakujúca voda bola bez známok sufózie. Z výsledkov geofyzikálneho merania, v profiloch ochrannej hrádze Latorice, metódou elektrickej odporovej tomografie boli priesakové cesty situované v polohách, kde pravostranná ochranná hrádza križuje starý meander.

Poškodenia ochranných hrádzí Trnávky, Latorice, Bodrogu a Laborca činnosťou chránených vodných živočíchov - bobrov

Počas povodne v zimnom období bolo pozorovaných aj osem lokalít potvrdenej aktivity chránených vodných živočíchov, pričom najkritickejšia situácia bola na ochranných hrádzach Trnávky. Kontrolnými obhliadkami v katastrálnych územiach obcí Hraň, Zemplínske Hradište a mesta Trebišov – časť Milhostov boli zistené rozsiahle poškodenia telies zemných hrádzí

činnosťou chránených vodných živočíchov – bobrov vodných (*Castor Fiber*). Aktivita bobra bola potvrdená aj záznamom z fotopasce. Celkovo bolo operatívnym správcom toku zistených 68 poškodení ochranných hrádzí, pričom v kritickom úseku v katastri mesta Trebišov – časť Milhostov bolo zistených na dĺžke 1 km hrádze až 39 poškodení. Samotné poškodenia zasahovali do stabilizačnej časti zemnej hrádze, poškodenia boli pozorované z návodnej strany hrádze. Ochranné hrádze boli v minulosti účelovo vybudované na ochranu pred povodňami v rámci vodohospodárskych úprav Východoslovenskej nížiny. Zistené poškodenia živočíchmi mohli v uvedenom období spôsobiť znehodnotenie rozsiahleho územia záplavami, pričom neboli zanedbateľné ani povodňové škody na samotnej hrádzi, vzhľadom na doteraz vynaložené finančné prostriedky na ochranu územia pred povodňami v predošlom období. V prípade záplav by povodňová vlna z Trnávky zasiahla obytnú časť samotného okresného mesta Trebišov, keďže územne leží bezprostredne po pravej strane toku a spôsobila by tak výrazné škody na majetku obyvateľov mesta. Poškodené ochranné hrádze vodným živočíchom boli lokalizované aj v ďalších úsekoch Trnávky, a to v celkovej dĺžke 6 km. Navrhované opatrenia súvisiace s uložením pletiva do telesa ochranných hrádzí, ktoré boli lokalizované aj v ďalších úsekoch Trnávky sú finančne a kapacitne veľmi náročné. Celková výška nákladov potrebných na opravu poškodených úsekov hrádzí predstavuje cca 6 970 000 EUR. Aj napriek vykonaniu technických opatrení v poškodených lokalitách je veľmi pravdepodobné, že živočích bude migrovať do iných lokalít a jeho činnosťou budú ohrozené ďalšie úseky ochranných hrádzí. Budovanie preventívnych opatrení pred poškodzovaním vodných stavieb chráneným vodným živočíchom (Obr. 3) je pre našu spoločnosť ekonomicky nevýhodné (v správe SVP, š. p., Povodie Bodrogu, OZ Trebišov sa jedná o celkovú dĺžku 512,10 km ochranných hrádzí, čo predstavuje investičný náklad cca 350 mil. EUR). Zároveň platí, že ochranné hrádze boli v minulosti budované za účelom zabezpečenia protipovodňovej ochrany, ktorá je v súčasnej dobe značne obmedzená.



Obr. 3 Poškodenie návodného svahu ochrannej hrádze Trnávky v rkm 15,000 – 16,000 a záber z fotopasce s potvrdenou aktivitou bobra (Foto: S. Farkaš)

Obdobná situácia, avšak menšieho rozsahu, bola pozorovaná aj na ochranných hrádzach hraničných vodných tokov Bodrog (rkm 0,100 – 0,220 a v rkm 1,100) a Latorica (pravobrežná ochranná hrádza Latorice v rkm 4,500, v rkm 8,500, v rkm 12,100, ľavobrežná ochranná hrádza Latorice v rkm 2,200 – 2,300, v rkm 8,900 a v rkm 12,100). Poškodenie spôsobené chránenými živočíchmi bolo pozorované aj na VS Hrčel', kde nory zasahovali do priehradného telesa. Všetky nájdené poškodenia, resp. diery a prepadnutia boli provizórne utesnené vrecami s pieskom a predmetným úsekom venoval správca toku zvýšenú pozornosť. SVP, š. p., na základe záverov z pracovného stretnutia a v zmysle horeuvedeného požiadal MŽP SR o udelenie výnimky na odlov jedincov bobra vodného (*Castor fiber*) v lokalitách ochranných hrádzí Trnávky, Laborca, Latorice a Bodrogu, podľa § 40 ods. 2 zákona č. 543/2002 Z. z. o ochrane prírody a krajiny v znení neskorších predpisov. Samotný odlov chráneného živočícha

by malo realizovať príslušné poľovné združenie v zmysle zákona č. 274/2009 Z. z. o poľovníctve a o zmene a doplnení niektorých zákonov.

Operatívny správca toku zabezpečuje postupne opravy poškodených úsekov ochranných hrádzí Trnávky v rkm 15,000 – 16,000 sanáciou pomocou zeminy. Poškodenia na ochranných hrádzach Latorice a Bodrogu boli sanované v máji. V súčasnosti aktivita bobra vodného po poklese vodných hladín na tokoch v poškodených úsekoch vodných stavieb nie je pozorovaná.

4 ZÁVER

Počas zimnej povodne na prelome rokov 2023/2024 boli z dôvodu dlhotrvajúcich zrážok na vodných tokoch v povodí Bodrogu dosiahnuté, resp. prekročené stupne povodňovej aktivity a na vodných stavbách, ktoré sú na nich vybudované dochádzalo vplyvom dlhodobého zaťaženia vysokými hladinami a nasýtenosťou podložia k poškodeniam telies ochranných hrádzí, ktoré sa prejavovali najmä zosunutím častí svahov hrádze. Dlhodobé vysoké vodné stavy na ohradzovaných vodných tokoch vytvárali vhodné podmienky pre aktivitu chráneného vodného živočícha – bobra vodného, ktorý svojou činnosťou spôsobil rozsiahle poškodenia telies zemných hrádzí, najmä na toku Trnávka v okrese Trebišov. Po poklese vodnej hladiny na vodných tokoch sa činnosť vodného živočícha bobra vodného eliminovala, k vytváraniu nových poškodení na ochranných hrádzach v súčasnosti nedochádza. Z pohľadu správcu toku sú zabezpečovacie práce na všetkých povodňových úsekoch realizované operatívne, pri maximálnom možnom nasadení vlastných kapacít tak, aby sa predchádzalo ďalším možným škodám na majetku SVP, či majetku a životov občanov v dotknutých územiach.

ZOZNAM LITERATÚRY

[1] *Prevádzková dokumentácia SVP, š. p.*

AUTORI

Autor 1: Ing. Alena Šoltisová, PhD., SVP, š. p., Povodie Bodrogu, OZ Trebišov, M. R. Štefánika 25, 075 01 Trebišov, e-mail: alena.soltisova@svp.sk

Autor 2: Ing. Luboslav Chvostal', SVP, š. p., Povodie Bodrogu, OZ Trebišov, M. R. Štefánika 25, 075 01 Trebišov, e-mail: luboslav.chvostal@svp.sk

Autor 3: Ing. Vladimír Vereb, SVP, š. p., Povodie Bodrogu, OZ Trebišov, M. R. Štefánika 25, 075 01 Trebišov, e-mail: vladimir.vereb@svp.sk

Autor 4: Ing. Samuel Farkas, SVP, š. p., Povodie Bodrogu, OZ Trebišov, M. R. Štefánika 25, 075 01 Trebišov, e-mail: samuel.farkas@svp.sk

Autor 5: Ing. Lubomír Uhorščák, VV, š. p., pracovisko TBD Košice, Ďumbierska 26, 040 01 Košice, e-mail: lubomir.uhorscak@vzb.sk

KLIMATICKÉ ZMENY A POTREBA BUDOVANIA NOVÝCH VODNÝCH NÁDRŽÍ

DÍLČÍ PROBLÉMY PŘI TECHNICKÉM ŘEŠENÍ VODNÍHO DÍLA NOVÉ HEŘMINOVY

PARTICULAR PROBLEMS IN THE DESIGN OF THE DAM NOVÉ HEŘMINOVY

Jaromír Říha

Abstrakt: V rámci projektové přípravy vodního díla Nové Heřminovy bylo třeba řešit řadu dílčích technických problémů. Pro tento příspěvek byly vybrány otázky související s návrhem přehradní hráze, která je nejvýznamnějším objektem ze souboru protipovodňových opatření v povodí horní Opavy. Popis navrhovaného tělesa hráze a funkčních zařízení je zmíněn pouze okrajově, je součástí samostatných příspěvků investora a projektanta vodního díla. V článku jsou uvedeny poznatky získané rešerší dostupných podkladů o betonových přehradách doma i v zahraničí. Jde o podklady pro návrh betonové směsi pro těleso hráze, problematika úpravy, těsnění a odvodnění dilatačních a pracovních spár a doporučení pro snížení nepříznivých účinků teplotních změn během provádění a provozu vodního díla.

Abstrakt: As part of the preparation of the Nové Heřminovy scheme, a number of technical problems have to be solved. In this paper, problems related to the design of the concrete gravity dam, which is the most important element from the set of flood protection measures in the upper Opava basin, were selected. The dam is described only marginally, it is part of the separate papers in this proceedings. The paper presents findings obtained by researching available documents on concrete dams at home and abroad. It concerns the basis for the design of the concrete mixture for the dam body, the of treatment, sealing and drainage of expansion and working joints, and recommendations for reducing the adverse effects of temperature changes during the construction and operation of the dam.

1 ÚVOD

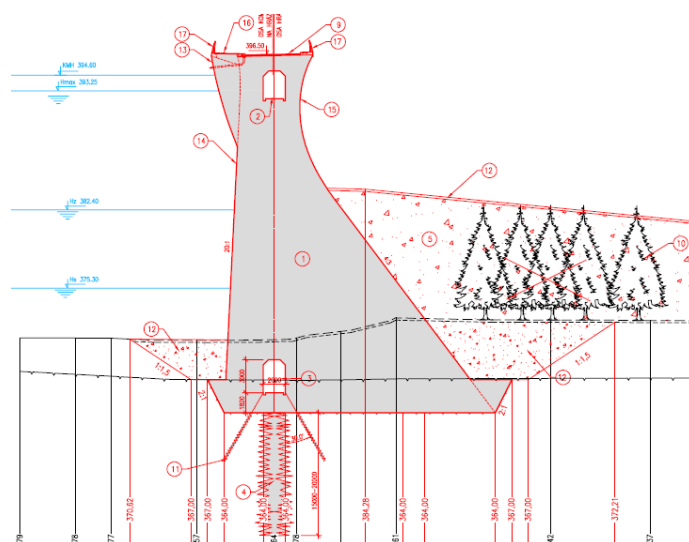
Hlavním objektem vodního díla Nové Heřminovy (VDNH) je přehradní hráz [1]. Jde o tížnou betonovou hráz výšky 24,5 m nad terénem s délkou 330 m v koruně. Stabilitu hráze zajišťuje tuhé betonové těleso ve tvaru tzv. statického trojúhelníku s návodním lícem ve sklonu 20 : 1, sklon vzdušního líce je 4 : 3 (obr. 1). Těsnicí funkci zajišťuje samotné betonové těleso hráze, podloží bude těsněno injekční clonou. Z hlediska průsaků bývají kritickými dilatační spáry mezi přehradními bloky opatřené spolehlivým těsnicím prvkem. Průsaky spárami se zachycují v drenážních šachtách a svádí se do patní revizní a injekční chodby.

Při návrhu bylo třeba řešit řadu technických problémů, a to v situaci, kdy poslední betonová přehradní hráz obdobných parametrů byla dokončena před více než 30 lety (VD Hněvkovice), změnil se podstatně investorsko-dodavatelské vztahy a proběhly změny v ustanoveních souvisejících technických norem při jejich zapracování do systému evropských norem (Eurokódů). Specifický je také účel díla, které má dominantně zajišťovat ochrannou funkci, z čehož vyplývá trvale snížená hladina vody v nádrži s relativně rychlými nástupy a poklesy.

Z technických otázek byly pro tento článek vybrány:

- podklady k návrhu betonové směsi pro těleso hráze,
- těsnění dilatačních spár,
- problematika hydratačního tepla, jeho vývinu, měření a možností snížení.

Při zpracování článku byly využity podklady o dříve vybudovaných přehradách, poznatky z materiálů Českého a Mezinárodního přehradního výboru, výsledky výzkumných prací a návštěvy na obdobných přehradách u nás i v zahraničí. Zmíněné zásady jsou jedním z podkladů při probíhajícím projektovém řešení díla.



Obr. 1 Typický příčný řez hrázi VDNH [1]

2 PŘEHRADNÍ BETON

Vzhledem ke specifikům tížných přehrad jsou požadavky na přehradní beton oproti "tradičnímu" betonu rozšířeny [2]. Předpokládá se, že těleso hráze VDNH zónováno na část jádrovou a obalovou. Zkušenosti z výstavby našich starších betonových přehrad i novější přehrady Leibis/Lichte [3] ukazují na použití:

- betonu s jemnozrnným kamenivem na styku s podložím a v napojení pracovních spár,
- obalového betonu s obsahem cementu 240 až 340 kg/m³, s vyšší trvanlivostí a pevností,
- jádrového betonu s obsahem cementu 180 až 230 kg/m³ a menším vývinem hydratačního tepla.

V následujícím výčtu jsou uvedena další specifika přehradního betonu.

- Požadavky na pevnost pro masivní beton v přehradách jsou většinou mnohem nižší než požadavky na konstrukční beton.
- Beton musí odolávat tepelnému namáhání v průběhu hydratace a také během provozu (střídání venkovní teploty, teplotní režim vnitřních prostorů). Kontrola hydratačního tepla je důležitá při výběru cementu pro masivní beton a také při výběru kameniva. Teplotní namáhání během provozu díla lze očekávat zejména u obnažených částí (líců):
 1. na vzdušném líci a koruně dochází k dennímu a sezónnímu kolísání teploty,
 2. na návodním líci ke kolísání hladiny vody v nádrži a tím i změnám teploty.
- Obalový beton hráze musí mít odpovídající trvanlivost, t.j. schopnost odolávat otěru vyvolanému rychle proudící vodou a povětrnostním vlivům jako jsou mráz a změny venkovních teplot. To vyžaduje použití vysoce kvalitního kameniva a další opatření. V moderní technologii betonu se pro zlepšení odolnosti proti mrazu používají provzdušňovací přísady. Vzduch v betonu však působí negativně na odolnost vůči abrazi. Jako vhodná se proto na základě výsledků z praxe ukazuje výroba betonů bez dodatečného provzdušnění, ale dostatečně odolných pro prostředí XF3 dle [4]. Požadavek na trvanlivost by měl odpovídat min. 150 zmrazovacím cyklům.
- Obecně, při dodržení určitých opatření, mohou být použity složky betonu, které neodpovídají ustanovením betonářských norem [4]. Lze též alternativně upravit konstrukci přehrady tak, aby umožňovala použití horších materiálů (mírnější sklony líců, apod.).
- Beton musí odolávat agresivnímu působení vody.

- U veľkých betonových pŕehrad musí byť zaveden rozsáhlý režim vzorkování, testování a kontroly kvality kameniva a dalších materiálů. To platí zejména pokud nejsou plně dodrženy požadavky platných norem. Odchylky vyžadují schválení dohlížejícím orgánem, kdy jsou zkušební metody a výsledky dále podrobněji zkoumány.
- Je požadován beton s vyváženými vlastnostmi jako jsou pevnost, zpracovatelnost, vývin tepla, smršťování, dotvarování a trvanlivost. Vlastnosti nelze nezávisle optimalizovat a návrhy směsí jsou proto kompromisní, spojené s vlastnostmi použitých materiálů.
- Dostupné materiály mají být vyhodnoceny v rané fázi přípravy díla, průběžné vyhodnocení jejich vlastností musí pokračovat během návrhu a výstavby. Zkušební směsi mají být vyrobeny ve fázi návrhu, aby se určilo vzájemné působení složek betonu a jejich vhodné poměry ve směsi.
- Výběr materiálu musí vzít v úvahu:
 3. požadované vlastnosti „čerstvé“ směsi (z hlediska způsobu jejího ukládání),
 4. požadované vlastnosti zatvrdlé směsi,
 5. tepelné vlastnosti,
 6. trvanlivost,
 7. potenciál pro expanzivní chemické reakce (alkalická reakce kameniva - AAR) a další mechanismy vedoucí k dlouhodobému zhoršování vlastností hotového betonu,
 8. zpracovatelnost betonu a kvalitu pro hydraulicky namáhané povrchy.

Za zmínku stojí použití poměrně velkého maximálního zrna, které prakticky u všech dříve provedených pŕehrad pŕesahuje průměr 80 mm, u pŕehrady Leibis/Lichte byl použit dokonce průměr zrna 125 mm. Velké průměry zrn pŕispívají ke snížení tahového pŕetvoření betonu, zvýšení pevnosti ve smyku a snížení vývinu hydratačního tepla. Se zvětšujícím se maximálním zrnem naopak klesá zpracovatelnost, což může omezit použití některých technologií (čerpání betonové směsi). Pro návrh se běžně používá 3 až 4 frakcí kameniva, ve snaze dosáhnout spojitě křivky zrnitosti "Fullerova" tvaru.

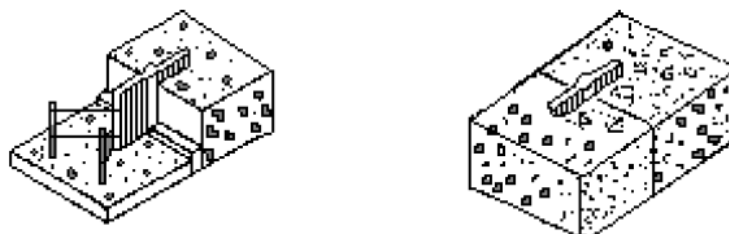
3 TĚSNĚNÍ DILATAČNÍCH SPÁR

Cílem návrhu dilatačních spár tížných pŕehrad je pŕedejít vzniku trhlin při objemových změnách betonu, popŕ. v důsledku nerovnoměrného pŕetvoření tělesa hráze. Pŕehradní hráz se obvykle dělí svislými dilatačními spárami na jednotlivé bloky. Zatímco účinek smršťovacích spár se omezuje na období výstavby a krátké období po dokončení díla, působení dilatačních spár musí být zajištěno po celou dobu provozu díla. Obecně je účelné smršťovací a dilatační spáry ztotožnit. V tom případě se spáry stahují v počáteční fázi tvrdnutí betonu, kdy se vyvíjí hydratační teplo, rozevírají se v průběhu smršťování betonu při jeho ochlazování, rozevírají a stahují se v důsledku teplotních změn tělesa hráze v průběhu provozu VD a umožňují samostatný pohyb bloků při jejich nerovnoměrném pŕetvoření. Vzdálenost dilatačních spár (šířka bloku) nemá pŕekročit u prostého betonu 15 m. Vzdálenost dilatačních spár je třeba modifikovat v zavázání hráze do boků údolí, kde zlomy na strmých svazích vyžadují specifické umístění dilatační spáry.

Dilatační spáry zpravidla probíhají celou pŕehradní zdí od návodního až po vzdušný líc, a proto je třeba je těsnit proti prosakující vodě. Těsnění se provádí vždy na návodní straně, často také na vzdušní straně hráze, a to zejména z důvodu zamezení pŕítoku dešťových vod do vnitřních prostor tělesa hráze. To je důležité zejména v případech, kdy jsou uvnitř tělesa hráze umístěna funkční zařízení, jak je tomu také u VDNH.

Uspořádání těsnících pŕvků je individuální a existuje řada kombinací. Obvykle jsou provedeny vždy alespoň dva nezávislé těsnící pŕvky za sebou. Za těsněním bývá navržen drenážní systém

pro měření a odvedení případného průsaku. V současnosti jsou nejčastěji používaným těsnicím prvkem gumové pásy zabetonované do tělesa hráze (obr. 2, 3).

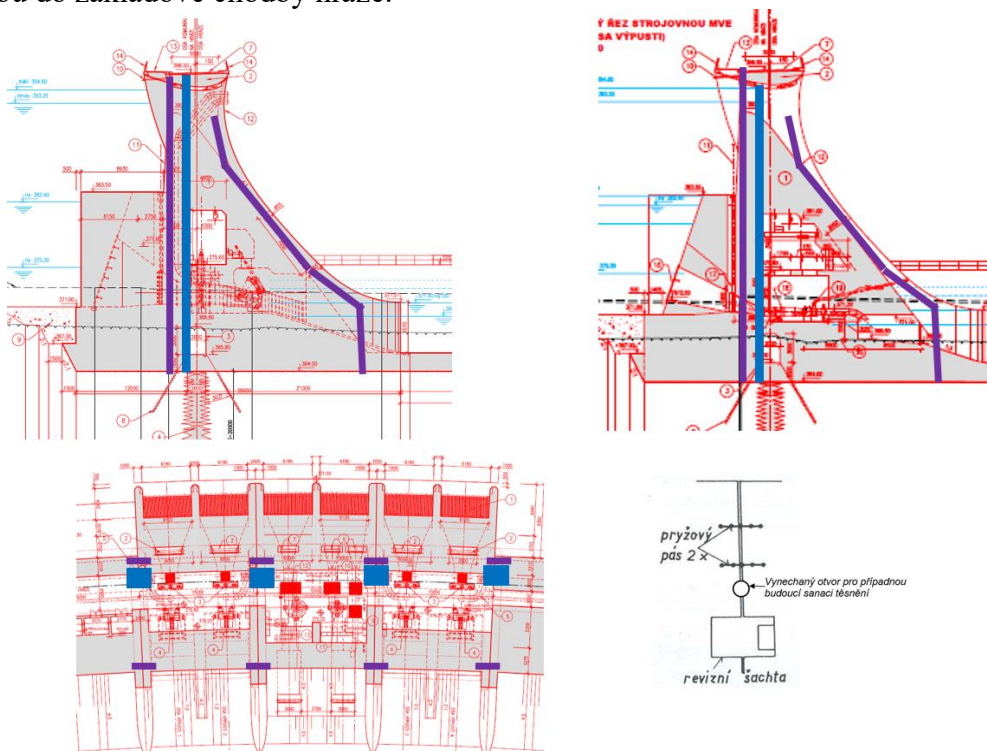


Obr. 2 Osazení gumového pásu s děleným bedněním



Obr. 3 Gumový pás na přehradě Leibis/Lichte

Na hrázi VDNH se předpokládá použití dvou gumových pásů při návodním líci a jednoho gumového pásu při vzdušním líci (obr. 4). Při návodním líci bude těsnění dilatačních spár doplněno svislou kruhovou šachtou pro případnou budoucí sanaci těsnění a drenážní šachtou zaústěnou do základové chodby hráze.



Obr. 4 Konceptní návrh uspořádání dilatačních spár na VDNH.
Fialově je vyznačeno těsnění dilatačních spár, modře drenážní šachty

U vysokých přehrad (např. VD Orlick, Leibis/Lichte) se rovněž navrhuje odvodnění pracovních spár tvořené vodorovnými kanálky umístěnými na návodní straně pracovních spár. U VDNH se s tímto řešením neuvažuje.

4 PROBLEMATIKA HYDRATAČNÍHO TEPLA

Teplotní režim přehrad lze dělit na období:

- během výstavby, kde kromě klimatických teplot hraje významnou roli vývoj hydratačního tepla tuhnoucího a tvrdnoucího betonu a jeho následné ochlazování,
- během provozu, kdy se mění klimatické teploty, a to jak v denním, tak sezónním cyklu.

Hydratační teplo je výsledkem hydratace, kterou lze rozdělit do tří časových fází:

- 1. fáze trvá cca 1 až 2 hodiny po smíchání slínku s vodou. Vyznačuje se vývojem hydratačního tepla, který trvá relativně krátkou dobu s postupně se snižujícím uvolňováním tepla. Začíná se zvyšovat viskozita cementového tmelu, jehož chování je však stále bližší viskózní kapalině.
- 2. fáze hydratace probíhá přibližně do 12 až 24 hodin po smíchání slínku a vody. V této fázi dochází k vytvoření základů mikrostruktury cementového kamene. Fáze se vyznačuje nejvýraznějším vývojem hydratačního tepla a po jejím skončení je cementová pasta již ve formě tuhé látky s pevností v tlaku až 20 MPa.
- 3. fáze hydratace může trvat i několik let. První část trvá do cca 28 dnů od smíchání slínku s vodou a dochází při ní k postupnému snižování uvolněného hydratačního tepla. Po 28 dnech cementová pasta „dozrává“ s rekrystalizací fází v mezi zrn cementu.

Hydratační teplo a jeho časový vývoj závisí na řadě faktorů:

- na mineralogickém složení slínku a cementu,
- na jemnosti mletí cementu,
- na teplotě, při které hydratace probíhá,
- na množství záměsové vody,
- na přísadách a příměsích ve slínku,
- na velikosti zrn kameniva.

Požadavky na postup výstavby, ve vazbě na vývoj teplotního pole, napjatosti v hrázi a na časový průběh pevnostních a přetvárných charakteristik, se odvozují na základě výsledků matematického modelování teplotně-napjatostního režimu tělesa hráze a jejího podloží. Odvozená napětí je třeba porovnat s postupně se vyvíjející pevností. Dle výsledků řešení se formulují doporučení vedoucí k eliminaci vzniku trhlin.

Velmi důležité je provádět v průběhu betonáže měření teplot na povrchu a uvnitř konstrukce. Cílem měření teplot v tělese hráze je kontrolovat výpočtem předepsané mezní rozdíly teplot v průběhu výstavby, dále pak v průběhu provozu díla ve vazbě na měřené posuny, resp. průhyby hráze a kontrolovat, zda deformace odpovídají projektem stanoveným hodnotám, či nejsou překročeny mezní hodnoty. Projekt měření se zpracovává jako součást projektové dokumentace za konzultace s pracovníky technickobezpečnostního dohledu, většinu měřicích zařízení je třeba osadit v průběhu výstavby. V současnosti se pro měření teplot využívá zejména tři následujících způsobů, které je vhodné vzájemně kombinovat:

- Teploměry jsou nejčastějším zařízením pro bodové měření teploty uvnitř betonu. Jejich nevýhodou je, že zvyšují náklady na výstavbu a komplikují a zdržují provádění stavby. Jejich pokládka se provádí podle technologického postupu prací uvedeném v projektu.
- Distribuovaná optická vlákna se s výhodou používají pro „spojité“ měření teploty uvnitř betonu. V důsledku rozvoje technologie snímání optickými vlákny byly již na řadě děl umístěny optické kabely. Jejich nevýhodou je, že zvyšují náklady na výstavbu a komplikují provádění stavby. Použití optických vláken je slibné díky jejich výhodám, jako odolnost vůči elektromagnetickému rušení, možnost přenosu více signálů jedním médiem, vysoká přesnost a dobrá spolehlivost. Přejít od etapových ke kontinuálnímu měření lze provést dodatečně bez změny instrumentace. Systém snímání je však pro terénní aplikace relativně drahý. Pokládka kabelů se provádí podle technologického postupu prací uvedeného v projektu. V současnosti se optické kabely uplatňují nejvíce u

přehrad z válcovaného betonu, kde je výhodou spojitá betonáž po vrstvách.

- Termokamery lze použít pro měření povrchové teploty betonu. Jde o nedestruktivní technologii, která umožňuje rychlé měření a vyhodnocení na velké pozorovací ploše, bezkontaktní a vysokou přesnost měření. Důležitý je návrh počtu a umístění teplotních čidel. Měření je obvykle kombinováno s měřením teploměry a optickými vlákny.

Vývin hydratačního tepla lze ovlivnit řadou opatření. Z hlediska složení čerstvého betonu lze použít větší frakci kameniva (smršťuje se pouze cementový tmel, omezení jeho objemu zmenší velikost smrštění), snížit vodní součinitel, použít expanzivní přísadu (při správném dávkování odpovídá i v čase nárůst objemu přísady velikosti smršťování). Při ošetřování betonu lze hydratační teplo snížit zakrytím betonu fólií, nástřikem ochranné emulze, kropením vodou s teplotou blízkou teplotě kropského betonu, popř. vlhčením vodní mlhou. Přitom nesmí dojít k vyplavování cementu z betonu. Lze též posunout betonáž do večerních či nočních hodin, zejména v létě, tak, aby vysoká denní teplota nepřispívala k ohřívání čerstvě uloženého betonu. Omezení hydratačního tepla lze docílit použitím cementu s jeho nižším vývojem, menším množstvím cementu, popř. lze přidat přísady zpomalující tuhnutí. Účinné je snížení teploty přidávaných složek přimícháváním ledových krystalů nebo ochrana kameniva před slunečním svitem jeho přikrytím [3]. Lze rovněž ochlazovat vlastní konstrukci, např. potrubím s cirkulující studenou vodou. Toto opatření nicméně komplikuje betonáž a je také poměrně nákladné.

5 ZÁVĚR

Betonová přehradní hráz obdobného typu a parametrů jako je VDNH byla dokončena před více než třemi dekadami, výstavba betonových přehrad stagnuje i v ostatních evropských zemích. Důsledkem toho je určitá ztráta znalostí a zejména zkušeností s projektováním a výstavbou obdobných vodních děl. Článek si klade za cíl stručně shrnout zásady návrhu a provádění betonové masivní hráze ve třech vybraných dílčích otázkách. Uvedené komentáře mohou být podkladem pro konkrétní řešení v rámci projektové přípravy i vlastní výstavby VDNH.

POUŽITÉ PODKLADY

- [1] *VD Nové Heřminovy, Dokumentace k žádosti o vydání rozhodnutí o umístění stavby, Společnost "OHO", 10/2017.*
- [2] *Bulletin 165. 2013. Selection of Materials for Concrete In Dams. ICOLD. 72 p.*
- [3] *Kühme, M., Burkert, W., Schattschneider, H. 2006. Betontechnologie für das Absperrbauwerk der Talsperre Leibis/Lichte Ernst&Sohn Verlag für technische Wissenschaften GmbH, Berlin. Beton und Stahlbetonbau 101 (2006), Heft 4, p. 268 – 276.*
- [4] *ČSN EN 206+A2 (73 1403) Beton: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda, 2018.*

PODĚKOVÁNÍ

Poděkování patří pracovníkům Povodí Odry, s.p. a AQUATISu, a.s. za poskytnutí podkladů o VDNH, dále pak projektu specifického výzkumu FAST-S-24-8513 *Analýza vlivu vstupních veličin na výsledky numerických modelů používaných při hodnocení bezpečnosti vodních děl.*

AUTOR

prof. Ing. Jaromír Říha, CSc., Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Veverí 95, 602 00 Brno, Česká republika, e-mail: Jaromir.Riha@vut.cz

POLDER ČECHY

THE ČECHY POLDER

Helena Ficeková¹, Jozef Hudec²

Abstrakt: V príspevku je pozornosť venovaná ochrane obce Čechy pred povodňovými pretokmi, ktoré sú veľmi významným faktorom v danom území a aj na Slovensku. Pri intenzívnych zrážkach voda rýchlo stečie do údolia, kde sa koncentruje a pri prekročení kapacity koryta dochádza k zaplavovaniu územia pozdĺž vodného toku, čím prichádzalo k významným škodám na majetku obyvateľov, prípadne aj následným ekologickým škodám. Stavba „Polder Čechy“, ktorej predmetom bola realizácia suchého údolného poldra bude zabezpečovať protipovodňovú ochranu obce Čechy a okolia, čím sa znížia povodňové prietoky na kapacitu existujúceho koryta Branovského potoka, ktorý preteká intravilánom obce Čechy, okres Nové Zámky. Vybudovaný polder je situovaný cca 80,00 m nad obcou Čechy, na Branovskom potoku v r.km 12,935, pod sútokom s potokom Hastrgáň [2].

Abstract: In the press release, the attention is paid to the protection of the municipality of Čechy from flood flows, which are a very well-known factor in the area and also in Slovakia. During intense rainfall, water quickly flows into the valley, where it concentrates and when the capacity of the riverbed is exceeded, the area along the watercourse is flooded, which has caused damage to the property of the local residents, and possibly also subsequent ecological damage. The project "The Čechy Polder", the subject of which was the implementation of a dry valley polder, will provide flood protection for the municipality of Čechy and the surrounding area, which will reduce flood water discharge to the capacity of the existing Branovský Stream river bed, which flows through the intravilan of the municipality of Čechy, Nové Zámky district. The implemented polder is situated approx. 80.00 m above the municipality of Čechy, on the Branovský Stream at r.km 12,935, below the confluence with the Hastrgáň Stream [2].

1 ÚVOD

V posledných rokoch sa privalové dažde opakujú oveľa častejšie a ich výskyt sa zväčšuje a spôsobujú povodne menšieho alebo väčšieho rozsahu. Po rozsiahlych povodniach v roku 2002 začali členské štáty EÚ analyzovať možnosti eliminácie povodňových rizík, zlepšenia prevencie a ochrany pred povodňami s cieľom znižovať povodňové škody. Výsledkom bolo prijatie Smernice EP a Rady 2007/60/ES o hodnotení a manažmente povodňových rizík, ktorá je do právneho poriadku SR transponovaná zákonom NR SR č. 7/2010 Z. z. o ochrane pred povodňami.

Z uvedenej smernice vyplývajú dva základné ciele:

- redukovanie možností vzniku povodňových škôd;
- zvýšenie ochrany obyvateľstva pred nepriaznivými následkami povodní [1].

Jednou z možností eliminovania povodňových škôd je výstavba retenčných vodných nádrží.

Pre návrh nádrží (poldrov) platí STN 73 6824 Malé vodné nádrže.

Poldre sú jednoúčelové a ich primárnou funkciou je vytvárať pohotovostný retenčný priestor a sú prevádzkovo charakteristické rýchlym vyprázdnením s prihliadnutím na povodňovú situáciu.

Relatívne v malom povodí akým je Branovský potok sa na tvorbe a priebehu odtoku podieľa zrážková činnosť s krátkou dobou trvania a nevhodným spôsob obhospodarovania pôdy v povodí.

Návrh suchého prietochného poldra v obci Čechy vychádzal z komplexného posúdenia daných pomerov tak, aby bola zaistená jeho správna funkcia a najefektívnejší účinok.

Projektová dokumentácia stavby „Polder Čechy“ bola vypracovaná v súlade s cieľmi Plánu manažmentu povodňového rizika v čiastkovom povodí Váhu a v súlade s Územným plánom regiónu Nitrianskeho kraja a v ňom spracovanom návrhu opatrení na ochranu pred povodňami. Potreba realizácie projektu bola vyvolaná mimoriadnymi povodňovými situáciami na toku Branovský potok. Územie ohrozovali prívaly vôd spôsobené krátkodobými dažďami vysokej intenzity [2]. Rozsiahle povodne zasiahli obec Čechy najmä v rokoch 2007 (Obr. 1, Obr. 2), 2011, 2014 a 2017.



Obr. 1 Povodeň v obci Čechy



Obr. 2 Povodeň v obci Čechy

2 ZÁKLADNÉ ÚDAJE O PROJEKTE A REALIZÁCIÍ STAVBY

Projektant: CABEX, a.s., Bratislava

Zhotvoiteľ: TMG, a.s., Prievidza

Doba realizácie: 01/2022 – 12/2023

Celková cena diela: 1 002 730,700 € bez DPH

Spôsob financovania:

MŽP SR – Operčný program Kvalita ŽP: 597 425,91 €

Štátny rozpočet: 105 428,10 €

Vlastné zdroje: 299 876,66 €

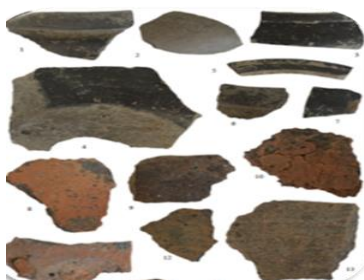
Pred realizáciou poldra KPÚ v Nitre nariadil „archeologický výskum“, ktorý realizovala spoločnosť PAMACH, s.r.o., Štefánikova trieda 4/7, Nitra.

Výskum : 04 - 06/2021 a 03 - 04/2023

Na západnej strane za tokom sa nachádza praveké sídlisko. Táto časť bola odkrytá celoplošne. Objavilo sa 37 objektov, mohutná kultúrna vrstva o ploche 350 m².

Archeológia sa objavovala od 0,5 m až do 1,7 m (Obr. 3, Obr. 4, Obr. 5)

Objekty obsahovali výplň nálezov od mladšej lineárnej keramiky, mladšia doba bronzová.



Obr. 3 Zvieracie kosti

Obr. 4 Keramika

Obr. 5 Fragment lebky

Hydrologické údaje Branovského potoka (pod sútokom s potokom Hastrgáň):

Plocha povodia: 14 km²

N-ročné prietoky (m³/s):

Q1 Q5 Q10 Q20 Q50 Q100

1,5 3,5 4,7 5,7 7,4 8,6

Návrhové povodňové vlny Branovský potok (pod sútokom s p. Hastrgáň):

Q100 = 8,6 m³/s (kulminačný prietok)

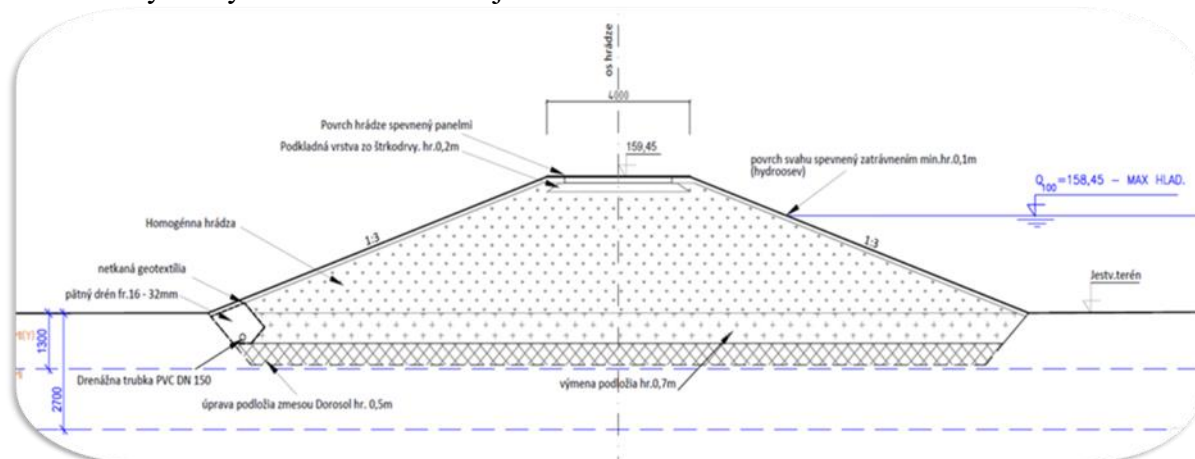
WQ100 = 166 000 m³ (objem povodňovej vlny)

T_{pv} = 10,7 hod T_{vz} = 4,3 hod T_{kl} = 6,4 hod

Stavba bola členená na 7 stavebných objektov :

SO 101 Hrádza poldra – homogénna zemná hrádza dĺžky 203 m, so sklonom návodného a vzdušného svahu 1 : 3, koruna hrádze šírky 4,0 m – spevnená panelmi 3x2x0,15 na štrkodrve 0 – 32 mm v hr. 20 cm, výška hrádze nad terénom 3,2 m, svahy hrádze boli pokryté 10 – 15 cm vrstvou humusu a zatrávnené hydroosevom. Zemina na sypanie hrádze sa vozila zo zemníka z inundácie vodného toku Nitra. Zemina bola sypaná a hutnená po 30 cm vrstvách. V zmysle záverov IG prieskumu v profile objektu sa malo realizovať zlepšenie technologických a fyzikálno – mechanických vlastností podložja a aj jednotlivých vrstiev hrádze chemickou stabilizáciou. V PD bol na chemickú stabilizáciu navrhnutý DOROSOL, ktorý sa v čase realizácie nevyrábal a tak bola projektantom navrhnutá zmena chemickej stabilizácie: pojivo vápno + cement (čo sú v podstate zložky DOROSOLU) a v hrúbke cca 0,5 – 0,7 m vymenené podložje (Obr. 6). Pri hutnení bol použitý ježkový valec.

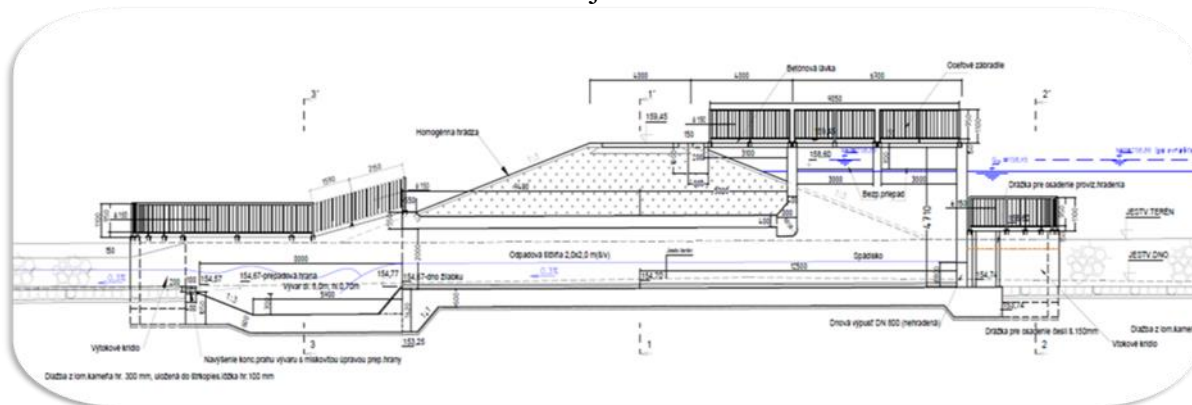
Súčasťou hrádze je vybudovaný aj pätný drén – tvorený drenážnou trúbkou PVC DN 150 so štrkovým obsypom (fr. 8/16). Medzi drénom a zeminou hrádzou je osadená geotextília. Drén bol zaústený do vývaru združeného objektu.



Obr. 6 Priečný profil zemnej hrádze (vľavo pätný drén, výmena podložja pod hrádzou)

SO 102 Združený funkčný objekt (ZFO) – súčasťou hrádze je združený funkčný objekt, umiestnený v telese hrádze (Obr. 7). Voda odtekajúca cez dnový otvor DN 800, ako aj voda prepadajúca cez bezpečnostný priepad je odvádzaná spoločnou štôľňou (2 x 2 m), ukončenou vývarom. Prietok je transformovaný dnovým výpustom (bez možnosti regulovania veľkosti otvoru) počas prechodu povodňovej vlny. Na vtoku sú drážky pre umožnenie osadenia hradlíc a provizórneho hradenia. Prietoková kapacita dnového otvoru závisí od hladiny vody v poldri. Pri max. hladine (bez prepádania cez bezpečnostný priepad), sa bude kapacita dnového priepustu rovnáť bezpečnému prietoku v koryte pod poldrom. ZFO poldra zabezpečuje

bezpečné prevedenie povodňového prietoku aj pri upchatom spodnom otvore. Pri povodňovej vlně s kulminačným prietokom $Q_{100} = 8,6 \text{ m}^3/\text{s}$ s možnosťou odtoku len cez bezpečnostný priepad je transformovaný prietok $3,0 \text{ m}^3/\text{s}$ (transformácia povodňovej vlny o $5,6 \text{ m}^3/\text{s}$). Max. hladina na kóte 158,86 m n.m. sa nachádza 26 cm nad úrovňou bezpečnostného priepadu. Súčasťou objektu je aj ochranné zábradlie výšky 1,1 m (oceľ rady 37), ktoré je osadené na betónovej lávke nad bezpečnostným priepadom a na vtokovom a výtokovom krídle. Celá monolitická železobetónová konštrukcia ZFO je zrealizovaná z betónu C30/37.



Obr. 7 Pozdĺžny rez ZFO (vtokový objekt, bezpečnostný priepad, odpadová štôľňa, vývar)

SO 103 Úprava Branovského potoka a Hastrgáňa – celková dĺžka úpravy Branovského potoka je 81,15 m (nad vtokom úprava v dĺžke 72,2 m a pod výtokom úprava v dĺžke 8,95 m). Pričný profil je jednoduchý lichobežníkový profil so šírkou v dne 1,0 m, so sklonmi svahov 1 : 1,5 (Obr. 8). Opevnenie je z dlažby hr. 30 cm do štrkopiesčitého lôžka (dlažba na sucho). Aby nedochádzalo k vyplavovaniu jemnozrnných zemín je na styku zeminy a opevnenia navrhnutá netkaná geotextília. Úprava potoka Hastrgáň od sútoku je v dĺžke 14,5 m o podobných parametroch, ako Branovský potok. Na začiatku a na konci oboch úprav sú osadené dnové stabilizačné prahy z lomového kameňa (tri), šírky 0,6 m. Prístup do toku je na ľavom brehu pri vtokovom a výtokovom krídle ZFO a to betónovými schodmi šírky 1,0 m.

V území zátopy na úrovni terénu sa nachádzala po odkope sondy zemná súprava kalníka pre diaľkový vodovod, avšak bez železobetónovej šachty. Z uvedeného dôvodu sa realizovala kompletná výstavba šachty z betónových prefabrikovaných skruží DN 1500 v mieste zemnej súpravy. Šachta je na kóte Q_{50} . Na stene vtokového objektu smerom k ceste cez polder je osadená vodočetná lata na meranie hladiny vody v poldri. Spodná hrana vodočetinej lavy, t.j. 0,0 je na kóte 156,50 m n.m. Horná hrana VL je na kóte 159,00 m n.m. Na schodisku do toku pod vývarom je na meranie hladiny vody v toku pod poldrom osadená šikmá vodočetná lata.



Obr. 8 Úprava Branovského potoka a Hastrgáňa

Vyvolané investície – prekládky jednotlivých inžierskych sietí sa prekládali pred samotnou realizáciou vodného diela:

SO 202 Preložka VN vedenia (vlastník ZSE, a.s., Bratislava) – prekládka vzdušného vedenia 22 kV – linka č. 266, ktorá bola preložená mimo záplavové územie poldra. Dĺžka zrušeného vedenia bola 525 m. Nové vedenie (AlFe 3x42/7) bolo vybudované v dĺžke 630 m. Celkovo bolo demontovaných 12 betónových stožiarov a bolo osadených 9 nových s namontovaním 53 ks odkloňovačov letu vtákov – zviditeľnovače typu RIBO. Preložku realizovala špecializovaná

firma (Esta plus, s.r.o., Diviacka Nová Ves), s oprávnením vykonávať práce pre ZSE, v zmysle zmluvy o vykonaní preložky medzi SVP, š.p. a ZSE, a.s.

SO 203 Preložka diaľkového (oblastného) optického kábla tkm (vlastník Slovak Telekom a.s., Bratislava) – prekládka v dĺžke 3005 m v rámci výškovej úpravy prístupovej cesty obce Čechy v smere od obce Podhájska, v novej trase sú uložené dve HDPE rúry 40/33 mm, uložené v spoločnej ryhe, ktorých krytie je 0,7 m. Preložku realizovala špecializovaná firma, ktorá mala oprávnenie vykonávať práce pre Slovak Telekom, a.s. (ZYRY TEM Zvolen), v zmysle uzatvorenej zmluvy medzi SVP, š.p. a Slovak Telekom, a.s.

SO 204 Preložka stanice katódovej ochrany (vlastník ZsVS, a.s. Nitra) – účelom katódovej ochrany je zabrániť korozívnym procesom prebiehajúcim v zemi uložených častiach oceľových vodovodov a následne tak zvýšiť prevádzkovú bezpečnosť diaľkového vodovodu a predĺžiť jeho životnosť. Na tento účel sa vybuďovala nová stanica katódovej ochrany, ktorá obsahuje aj anódové uzemnenie, pozostávajúce z anódy – koľajnice R65, spojovacieho objektu DBR (delený betónový rozvádzač), ktorý zabezpečuje prepojenie jednotlivých segmentov katódovej ochrany, jednosmerné rozvody a NN prípojka. Anódové uzemnenie je zložené z anódového uzemnenia – koľajnica R65 uložená v zemi v ryhe dĺžky 200 m a šírky 2 m pri dne ryhy. Na dno výkopu bol umiestnený bentonitový obsyp. Na obsyp boli uložené naležato anódy, ktoré boli zasypané 30 cm vrstvou bentonitu a zeminou. Na anódu (koľajnicu) sú navarené jednosmerné rozvody pozostávajúce z káblov CYKY-O 4x16, na diaľkový vodovod sú pripojené metalotermickým navarením káble CYKY-O 4x10. Káble od anódy sú vyvedené do spojovacieho objektu DBR. Stanica KO je riešená ako samostatná komplexná jednotka umiestnená v uzamykateľnej skrini – uloženou na betónovom základe. Stará stanica KO bola demontovaná. Pre stanicu KO bola realizovaná 110 m NN prípojka s elektromernou skrinkou napojenou z existujúcej siete, kábel v zemi AYKY 4x25.

SO 201 Preložka miestnej komunikácie – vybudovaním hrádze poldra prišlo k prerušeniu existujúcej účelovej komunikácie a z tohto dôvodu sa realizovala preložka časti komunikácie, pozostávajúca z výškovej úpravy v dĺžke 110,0 m a napojenia poľnej cesty v dĺžke 12,36 m. Šírkové usporiadanie s jazdným pásom a vodiacimi prúžkami je v šírke 6,5 m. Priečný sklon vozovky je strehovitý 2,5 % od km 0,05 po km 0,106. Na začiatku a na konci úpravy je klopenie vozovky do existujúcich priečných sklonov. Odvodnenie vozovky je zabezpečené jej pozdĺžnym a priečnym sklonom. V km 0,030 sú povrchové vody cez rúrový priepust DN 800 prevedené popod teleso komunikácie a následne priekopou do Branovského potoka. Vody z priekopy za hrádzou poldra sú odvedené do potoka Hastrgáň. Popod poľnú cestu je existujúci rúrový priepust DN 500, ktorý je predĺžený cca o 1,5 m s vybudovaním nového čela. Dno a svahy priekop pred a za rúrovými priepustami je spevnené melioračnými betónovými tvárniciami. V priebehu výstavby sa zmenila projektovaná únosnosť vozovky. Pôvodný návrh bol na dopravné zaťaženie NC 100 max. $0,5 \cdot 10^6$ a nový návrh na základe zmeny účelu využitia – premávka nákladných vozidiel, dopravné zaťaženie NC 100 max. $12 \cdot 10^6$. V návrhu sa pridala k pôvodným vrstvám ešte vrstva ložného asfaltu hr. 70 mm (Obr. 9). Nosnosť vozovky je 10 t na nápravu pri max. rýchlosti 30 km/hod. Komunikácia je vybavená bezpečnostnými prvkami (zvodidlá, smerové stĺpiky, vodiace pásiky a dopravné značky) (Obr. 10).



Obr. 9 Kladenie asfaltu na účelovú vozovku



Obr. 10 Účelová komunikácia

3 ZÁVER

Vybudovaním suchého poldra, ako protipovodňového opatrenia sa chránia ohrozené oblasti pred ničivou silou povodní. Polder sa považuje za také opatrenie, ktoré je k životnému prostrediu šetrnejšie, ako iné navrhované protipovodňové opatrenia.

Povodne boli, sú a budú a je iba na nás, ako sa k tomuto nepriaznivému javu prírody postavíme a čo urobíme preto, aby sme ich účinky minimalizovali.



Obr. 11 Pohľad na polder a jeho objekty



Obr. 12 Pohľad na polder a obec Čechy

ZOZNAM LITERATÚRY

- [1] Ing. Martin Bačík, PhD., MŽPSR (2013): *Medzinárodný manažment povodňových rizík a ochrana pred povodňami na Slovensku*. *Enviromagazín*,
- [2] CABEX s.r.o, Bratislava (2019) *Polder Čechy – DSPaRS*
- [3] *Archeologický prieskum, PAMARCH, s.r.o., Nitra, 04/2021-04/2023*

AUTORI

Autor 1: Ing. Helena Ficeková, Slovenský vodohospodársky podnik, š. p., Povodie dolného Váhu, Odštepny závod, Nábrežie I. Krasku 3/834, 921 80 Piešťany, SR,

Autor 2: Ing. Jozef Hudec, Slovenský vodohospodársky podnik, š. p., Povodie dolného Váhu, Odštepny závod, Nábrežie I. Krasku 3/834, 921 80 Piešťany, SR, jozef.hudec@svp.sk

RAKOVNICKO – PŘÍPRAVA OPATŘENÍ NA ZMÍRNĚNÍ DOPADŮ SUCHA

RAKOVNICKO – PREPARING MEASURES TO MITIGATE THE EFFECTS OF DROUGHT

Jiří Endlicher¹, David Mareček²

Abstrakt: Rakovnicko je regionem, který se dlouhodobě potýká s nedostatkem dešťových srážek, rapidním ubýváním podzemních vod a řadí se k nejsušším oblastem České republiky. Proto Povodí Vltavy, státní podnik ve spolupráci se státním podnikem Povodí Ohře připravuje realizaci opatření na zmírnění dopadů sucha v povodí Rakovnického potoka a Blšanky. Navržená opatření obsahují jak technická, tak i přírodě blízká opatření. Mezi technická opatření patří výstavba vodních děl Senomaty, Šanov a Kryry a vybudování přivaděče vody pro převod vody z povodí Ohře do vodního díla Kryry a následně do povodí Rakovnického potoka. Mezi přírodě blízká opatření patří revitalizace a renaturace vodních toků, opatření na snížení eroze a látkového odnosu z plochy území a snížení zátěže z bodových zdrojů znečištění. Tato navržená opatření jsou unikátní svojí komplexností a rozsahem a pro jejich úspěšnou realizaci je potřeba aktivní zapojení státu, dotčených samospráv, správců povodí a v neposlední řadě právnických a fyzických osob, kterých se sucho již bezprostředně dotýká.

Abstract: The Rakovník region is a region that has been struggling for a long time with a lack of rainfall and the rapid depletion of groundwater, and is one of the driest regions in the Czech Republic. For this reason, Povodí Vltavy State Enterprise, in co-operation with the Povodí Ohře State Enterprise, is preparing the implementation of measures to mitigate the effects of drought in the Rakovnický potok and the Blšanka river Basins. The proposed measures include both technical measures and measures based on nature conservation. The technical measures include the construction of the Senomaty, Šanov and Kryry water reservoirs and the construction of a water intake for the transfer of water from the Ohře basin to the Kryry water reservoirs and subsequently to the Rakovnický potok basin. Near-natural actions include revitalising and restoring water courses, reducing erosion and sedimentation in the area, and reducing the burden of point sources of pollution. The proposed measures are unique in their complexity and scope, and their successful implementation requires active participation of the state, municipalities, river basin managers and, last but not least, legal and natural persons directly affected by drought.

1 ÚVOD

Rozsáhlý systematický hydrologický průzkum rakovnického regionu provedl Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., společně s Českou zemědělskou univerzitou v Praze již v letech 2009-2011, pod vedením Ing. Ladislava Kašpárka, CSc., jehož výsledky jsou shrnuty v pilotním projektu: „Možnosti zmírnění současných důsledků klimatické změny zlepšením akumulací schopnosti v povodí Rakovnického potoka“.

Rakovnický region patří v rámci povodí Vltavy k dlouhodobě nejsušším oblastem. S ročním srážkovým úhrnem 484-584 mm se řadí k oblastem s nejmenšími dlouhodobými úhrny srážek v Čechách. Pokles ročních úhrnů je jen velice mírný, ale rozdělení srážek v čase a intenzitě se charakteristicky změnilo. Podstatně ubylo srážek s velkými výškami na povodí a rovněž poklesl srážkový úhrn v jarním období od dubna do června. Teplota vzduchu má od roku 1960 zřetelně

vzestupný trend a celkové zvýšení za toto období činí 1,4° C. Hydrologické poměry povodí Rakovnického potoka jsou charakterizovány vodoměrnou stanicí Rakovník, s údaji od roku 1960. Analýza rekonstruované řady průtoků potvrdila značný poklesový gradient s poklesem za období posledních čtyřiceti let o 40 % až 60 %. Podrobný rozbor meteorologických a hydrologických pozorování v povodí Rakovnického potoka ukázal, že příčinou této velmi podstatné změny odtoků z povodí je oteplení oblasti, zmenšení četnosti a velikosti vydatných srážek a zmenšení jarních srážek. Klesající trend úrovně hladiny podzemní vody se ani při zmenšení vodárenských odběrů počátkem devadesátých let nezastavil a za období posledních čtyřiceti let poklesl o cca 23 %. [1]

2 ADAPTAČNÍ OPATŘENÍ

Pilotní projekt navrhl možnosti adaptačních opatření pro zlepšení vodohospodářské bilance v Rakovnickém regionu ve třech základních směrech, jednak ryze vodohospodářskými prostředky – výstavbou vodních nádrží se zásobní funkcí ve vytipovaných lokalitách, případně převodem vody ze sousedícího povodí Ohře a jednak opatřeními v krajině, zejména organizačního, agrotechnického a biotechnického charakteru. Státní podnik Povodí Vltavy na všechna pilotním projektem navržená adaptační opatření postupně navázal zadáním příslušných studií proveditelnosti.

2.1 Přírodě blízká opatření

Část z komplexních opatření k řešení sucha na Rakovnicku jsou přírodě blízká opatření. Proto v roce 2017 nechal státní podnik Povodí Vltavy zpracovat studii „Komplexní návrh přírodě blízkých opatření v povodí Rakovnického a Kolečovického potoka (vodní díla Senomaty a Šanov)“ (Sweco Hydroprojekt + VRV). Tento úkol vycházel z usnesení vlády České republiky ze dne 24. srpna 2016 č. 727, k přípravám realizace vodních nádrží v regionech postihovaných suchem a rizikem nedostatku vody, jako součást systému opatření v daných povodích. Účelem této studie bylo detailní prošetření a návrh účinných opatření řešících zejména revitalizaci a renaturaci vodních toků a údolních niv, vodní erozi a látkový odnos z plochy řešeného území a snížení zátěže z bodových zdrojů znečištění. Soubor navrhovaných opatření byl souhrnně zhodnocen z hlediska jejich přínosu k zadržování vody a zpomalování odtoku v území nad plánovanými přehradními profily a zachování potřebné jakosti vody v uvažovaných vodních dílech Senomaty a Šanov.

Výše zmíněná studie obsahuje 3 typy přírodě blízkých opatření:

- I. Snížení eroze a látkového odnosu z plochy povodí;
- II. Snížení zátěže z bodových zdrojů;
- III. Technická opatření na vodních tocích.

Pro výběr realizovatelných opatření z uvedené studie je vytvořena pracovní skupina ze zástupců Ministerstva zemědělství, Ministerstva životního prostředí, Agentury ochrany přírody a krajiny ČR, Státního pozemkového úřadu, Středočeského kraje a státního podniku Povodí Vltavy.

Na základě výsledků jednání pracovní skupiny nechal státní podnik Povodí Vltavy v roce 2021 zpracovat studii proveditelnosti na přírodě blízká opatření z III. skupiny opatření (technická opatření na vodních tocích). Výsledkem této studie proveditelnosti je výběr opatření na základě kritické analýzy ve vztahu k realizovatelnosti opatření (na základě majetkoprávních a technických informací, expertního vyhodnocení navržených opatření a odhadu investičních nákladů). Pro vybraná opatření (přibližně 1/3 ze všech opatření), u nichž byl zajištěn předběžný

souhlas vlastníků s realizací, byla zpracována dokumentace pro územní rozhodnutí, respektive pro stavební povolení. U zbylých opatření je třeba nejprve vypořádat majetkoprávní vztahy, před zpracováním dalších stupňů projektové dokumentace.

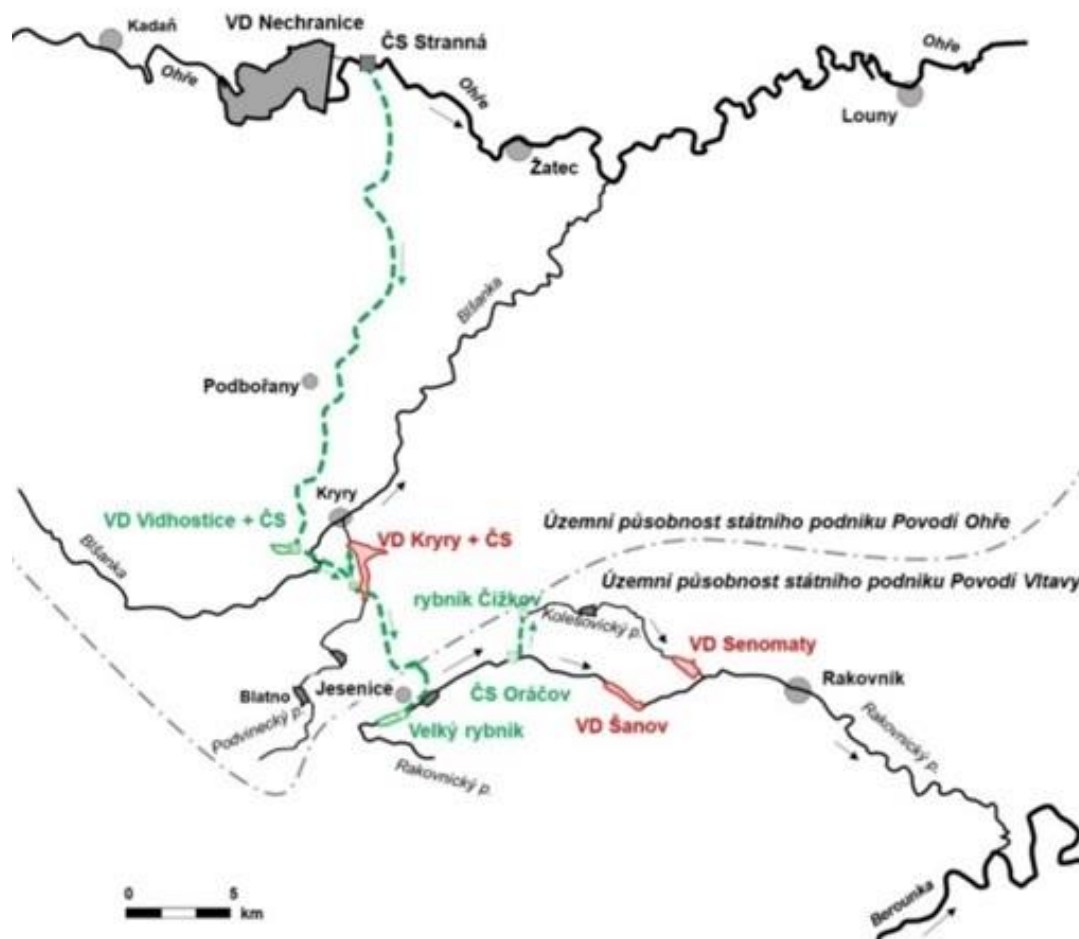
2.2 Převod vody z povodí Ohře

V letech 2009 až 2017 bylo zpracováno několik koncepčních studií za účelem posílení vodních zdrojů v povodí Rakovnického potoka a Blšanky. Jednotlivé studie vesměs posuzovaly navržená opatření izolovaně bez zahrnutí jejich vzájemných interakcí. Nadlepšovací účinky nádrží byly zpravidla hodnoceny do profilu pod jednotlivými nádržemi bez zhodnocení jejich vlivu na profily níže po toku a pro různé varianty jejich reálného nasazení a spolupráce ve vodohospodářské soustavě. Proto byla v roce 2018 zpracována studie "Komplexní vodohospodářské řešení nových akumulčních nádrží v povodí Rakovnického potoka a Blšanky a dalších opatření na zmírnění vodního deficitu v oblasti", kterou vypracovalo ČVUT v Praze, Fakulta stavební. Tato studie hodnotila soubor technických opatření zohledňujících různé varianty realizace vodních nádrží v povodí Rakovnického potoka a Blšanky a jejich propojení do vodohospodářské soustavy včetně různých variant převodů vody mezi povodími. [2]

V roce 2020 byla studie aktualizována pro tzv. střední scénáře klimatické změny. Tento scénář byl vytvořen jako nejpravděpodobnější prognóza vývoje klimatologických a hydrologických veličin pro řadu časových horizontů do konce 21. století a byly připraveny pro všechna povodí 3. řádu na území České republiky. Tato aktualizace potvrdila správnost původního řešení z roku 2018. Mimo jiné z ní vyplývá, že pro zabezpečení potřeb vody v povodí Rakovnického potoka a Blšanky není převod z Ohře do oblasti Rakovnicka v tuto chvíli potřeba. Pro posuzované scénáře klimatu k úrovním let 2050 a 2100 ale nelze systém bez převodů z Ohře spolehlivě provozovat. Protože si je státní podnik Povodí Vltavy vědom nepříznivého vývoje klimatické změny, nenechal přípravu přivaděče vody na pozdější dobu a rozhodl se ve spolupráci se státním podnikem Povodím Ohře zahájit přípravu a následnou realizaci přivaděče již nyní, aby i v případě pesimističtějšího vývoje klimatické změny, než je předpokládáno dle tzv. středního scénáře klimatické změny, byly zajištěny stávající požadavky na užívání vodních zdrojů, byla vytvořena potřebná rezerva pro potenciální budoucí požadavky, zejména závlahy chmelnic a byly zlepšeny průtokové poměry v dotčených vodních útvarech jako jedné z podmínek pro dosažení jejich dobrého ekologického stavu [3]

V roce 2019 nechal státní podnik Povodí Vltavy ve spolupráci se státním podnikem Povodí Ohře multikriteriálně posoudit variantní trasy přivaděčů. Tato multikriteriální analýza vybrala nejvýhodnější trasu trubního vedení pro převod vody z pohledu proveditelnosti, ekonomické efektivity se zahrnutím investičních a provozních nákladů, vlivů na životní prostředí a majetkoprávních poměrů (viz Obr. 1).

Na základě uvedeného výsledku multikriteriálního posouzení byl následně v roce 2020 zpracován Investiční záměr na realizaci přivaděče vody z Ohře (Sweco Hydroprojekt + VRV) a v tuto chvíli probíhá zpracování dokumentace pro vydání rozhodnutí o umístění stavby, jejíž součástí budou také veškeré potřebné průzkumy (environmentální průzkumy, geodetické zaměření, inženýrsko – geologický průzkum apod.).



Obr. 1 Schéma plánovaných přivaděčů z povodí Ohře do povodí Rakovníckého potoka

2.3 Vodní nádrže

Vodní nádrž Kryry, která bude největší z plánovaných vodních děl na Rakovnicku, leží v územní působnosti státního podniku Povodí Ohře, který také zajišťuje přípravu tohoto vodního díla. Tento článek se proto dále věnuje pouze popisu vodních děl Senomaty a Šanov, jejichž přípravu zajišťuje státní podnik Povodí Vltavy.

Z pilotního projektu [1] byla v letech 2013 – 2014 nejprve prověřena realizovatelnost osmi původně vytipovaných malých vodních nádrží z pilotního projektu. Ukázalo se, že čtyři z uvedených lokalit jsou z důvodů zásadních územních limitů prakticky neproveditelné. Navrhovaný profil „pod Kolečovicemi“ na Kolečovickém potoce, zasahuje do oblasti, která je územním plánem rezervovaná pro výstavbu čistírny odpadních vod. Přes lokalitu „bývalý rybník Chobot“ na Lišanském potoce je plánován budoucí koridor dálnice D6, jejíž výstavba v této lokalitě má být zahájena v tomto roce. Navrhovanými zátopami u profilů „nad Pšovlky“ na Rakovnickém potoce a „nad Šanovem“ na Řeřišském potoce procházejí ropovody a vysokotlaké plynovody, jejichž přeložky by byly neúměrně drahé. Zpřesněným vodohospodářským řešením byla následně vyloučena prognózní lokalita „nad Oráčovem“ na Rakovnickém potoce, z důvodu nevýznamného zásobního objemu nádrže pro efektivní nadlepšení průtoku pod hrází a lokalita „pod Petrovicemi“ na Petrovickém potoce, vzhledem k malé ploše povodí nad uvažovanou hrází a nevhodným poměrem objemu nádrže ve vztahu k nadlepšení průtoku. Zbývající dvě lokality „u Senomat“ na Kolečovickém potoce a

„nad Šanovem“ na Rakovnickém potoce, které mají největší přínosy (Tab. 1, Obr. 2) a nejméně komplikované územní vztahy, byly následně doporučeny k realizaci [4].

Tab. 1 Parametry navrhovaných vodních nádrží

	VD Šanov	VD Senomaty	
Maximální výška hráze	7,8	7,6	m
Délka hráze v koruně	330	335	m
Šířka hráze v koruně	4	4	m
Maximální výška hráze	350,50	337,70	m n.m
Úroveň bezpečnostního přelivu	349,00	336,2	m n.m
Hladina při Q ₁₀₀	349,58	336,76	m n.m
Hladina při Q ₁₀₀₀	349,90	337,1	m n. m
Stálé nadržení	3,7	6,5	tis. m ³
Zásobní prostor	586,1	539,2	tis. m ³
Retenční prostor celkový	296,6	229,3	tis. m ³
Celkový objem při max. hladině.	886,5	774,9	tis. m ³

V průběhu roku 2016 byly na tyto dvě vytipované malé vodní nádrže (MVN) zpracovány podrobné studie proveditelnosti. Cílem studií bylo prověřit detailní technické podmínky výstavby MVN Šanov na Rakovnickém potoce a MVN Senomaty na Kolečovickém potoce, optimalizovat profily hrází a provést vodohospodářské řešení nádrží s vyhodnocením přínosu na vodohospodářskou bilanci jednotlivých toků [5], [6].

V současnosti je pro obě nádrže zpracována dokumentace pro územní rozhodnutí a probíhají výkupy pozemků. VD Senomaty má vydané kladné stanovisko k posouzení vlivů záměru na životní prostředí, pro VD Šanov se očekává vydání stanoviska během června 2024 (dokumentace pro posouzení vlivů byla doplněna na základě připomínek zpracovatele posudku) [7],[8].



Obr. 2 Vizualizace VD Šanov (vlevo) a VD Senomaty (vpravo)

3 ZÁVĚR

Povodí Rakovnického potoka a Blšanky patří mezi nejsušší oblasti v České republice, kde se v posledních hydrologicky podprůměrných letech citelně objevoval deficit vodních poměrů. Situace v oblasti byla v minulých letech podrobně hodnocena na základě řady odborných studií, které navrhovaly a posuzovaly efektivnost různých technických a přírodě blízkých opatření s cílem zmírnění vodního deficitu.

Státní podnik Povodí Vltavy pracuje souběžně na všech třech adaptačních opatřeních, což přináší velké nároky na finanční zdroje podniku, koordinaci činností v rámci podniku a na spolupráci s ostatními účastníky procesu přípravy a následné realizace adaptace na suchu. Mezi největší výzvy v rámci přípravy všech třech adaptačních opatření je jak zajištění financování veškerých přípravných prací i samotné realizace, projednání s příslušnými úřady státní správy a v neposlední řadě zajištění majetkoprávního vypořádání, kdy někteří majitelé nemovitých věcí nejsou ochotni prodat potřebné pozemky ať už z jakéhokoliv důvodu. Dalším velmi významným faktorem je časová náročnost přípravy opatření, kdy první přípravy ve formě studií začaly již před 16 lety.

SEZNAM LITERATURY

- [1] Horáček S., Kašpárek L. a kol. (2011): *Možnosti zmírnění současných důsledků klimatické změny zlepšením akumulací schopnosti v povodí Rakovnického potoka*, Praha, Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., 164 s.
- [2] Fošumpaur P., Kašpárek L., Hanel M. (2018): *Komplexní vodohospodářské řešení nových akumulací nádrží v povodí Rakovnického potoka a Blšanky a dalších opatření na zmírnění vodního deficitu v oblasti*, Praha, České vysoké učení technické v Praze fakulta stavební, 131 s.
- [3] Fošumpaur P., Kašpárek L. (2020): *Komplexní vodohospodářské řešení nových akumulací nádrží v povodí Rakovnického potoka a Blšanky a dalších opatření na zmírnění vodního deficitu v oblasti – Aktualizace pro vybraný tzv. střední scénář klimatické změny pro vodní hospodářství*, Praha, České vysoké učení technické v Praze fakulta stavební, 40 s.
- [4] Holinka M., Koterová V. (2014): *Studie proveditelnosti vodních nádrží v povodí Rakovnického potoka*, Praha, Vodohospodářský rozvoj a výstavba a.s., 17 s.
- [5] Veselý R. (2016): *VD Šanov – studie proveditelnosti*, Praha, Sweco Hydroprojekt a.s., 49 s.
- [6] Veselý R. (2016): *VD Senomaty – studie proveditelnosti*, Praha, Sweco Hydroprojekt a.s., 50 s.
- [7] Veselý R. (2023): *VD Šanov DÚR*, Praha, Sweco Hydroprojekt a. s.
- [8] Veselý R. (2023): *VD Senomaty DÚR*, Praha, Sweco Hydroprojekt a. s.

AUTOŘI

Autor 1: Ing. Jiří Endlicher, Povodí Vltavy, státní podnik, Holečkova 3178/8, 150 00, Praha 5, Česká republika, jiri.endlicher@pvl.cz

Autor 2: Ing. David Mareček, Povodí Vltavy, státní podnik, Holečkova 3178/8, 150 00, Praha 5, Česká republika, david.marecek@pvl.cz

STRATEGICKÝ VÝZNAM VN STARINA PRI ZÁSOBOVANÍ VÝCHODOSLOVENSKEHO REGIÓNU PITNOU VODOU V KONTEXTE NIELEN KLIMATICKÝCH ZMIEN

THE STRATEGIC IMPORTANCE OF THE STARINA RESERVOIR IN SUPPLYING THE EAST SLOVAKIAN REGION WITH DRINKING WATER IN THE CONTEXT OF NOT ONLY CLIMATE CHANGES

Božena Písečná¹, Martina Stančíková², Emília Bednárová³, Ingrid Mydlová⁴

Abstrakt: Vodárenská nádrž Starina s úpravňou vody v Stakčine boli uvedené do prevádzky v roku 1989. Nádrž s celkovým objemom 56,95 mil. m³ tvorí 34% objemu všetkých vodárenských nádrží na Slovensku a súčasne je najväčším zdrojom pitnej vody v strednej Európe. Za obdobie 35 rokov, dodaním takmer 580 miliónov m³ vody, dokázalo toto vodné dielo stopercentne plniť náročné požiadavky na množstvo a kvalitu vody pre významnú časť obyvateľov Východného Slovenska. Berúc do úvahy tieto fakty, v súčinnosti s evidovanými klimatickými zmenami a vekom vodárenskej nádrže sa do popredia dostáva otázka potreby vybudovania zálohového vodného zdroja. Otázka zabezpečenia pitnej vody pre obyvateľov Košického a Prešovského kraja v čase napr. nevyhnutnej revízie nádrže či opravy, sanácie, prípadne rekonštrukcie funkčných zariadení na našej najväčšej vodárenskej nádrži, ktorá je ich dominantným zdrojom pitnej vody by nemala ostať nepovšimnutá. Fakt, že výstavba zálohového vodného zdroja od prieskumu po uvedenie do prevádzky je min. 10 – 15 rokov je viac než závažný.

Abstract The Starina water reservoir with a water treatment plant in Stakčín was put into operation in 1989. The reservoir with a total volume of 56,95 mil. m³ makes up 34% of the volume of all water reservoirs in Slovakia and is at the same time the largest source of drinking water in Central Europe. Over a period of 35 years, by supplying almost 580 mil. m³ of water, this waterworks was able to fully meet the demanding requirements for the quantity and quality of water for a significant part of the inhabitants of Eastern Slovakia. Taking these facts into account, parallel to recorded climate changes and the age of the water reservoir, the question of the need to build a backup water source comes into account. The issue of providing drinking water for the residents of the Košice and Prešov regions at the time of, for example, necessary reservoir revision or repair, sanitation, or reconstruction of functional facilities on our largest water reservoir, which is their dominant source of drinking water, should not go unnoticed. The fact that the construction of a backup water source from survey to commissioning is min. 10-15 years is more than significant.

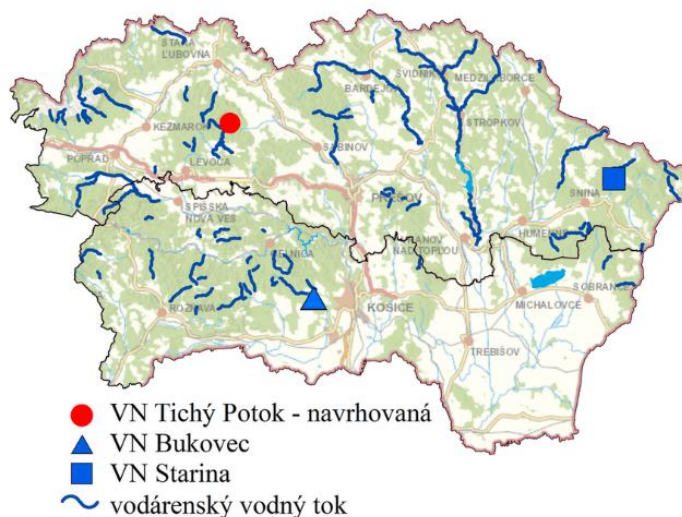
1 ÚVOD

Otázka vývoja spoločnosti a rastu jej životnej úrovne je úzko spätá s otázkou hospodárenia s vodou, možných vodárenských zdrojov potrebnej kvality a kvantity a s tým súvisiacou výstavbou potrebných technických opatrení, slúžiacich na zásobovanie vodou. Vzhľadom na rozmanité inžiniersko-geologické, hydrogeologické a hydrologické pomery Slovenska do úvahy pripadajú ako prírodné vodné zdroje, tak aj umelé vodné zdroje. Kým v oblasti západného Slovenska je požiadavka uspokojovania potrieb iba podzemnými vodárenskými zdrojmi, vzhľadom na inžiniersko-geologické pomery reálna, v oblasti stredného a najmä východného Slovenska je zložitejšia. Na území východného Slovenska sú príčinou jednak nevhodné inžiniersko-geologické a hydrogeologické pomery v severnej časti územia - flyšové pásmo, ktoré nevytvárajú podmienky pre tvorbu zásob podzemných vôd v podloží, v južnej oblasti - oblasť Východoslovenskej nížiny je to neprimeraná kvalitatívna kondícia (stav)

podzemných zdrojov, ktoré sú vplyvom v minulosti prevádzanej poľnohospodárskej praxe „zamorené“ dusičnanmi (obr.1).



Obr. 1 Vymedzenie územia s deficitom podzemných vodárenských zdrojov na území východného Slovenska



Obr. 2 Mapa úsekov povrchových vodárenských zdrojov (vodárenských tokov a vodárenských nádrží i potenciálnych) na území Prešovského a Košického kraja

V rámci územia Prešovského a Košického kraja je potreba vody pre zásobovanie obyvateľstva zabezpečovaná z miestnych zdrojov podzemnej vody a podľa potreby dopĺňaná prívodom vody z povrchových zdrojov, z ktorých najvýznamnejšími sú VN Starina (pre okresy Snina, Humenné, Michalovce, Trebišov, Vranov nad Topľou, Svidník, Stropkov, Prešov a Košice) a VN Bukovec (pre okres Košice a Košice - okolie) (obr.2). V súčasnosti je vodárenská nádrž Starina rozhodujúcim zdrojom pitnej vody v regióne východného Slovenska.

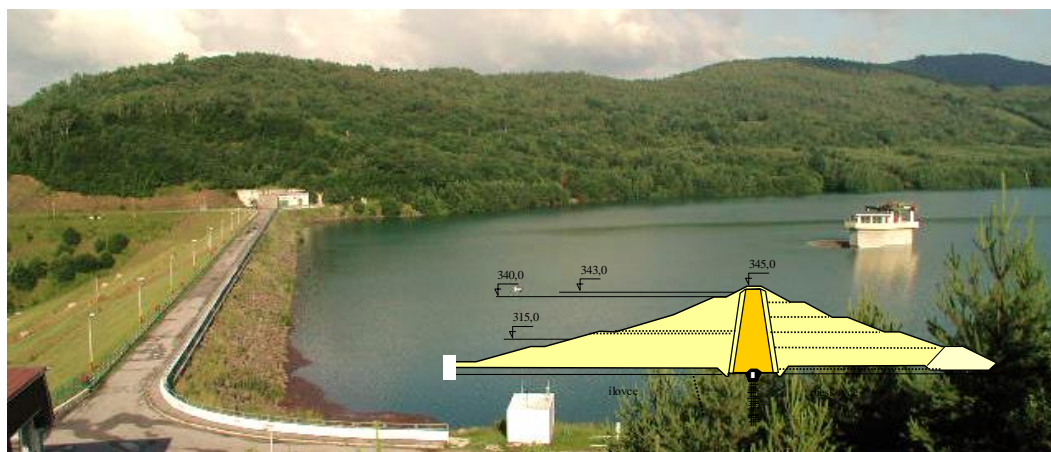
2 VODNÁ NÁDRŽ STARINA

Východoslovenská vodárenská sústava je najväčším vodárenským systémom vo Východoslovenskom regióne. Hromadné zásobovanie obyvateľstva pitnou vodou sa zabezpečuje z takmer 1070 vodárenských zdrojov. Nádrž Starina zastáva v rámci tejto vodohospodárskej sústavy (VHS) dominantné postavenie, napr. na zásobovaní obyvateľov mesta Košice a Prešov je to zásobovanie na úrovni cca 35 – 40 % [5]. Podiel vody odobranej z vodárenských nádrží v rámci východoslovenskej vodárenskej sústavy za obdobie roku 2023 predstavuje 26% z toho VN Starina tvorí 19%.

2.1 Stručná charakteristika vodného diela

Vodárenská nádrž Starina bola vybudovaná v rokoch 1981 – 1987 v severovýchodnej oblasti Slovenska, na rieke Cirocha. Okrem hlavného účelu, vytvorenia povrchového zdroja pitnej vody, nádrž prispieva k protipovodňovej ochrane územia pod priehradou, nadlepšuje prietoky v Ciroche a v MVE využíva hydroenergetický potenciál. S celkovým objemom 56,95 mil. m³ je Starina najväčšou vodárenskou nádržou nielen na území Slovenska, ale aj v rámci strednej Európy. Zásobný priestor nádrže je 45,025 mil. m³, ochranný priestor 8,166 mil. m³ a stály priestor má veľkosť 3,759 mil. m³. Požadovaný objem nádrže bol vytvorený prehradením údolia Cirochy v rkm 37,250 zemnou sypanou priehradou so stredovým hlinitým tesnením

(obr.3). Jej výška je 50 m nad základovou škárou, dĺžka v korune 345 m. Orograficky patrí územie, v ktorom bola vytvorená vodárenská nádrž Starina, do Východných Karpát, geologicky do flyšového pásma, poznamenaného výskytom tektonických porúch [1].



Obr. 3 Vodná nádrž Starina a schéma priečného profilu

Podľa pôvodného zámeru sa mal takto vytvorený povrchový vodárenský zdroj využívať na zásobovanie obyvateľov pitnou vodou v okresoch Snina, Humenné, Michalovce, Vranov n/Topľou a Trebišov. V dôsledku havarijného nedostatku pitnej vody v Košiciach, v Prešove a príslušných oblastiach v 80-tych rokoch minulého storočia bolo rozhodnuté dočasne riešiť tento problém výstavbou privádzača z VN Starina.

Dopĺňanie nedostatkov vody v Prešove a Košiciach z vodárenskej nádrže Starina nie je systémovým krokom. Pristúpilo sa k nemu, len ako k dočasnému a náhradnému riešeniu v čase, keď bolo treba riešiť akútnu situáciu v zásobovaní pitnou vodou krajských miest.

2.2 Prevádzka vodárenských zariadení

Úpravňa vody (ÚV) v Stakčíne s kapacitou 500 l.s^{-1} s provizórnym odberom bola uvedená do prevádzky 13. 02. 1984 - vyrobená voda v množstve 140 l.s^{-1} bola dodávaná do Stakčína, Sniny a Humenného. Napojenie na definitívny odber surovej vody z nádrže sa uskutočnilo v decembri 1987. S dodávkou vody pre mesto Košice sa začalo v októbri 1988. Druhá úpravňa vody v Stakčíne pre ďalších 500 l.s^{-1} bola ukončená dňa v marci 1993. Ide o najväčšiu úpravňu vody na Slovensku.

Pitná voda vyrábaná na ÚV Stakčín je dopravovaná oceľovým potrubím o priemere 1000 mm do okresov: Snina, Humenné, Vranov n/T, Michalovce, Prešov, Košice, spolu s ďalšími privádzačmi pre Trebišov a smerom na Svidník a Stropkov je dĺžka privádzacieho potrubia cca 214 km. Surová voda priteká samospádom z VN Starina cez objekt MVE. Po dvojstupňovej úprave upravená voda gravitačne priteká z úpravne až na ČS Hanušovce, kde je prečerpávaná do vodojemu Medzianky. Súčasťou Východoslovenskej vodárenskej sústavy sú aj vodojemy v Humennom, Vranove, Medziankach, Ruskove, Košiciach a v Prešove [3]. Od zahájenia prevádzky ÚV Stakčín, t. j. od decembra 1987 až do konca roku 2023 bolo pre odberateľov z nádrže Starina dodaných takmer 580 miliónov m^3 vody, čo je cca 13 násobok jej zásobného objemu.

Sumárne technicky vybudovaná kapacita zdrojov vody vo Východoslovenskej vodárenskej sústave (VVS) je v súčasnosti $4\,350 - 4\,500 \text{ l.s}^{-1}$. V rámci nej sú vodárenské nádrže Bukovec a Starina objemovo najstabilnejšie zdroje pitnej vody. Ich podiel predstavuje 37 % z celkových vybudovaných kapacít vodárenských zdrojov predmetnej sústavy.

Európsky priemer napojenosti na verejný vodovod s kvalitnou pitnou vodou je 95%; Slovenský priemer je 85% a vo Východoslovenskom regióne je to len 77,7% [5].

V roku 1996 vláda SR vydala uznesenie, ktoré definuje na vyradenie rizikové vodárenské zdroje určené do roku 2030 i na území východného Slovenska sumárne s kapacitou $1\,206\text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$, čo je viac ako 25 % ich súčasnej kapacity. Preto je nevyhnutné hľadať alternatívny vodárenský zdroj, ktorý vykryje nielen tento deficit ale i deficit vyplývajúci z klimatických zmien, ktoré ľudstvo nevnímajúc SR môže v najbližšej budúcnosti očakávať.

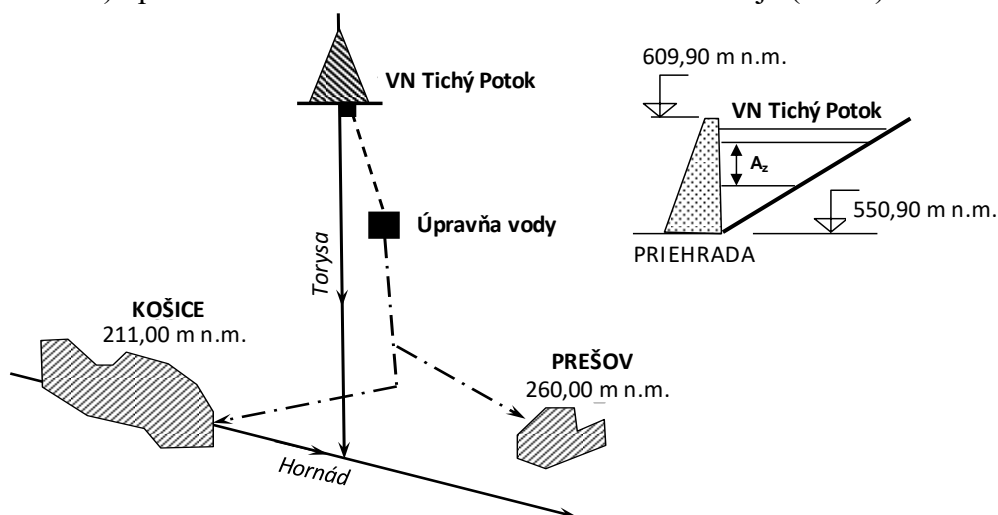
Skúsenosti s neregulovateľnými zdrojmi (pramene, studne) v ostatných rokoch poznamenaných klimatickými zmenami – teplom a suchom vyvolávajú potrebu hromadného zásobovania obyvateľstva pitnou vodou, spravidla povrchovými zdrojmi (odbermi z vodárenských tokov a vodárenských nádrží). Obdobne hodnotí tento stav i prevádzkovateľ vodárenskej sústavy, ktorý deklaruje, že po ukončení suchej periódy je návrat neregulovateľných vodárenských zdrojov do „normálneho“ režimu dlhodobý, niekoľko mesačný.

V Smernom vodohospodárskom pláne (1975) bola ako hlavný zdroj pitnej vody pre Košice a Prešov uvažovaná vodárenská nádrž Tichý Potok. Využitie VN Starina malo byť a mali by sme to vnímať i v súčasnosti rovnako, len dočasným riešením a to v kontexte komplikovaného dopravného systému, ktorý je náročný na energiu, s následnou uhlíkovou stopou a premietaním nákladov na dopravu do konečnej ceny vody. Budovanie záložného rovnako spoľahlivého zdroja obdobnej kapacity je naliehavé i z pohľadu neočakávaných strojno-technologických porúch, pre prípad jej možného výpadku (zhoršenia kvality vody) a v neposlednom rade i v súvislosti s klimatickými zmenami, ktoré nevyhnutne nabádajú **k potrebe riešenia tejto situácie**.

3 PREČO VD TICHÝ POTOK?

V súvislosti s potrebou zabezpečiť dostatočné vodárenské zdroje pre predpokladaný rast potreby vody pre okresy Prešov, Sabinov, Košice a Košice – okolie, boli v minulosti navrhované a posudzované štyri lokality vodárenských nádrží – Tichý Potok, Škapová, Lukov a Nižná Jablonka a posudzované bolo tiež riešenie mnohopočetnými prehrádkami v oblasti Levočských vrchov. Výsledkom porovnania a posudzovania uvedených alternatív možností budovania vodárenských nádrží bola ako najvhodnejšia pre riešenie krytia deficitu pitnej vody v posudzovanej oblasti, predovšetkým oblasti Prešova a Košíc vybratá alternatíva - VN Tichý Potok.

Z hľadiska energetickej náročnosti na dopravu od vodárenského zdroja ku konzumentovi je logicky uprednostňované situovanie vodárenského zdroja nad konzumentom, čo je aspekt nielen ekonomický, ale i ekologický. VD Tichý Potok na Toryse s nadmorskou výškou nad 550,00 m n. m. predstavuje vo vzťahu k aglomeráciám Košice (211,00 m n. m.) a Prešov (260,00 m n. m.) optimálne situovanie umelého vodárenského zdroja (obr. 4).



Obr. 4 Situovanie nádrže Tichý Potok vo vzťahu ku konzumentom

Okrem zásobnej funkcie môže vodné dielo prispieť k nadlepšovaniu prietokov Torysy v málovodných obdobiach, a naopak, k ochrane pred povodňami v období výskytu nadnormálnych prietokov, nevynímajúc využitie hydroenergetického potenciálu v MVE.

Pri výbere lokality umelých vodných zdrojov – vodárenských nádrží - sa prihliada nielen na ich kvantitatívne ukazovatele, ale aj na jeho kvalitu. Kvalita vody vodárenskej nádrže je popri samotnej kvalite pritekajúcej vody závislá tiež na ďalších charakteristikách prírodného prostredia, ako sú morfológia územia, nadmorská výška i orientácia nádržného priestoru (vzhľadom na svetové strany) atď. Výber situovania vodárenskej nádrže ďalej ovplyvňuje charakter znečistenia a miera biologického oživenia prítoku do nádrže, potenciálna možnosť znečistenia prírodnými zdrojmi (napr. humíny, zákal atď.) a antropogénnou činnosťou ovplyvneného prostredia.

Zelinka, M., 1985 [2] rozvádza skôr naznačené hľadiská do kvantitatívno-kvalitatívnych kritérií. Tieto kritériá sú ilustrované na vodárenskej nádrži Tichý Potok na Toryse a vykazujú tieto hodnoty:

- 1 – nadmorská výška maximálnej hladiny zásobného priestoru (A_z) - $H_{\max} = 500 - 700$ m n.m. (609,90 m n.m. – úroveň koruny priehrady),
- 2 – orientácia nádrže je Z–V, uzavreté údolie,
- 3 – maximálna hĺbka vody v nádrži (h_{\max}) 57,0 m,
- 4 – priemerná hĺbka vody v nádrži (h_{priem}) 32,0 m,
- 5 – pozdĺžny profil a jeho vplyv na kvalitu vody – $R/K = 0,5$, $L < 6$ km, resp. prechodný typ, $L < 4$ km,
- 6 – kvalita (akosť) pritekajúcej vody do nádrže (vzhľadom na chýbajúce podklady sa toto posudzovanie neuvádza),
- 7 – čas zdržania, resp. výmeny vody, definovaný pomerom: $T = V_c / \Sigma Q_n$ (dní), kde V_c – celkový objem nádrže, Q_n – denný odtok (odber z nádrže), pri $V_c = 22,4 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ a $Q_n = 1,01 \text{ m}^3$ je $T = 256,6$ dní.

Pri použití týchto kritérií má VN Tichý Potok hodnotenie mimoriadne priaznivé. Skôr uvedené kritériá však nepostihujú jeden vážny ekologický, ale i ekonomický aspekt a to minimum energetickej náročnosti dopravy vody od zdroja ku konzumentovi.

Z ekonomického hľadiska je dôležitá aj skutočnosť, že časť vodárenského diela VN Tichý Potok je už vybudovaná – privádzač vody z úpravne vody pri VN Tichý Potok do Prešova.

Okrem toho, vodárenská nádrž Tichý potok ako jediná spĺňa všetky požadované kritéria veľkokapacitného zdroja pitnej vody pre Prešov a Košice:

1. možnosť gravitačnej dodávky vody do Prešova a Košíc,
2. nízka osídlenosť územia v povodí nádrže z titulu dlhoročnej existencie VVP Javorina,
3. vysoká výdatnosť prietoku Torysy ($Q_a = 1,00 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$),
4. dobrá kvalita vody v Toryse, vhodná pre vodárenské využitie,
5. vhodné geologické a morfologické podmienky pre budovanie priehrady,
6. dostatočná nadmorská výška (nad 550 m. n. m.), ktorá nedáva predpoklad tvorby vodného kvetu v nádrži,
7. možnosť využitia jestvujúcej úpravne vody v Brezovici (po rekonštrukcii) a jestvujúceho potrubia z úpravne do Prešova,
8. možnosť vytvorenia ochranných pásiem bez presídlenia obyvateľov.

Vodárenská nádrž Tichý Potok mala byť podľa Smerného vodohospodárskeho plánu vybudovaná do roku 1985 a mala slúžiť na zásobovanie vodovodov v okresoch Prešov a Košice. V dôsledku meškania jej výstavby a nedostatku kapacít zdrojov vody v 80 rokoch bol do tejto oblasti vybudovaný prívod z VN Starina s dotáciou ako tzv. prechodné riešenie. Po roku 1990 charakterizoval vývoj pokles spotreby vody najmä ako dôsledok znižovania priemyselnej výroby, ale aj rastu ceny vody, a tak sa aj tlak na rozširovanie vodárenských zdrojov znížil. Deficit vody v oblasti aj pri poklese spotreby sa prejavil opäť pred rokom 2000.

4 ZÁVER

Do roku 2060 možno očakávať významné deficity zdrojov vody voči potrebám vo všetkých čiastkových povodiach Slovenska. Pre ďalší rozvoj regiónu Východného Slovenska je výstavba nového zdroja pitnej vody nevyhnutná, keďže s výnimkou mesta Košice podiel zásobovaných obyvateľov vo všetkých dotknutých okresoch výrazne zaostáva za celoslovenským priemerom a patrí k hlboko podpriemerným. V súčasnosti využívané zdroje vody v tejto oblasti sú napriek riešeniu zásobovania z VN Starina občas preťažované, čo spôsobuje zlý stav útvarov podzemných vôd z hľadiska ich kvantity. V zásade sú vo vodných rokoch preferované odbery z neregulovateľných podzemných zdrojov a v málovodných rokoch stúpajú odbery z povrchových vodárenských zdrojov, čo by malo platiť aj pre budúcnosť.

Vodné dielo je potrebné hodnotiť komplexne, z pohľadu jeho účinkov aj na protipovodňovú ochranu, výrobu obnoviteľnej elektrickej energie, rybárstvo, rekreáciu, plavbu, ochranu pred klimatickou zmenou a v neposlednom rade aj z hľadiska ekologizácie krajiny prostredníctvom zabezpečovania prietokov v obdobiach nízkych prirodzených vodností tokov. Výstavba rozhodujúcich nádrží však po zvážení klimatickej zmeny vyplýva aj z potreby zabezpečiť plynulú dodávku vody pre obyvateľstvo, hospodársky sektor a zabezpečenie potravinovej bezpečnosti. Dodávku vody nie je možné kryť tzv. „zelenými opatreniami“ [4].

Faktom je, že výstavba nového vodného diela trvá cca 15 rokov. Z dnešného pohľadu to je rok 2039, kedy VS Starina bude mať 50 rokov, najvyšší čas na komplexnú revíziu nádrže, nevyhnutnú rekonštrukciu funkčných objektov a technologických zariadení. Medzičasom nemožno vylúčiť iné nepredvídané okolnosti, obmedzujúce spoľahlivosť tohto dominantného vodárenského zdroja. V kontexte s evidovanými klimatickými zmenami je otázka riešenia ďalšieho vodárenského zdroja v rámci východoslovenskej VHS nanajvyšš aktuálna.

ZOZNAM LITERATÚRY

- [1] Bednárová, E. a kol., 2010: *Priehradné staviteľstvo na Slovensku. Originality – milníky – zaujímavosti*. Bratislava, Kuskus 2010, 207 s. ISBN 978-80-970428-0-6
- [2] Zborník zo seminára „Možnosti zabezpečenia pitnej vody z oblasti hornej Torysy. Košice 1995/6.
- [3] Starina – vodárenská nádrž 1993: účelová publikácia Povodia Bodrogu a Hornádu, Košice
- [4] VÚVH, *Výhľadová VHB množstva a kvality povrchovej vody k dlhodobému časovému horizontu (vrátane prehodnotenia výhľadových VN)*, 2014
- [5] Zborník z konferencie Priehradné dni 2014: „Zásobovanie východoslovenského regiónu pitnou vodou a možnosti riešenia krytia jej deficitu“

AUTORI

Autor 1: Ing. Božena Písečná, SVP, š. p., oddelenie TBD Košice, Ďumbierska 14, 041 59 Košice, Slovenská republika, bozena.pisecna@svp.sk

Autor 2: Ing. Martina Stančíková, SVP, š. p., Povodie Hornádu, OZ, Ďumbierska 14, 041 59 Košice Slovenská republika, martina.stancikova@svp.sk

Autor 3: prof. Ing. Emília Bednárová, PhD., Stavebná fakulta STU, Radlinského 11, 810 05 Bratislava, Slovenská republika, emilia.bednarova@stuba.sk

Autor 4: Ing. Ingrid Mydlová, VVS, a.s., Komenského 50, 042 48 Košice, Slovenská republika, ingrid.mydlova@vodarne.eu

TECHNICKÉ ŘEŠENÍ VODNÍHO DÍLA NOVÉ HEŘMINOVY

DESIGN OF THE NOVÉ HEŘMINOVY DAM

Marek Čejda¹, Lucie Salingerová², Jiří Švancara³

Abstrakt: Příspěvek zástupců projekčního týmu zabývajících se přípravou Vodního díla Nové Heřminovy (VDNH) podává souhrnnou informaci o komplexnosti témat, která jsou v rámci projektové přípravy řešena. Hlavní účel vodního díla (ochrana před povodněmi) i další účely předurčují parametry vodního díla i hráze samotné a jejich jednotlivých zařízení. Velká pozornost byla během návrhu věnována i architektonickému řešení vodního díla a jeho začlenění do území. Po několika desetiletích bude v ČR vystavěna nová betonová tížní přehradní hráz, tedy konstrukce se zvláštními požadavky na řešení problematiky vývinu hydratačního tepla a smrštění. VDNH je připravováno v koordinaci s dalšími podmiňujícími a navazujícími stavbami v území a tomu je přizpůsobena i předpokládaná organizace výstavby. Zpracovaný projekční návrh plní veškeré funkční požadavky a vytváří předpoklad pro realizaci nové bezpečné přehradní stavby.

Abstract: The Nové Heřminovy Dam design team submitted this article to provide general information on the complexity of the design issues being addressed. The dam serves primarily as flood protection, but also has other purposes that determine its parameters and required equipment. The design pays attention to the architectural solution of the dam and its integration into the area. A new concrete gravity dam will be constructed in the Czech Republic after several decades. The structure has specific requirements to solutions related to heat of hydration and concrete shrinkage. The Nové Heřminovy Dam is being prepared in coordination with other related constructions in the area and the construction organization is also being adapted accordingly. The technical design meets all functional requirements and is a prerequisite for the construction of a new safe dam.

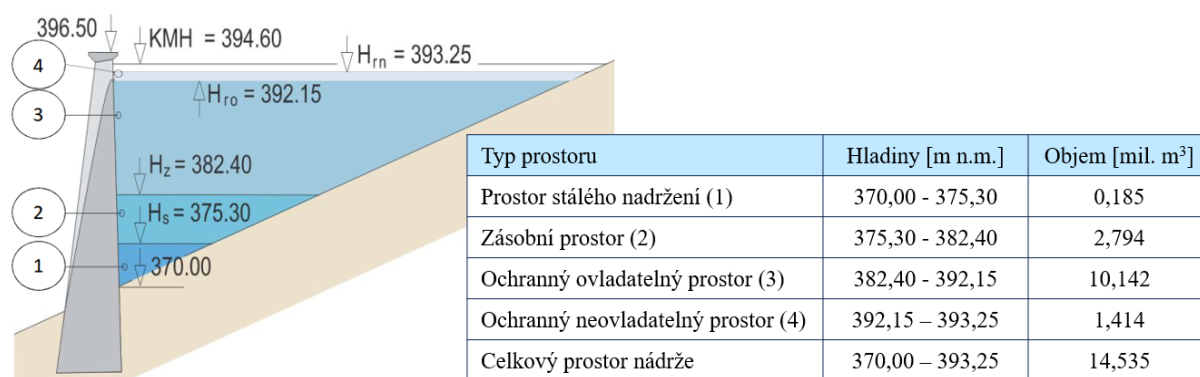
1 ÚVOD

Jako klíčová součást souboru opatření na snížení povodňových rizik v povodí horní Opavy bude na řece Opavě vystavěna přehrada Nové Heřminovy. Investorem stavby je na základě usnesení vlády ČR státní podnik Povodí Odry, projekční činnosti zajišťuje společnost AQUATIS a.s. v součinnosti s řadou dalších spolupracujících odborných subjektů a expertů.

V předchozím období byly pro potřebu projekčních prací vodního díla Nové Heřminovy (VDNH) vykonány nezbytné průzkumy, zajištěny koncepční studijní a výzkumné práce a proběhlo posouzení vlivů na životní prostředí (EIA). Koncepce VDNH se ustálila v období prací na dokumentaci pro územní rozhodnutí [1]. Aktuálně je již zpracována dokumentace pro stavební povolení [2] a je zpracovávána dokumentace pro provádění stavby. Projekční práce jsou vedeny s využitím metodiky BIM.

VDNH má převládající účel ochranný a tomu odpovídá i členění objemu nádrže (viz Obr. 1). Ochranný objem je určen pro zachycení vrcholové části hydrogramů povodní nad průtokem 100 m³/s, ve funkci tedy bude při povodních s kulminačním průtokem nad cca Q₁₀ až Q₂₀. Menší povodňové průtoky jsou přepouštěny bez ovlivnění. Vymezený zásobní prostor slouží ke stabilizaci průtoků v řece Opavě v období sucha a k nadlepšení minimálních průtoků.

Předpokládá se poměrně rozsáhlé rekreační využití nádrže. Doplnkovým účelem vodního díla je i energetické využití.



Obr. 1 Rozčlenění objemu nádrže Vodního díla Nové Heřminovy

2 KONCEPCE HLAVNÍ PŘEHRADNÍ STAVBY

Vodní dílo Nové Heřminovy bude zařazeno vzhledem ke své velikosti a potenciálu možného ohrožení území pod nádrží do I. třídy podle Vyhlášky č. 471/2001 Sb., o technicko-bezpečnostním dohledu nad vodními díly. Tomu bude odpovídat i příslušné vybavení hráze systémem zařízení pro její pozorování a měření, které bude vycházet ze současné technické úrovně a z vývoje v této oblasti. Směrodatnou povodní pro posouzení bezpečnosti přehrady za povodní je $PV_{10\,000}$, ppW 0,3.

Pro přehradu VD Nové Heřminovy byla po interní i externí oponentuře doporučena varianta betonové tížní hráze představující jednoduché a efektivní technické řešení zajišťující nejvyšší možnou odolnost přehrady a její bezpečnost jak při návrhových stavech, tak i při převádění kontrolního průtoku.



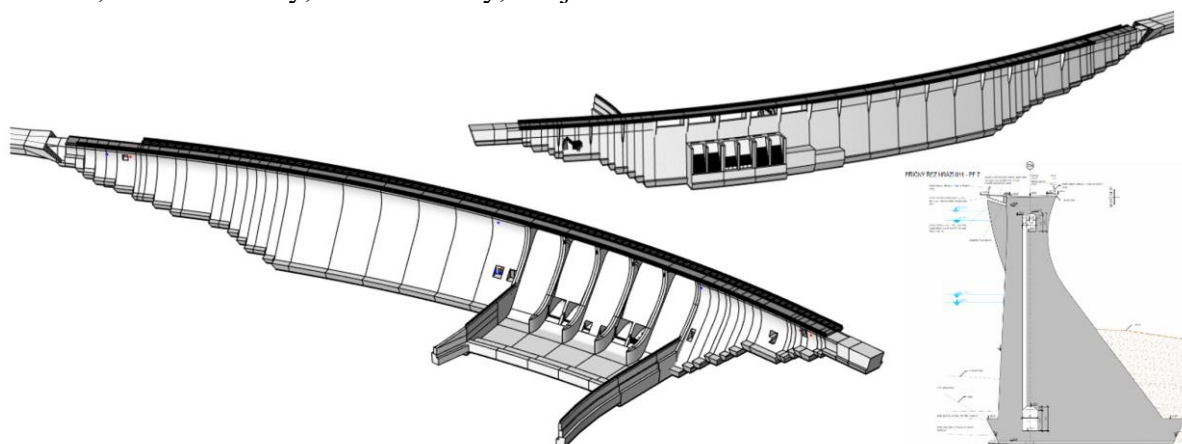
Obr. 2 Přehradní hráz VD Nové Heřminovy, hladina v nádrži na úrovni H_z - vizualizace [3]

3 PŘEHRADNÍ HRÁZ, FUNKČNÍ OBJEKTY A SOUČÁSTI VODNÍHO DÍLA

3.1 Betonová tížní hráz

Výška hráze je 26,5 m nad terénem, výška nad zákl. spárou (max.) je 32,5 m. Osa hráze je zakřivená proti vodě do kruhového oblouku, poloměr osy hráze je 500 m. Délka hráze je cca 339 m. Hráz je založena na skalní podloží a sestává ze standardních 23 dilatačních bloků převážně délky 15 m a části v pravobřežním závázání, kde se úsek injekční chodby délky cca 32 m prochází podloží přeložky silnice I/45, kterou je třeba vymístit z údolí a je třeba ji vystavět v předstihu před stavbou hráze.

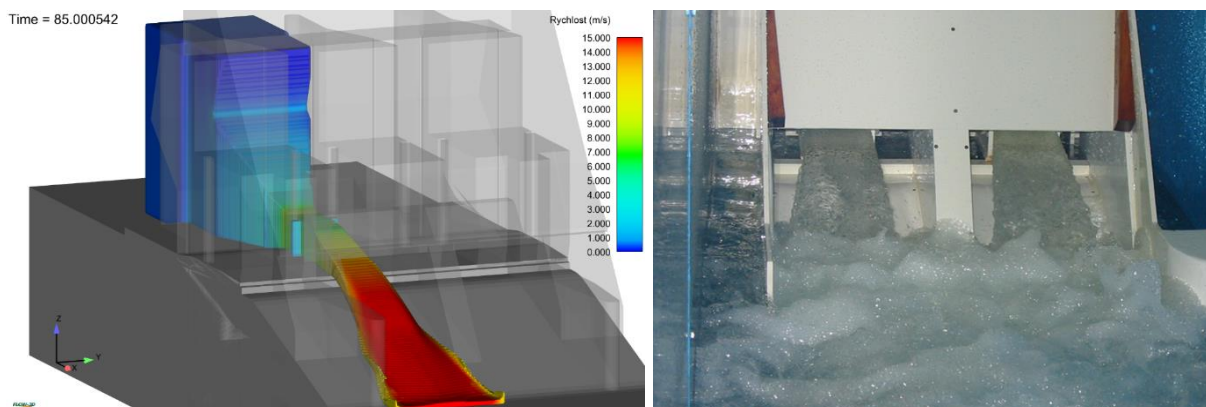
Byla věnována pozornost tvarovému řešení hráze a začlenění do krajiny, výsledné řešení vzešlo ze spolupráce hydrotechniků a architektů. Hráz obsahuje vnitřní prostory jako jsou injekční chodba, revizní chodby, revizní šachty, strojovna.



Obr. 3 Schématický model betonové tížní hráze a typický tížní blok [3]

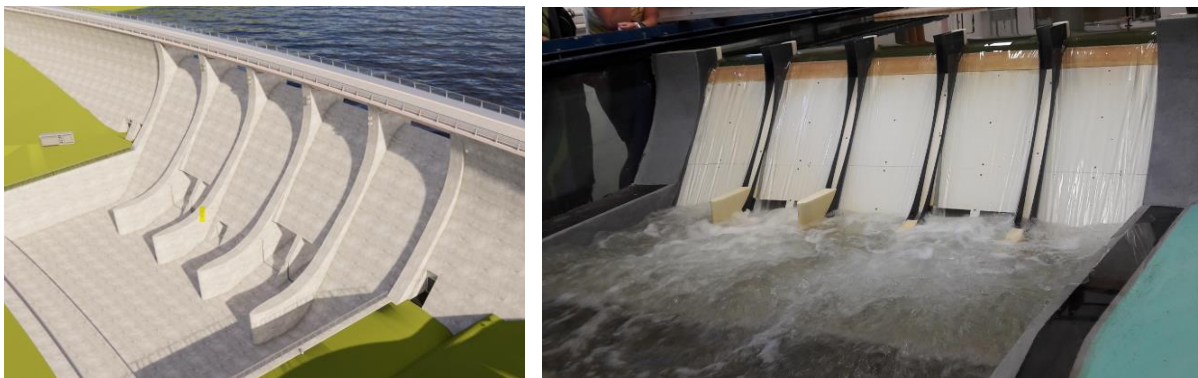
3.2 Bezpečnostní přeliv, spodní výpusti, vývar, odpadní koryto

Betonová tížní hráz VDNH bude vybavena 4 spodními výpustmi. Požadavek na propouštění průtoku $100 \text{ m}^3/\text{s}$ přehradním profilem při hladině zásobního prostoru 382,40 m n.m. vede k návrhu spodních výpustí značného rozměru. Požadovaný průtok $100 \text{ m}^3/\text{s}$ musí být zajištěn třemi ze čtyř výpustí (jedna může být mimo provoz, např. z důvodu údržby nebo oprav). Technický návrh spodních výpustí byl prověřován a optimalizován pomocí CFD modelu proudění a následně na fyzikálním modelu [6].



Obr. 4 Matematická simulace funkce spodní výpusti (CFD model) a následné ověření na fyzikálním modelu (LVV FAST VUT, viz [6])

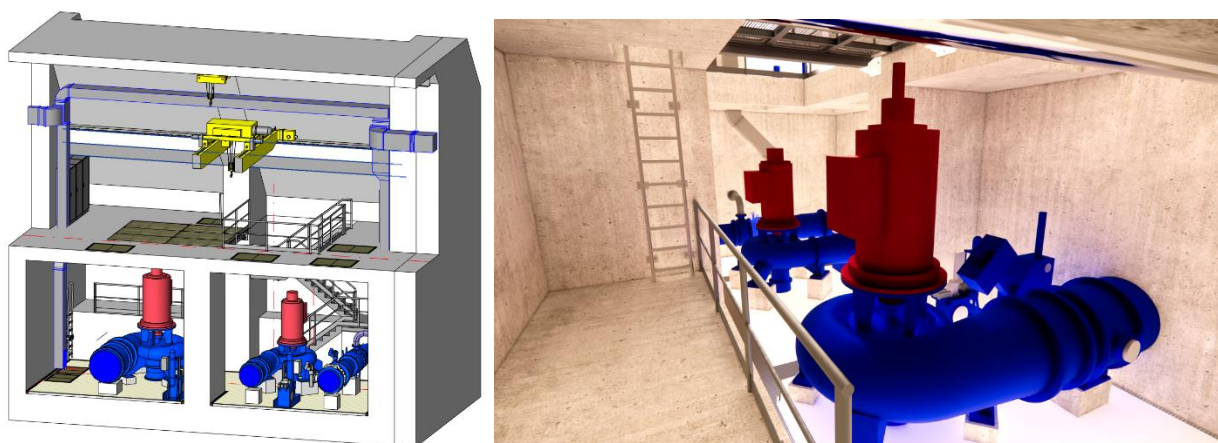
Vodní dílo je vybaveno pevným nehrazeným jednoúrovňovým bezpečnostním přelivem (Scimemiho tvar přelivné plochy s návrhovou přepadovou výškou 2,0 m). Kóta přelivné hrany je 392,15 m n.m., přeliv má 5 polí, každé s délkou přelivné hrany 13 m. I technický návrh spodních výpustí byl prověřován a optimalizován pomocí CFD modelu proudění a následně na fyzikálním modelu [6].



Obr. 5 Koncepce přelivných bloků a ověření na fyzikálním modelu (LVV FAST VUT, viz [6])

3.3 Elektrárna

Využití vodní energie představuje pouze doplňkový účel VDNH. Malá vodní elektrárna je umístěna ve vnitřních prostorech hráze a je navržena v dvoustrojovém uspořádání. Menší ze soustrojí bude využívat nadlepšené minimální průtoky a společně s větším soustrojím je schopna využívat průtoky až do velikosti 3,2 m³/s, instalovaný výkon je cca 400 kW.



Obr. 6 Uspořádání MVE ve vnitřních prostorech hráze VDNH, viz [3]

3.4 Provozní středisko s informačním centrem

Provozní budova je navržena jako dvoupodlažní objekt tvořený soustavou křivek obloukového tvaru kopírující reliéf okolní krajiny. V přízemí objektu je umístěna část přístupná veřejnosti - informační centrum s hygienickým zázemím pro návštěvníky a přednášková síň s výstavními prostory. Zázemí hrázných vč. dispečinku VD se nacházejí ve druhém podlaží bez přístupu veřejnosti. Technické zázemí a inspekční pokoje jsou umístěny v přízemní severní části objektu. Součástí areálu provozního střediska jsou i 2 rodinné domy pro ubytování hrázných.

3.5 Obtok nádrže a vegetační doprovod

S cílem migračního zprůchodnění VDNH je navržen jakou součástí VD obtok nádrže. Jedná se o soubor staveb a zařízení zahrnující rozdělovací objekt, samotné koryto obtoku, objekty na obtoku (odlehčovací objekty, podchody komunikací, přemostění, průchod přehradním profilem atd.) a zaústění do řeky Opavy pod přehradní hrází. Obtok je koncipován jako přírodě blízký členitý vodní tok. Od rozdělovacího objektu je jeho trasa vedena vlevo podél revitalizované řeky Opavy a dále po levobřežním břehu nádrže. Za hrazeným průchodem přehradní hrází jeho trasa sestupuje levým údolním svahem do řeky Opavy až pod spádový stupeň v podhrází. Průtok obtokovým korytem bude činit 0,435 – 0,600 m³/s.



Obr. 7 Obtokové koryto - vizualizace [3]

Součástí VDNH je i rozsáhlý soubor vegetačních úprav. Jeho součástí jsou výsadby v okolí hráze, provozního střediska, nad retenční hladinou a doprovodná zeleň podél liniových staveb. Nejrozsáhlejší jsou pak výsadby v prostoru přirozeného vývoje, které sestávají především z kombinace měkkého a tvrdého luhu a jsou koncipovány tak, aby došlo k zapojení celého díla do funkčních celků nivních ekosystémů a krajinných struktur.

4 DALŠÍ SOUČÁSTI STAVBY A STAVBY SOUVISEJÍCÍ

4.1 Dopravní obslužnost

Výstavba VDNH bude mít vliv i na stávající dopravní infrastrukturu u obcí Nové Heřminovy a Zátor. Nedílnou součástí souboru staveb souvisejících s výstavbou přehrady bude přeložka silnice I/45 mezi těmito obcemi (samostatná stavba „I/45 Nové Heřminovy – Zátor, I. etapa“, investorem je Ředitelství silnic a dálnic s. p.). Stávající silnice se totiž nachází v prostoru budoucí zátopy. Nová trasa je umístěna na pravém břehu VD.

Součástí výstavby bude i soustava obslužných komunikací včetně napojení na stávající dopravní infrastrukturu a zajištění přístupů na okolní pozemky. Na levém břehu VD se bude nacházet obslužná komunikace zajišťující spojení mezi prostorem konce vzduť a provozním střediskem u hráze a dále bude zajišťovat vzájemné propojení ostatních účelových ploch. Na pravobřežním svahu nádrže vznikne komunikace vedoucí v souběhu s přeložkou silnice I/45 a končící u nově navrženého parkoviště v pravobřežním zavázání hráze VDNH. Parkoviště bude propojeno s přeložkou silnice I/45 a bude sloužit pro potřeby provozu VD i pro veřejnost.

Levobřežní i pravobřežní komunikace budou veřejně přístupné pouze pro nemotorovou dopravu a rekreaci a současně budou sloužit potřeby obsluhy VD a vlastníků přilehlých pozemků. Přístup do zátopy a do ploch v konci vzdutí určených k rekreaci bude zajištěn sjezdem z nové okružní křižovatky na silnici I/45.

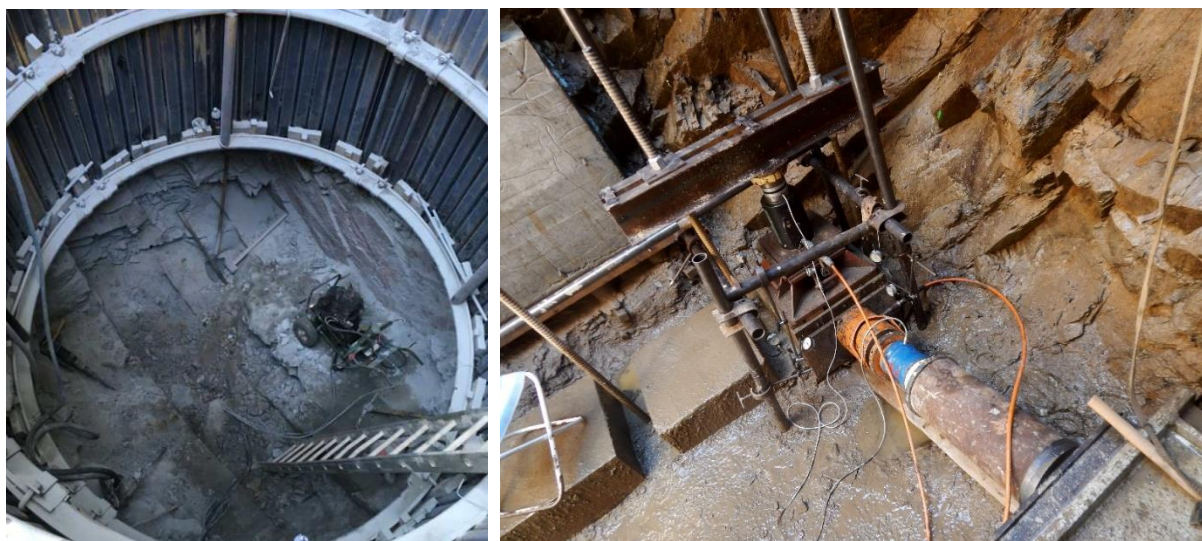
4.2 Související objekty v obci Nové Heřminovy

V úseku od mostu na silnici I/45 (Krnov – Bruntál) až po most na silnici III/4581 ve směru na Milotice nad Opavou je jako součást VDNH navrženo zkapacitnění stávajícího koryta řeky Opavy, resp. zvýšení průtočnosti stávajícího ohrázaného koryta z dnešní hodnoty cca $Q_{20} = 121 \text{ m}^3/\text{s}$ tak, aby zástavba na levém břehu řeky byla chráněna až na tisíciletý průtok v řece Opavě, který odpovídá hodnotě $Q_{1000} = 372 \text{ m}^3/\text{s}$, a to včetně bezpečnostního převýšení hrází o cca 80 cm nad vypočtenou hladinu. Na konci obce směrem k VD je na levém břehu navržena protipovodňová ochranná hráz, která bude chránit obec Nové Heřminovy před zvyšující se hladinou vody v nádrži za povodní. Zahrázové vody budou odváděny do koryta řeky Opavy v nejnižším místě hrázovými propustmi. Součástí protipovodňových opatření je i realizace čerpací stanice pro odvedení vnitřních vod z chráněného území v průběhu povodní.

5 SPECIFICKÉ OTÁZKY

5.1 Průzkumy

V rámci přípravy VDNH byl v letech 2014 až 2015 proveden podrobný geologický průzkum v rozsahu celé stavby. Zvláštní důraz byl kladen na prostor hráže, kde byl na základě soustavy průzkumných vrtů s výnosem jádra sestaven 3D model podloží, který byl následně využíván pro navazující stabilitní a strukturální analýzy. Součástí průzkumů byly i velkoprofilové průzkumné šachty hloubené až na základovou spáru hráže, které zde umožnily realizaci smykových zkoušek in situ.



Obr. 8 Provádění smykových zkoušek v šachtách na základové spáře VDNH [4]

Hráz VDNH bude dle zjištění IGP založena na kvalitním předkvartérním podloží tvořeném kulmskými horninami, reprezentovanými zvrásněným flyšovým souvrstvím hornobenešovských vrstev. Jedná se o souvrství s jemnozrnnými až střednězrnnými drobnými

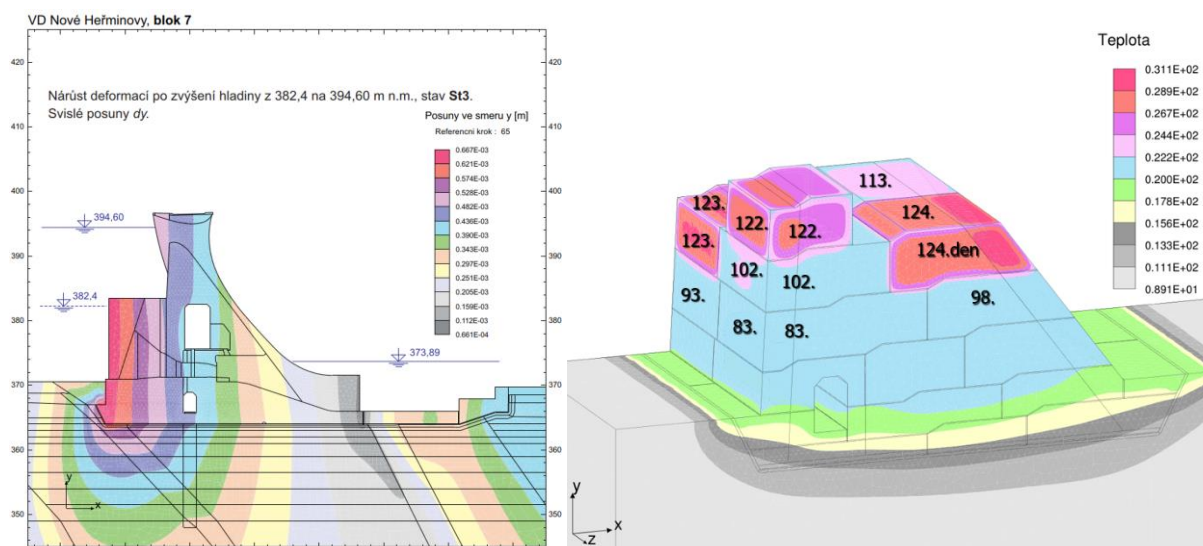
s podílem jílovitých břidlic a ojedinělým výskytem poloh hrubozrnného pískovce až slepence. Kvartérní pokryv je v údolní nivě tvořen fluviálními sedimenty (náplavové hlíny překrývající vrstvu bazálních hrubozrnných až balvanitých štěrků, mocnost zemín údolní terasy 3,5 - 4,5 m) a v údolních svazích je tvořen deluviálními sedimenty – hlinitopísčitémi kamenitými sutěmi.

5.2 Modelový výzkum

Vybraným funkčním prvkům VDNH byla při jejich návrhu věnována zvýšená pozornost. Konstrukce navržené a dimenzované standardními hydrotechnickými postupy a výpočty byly ověřovány a optimalizovány pomocí matematických simulací (CFD modely) a následně i pomocí fyzikálních modelů. Tato pozornost byla věnována návrhu bezpečnostního přelivu včetně vývaru, spodních výpustí, usazovacího prostoru splavenin nad nádrží a vymílicího prostoru pod VD pro zajištění zachování kontinua chodu sedimentů v řece Opavě.

5.3 Stabilitní analýzy a simulace postupu výstavby

Stabilitní posouzení hráze VDNH bylo postupně aktualizováno v každém stupni projektové dokumentace s ohledem na vývoj a podrobnost technického návrhu a na tento typ betonové konstrukce. V současné době je posouzena stabilita všech charakteristických hrázových bloků pomocí matematického simulačního modelu metodou konečných prvků (MKP). Posuzována byla bezpečnost proti usmýknutí po základové spáře, bezpečnost proti překlopení a bezpečnost proti dosažení mezní nebo kritické únosnosti podloží. Následně byl simulován postup betonáže hrázového dilatačního bloku po pracovních bločcích v reálném čase (sružená tepelně-mechanická prostorová úloha mechaniky kontinua pomocí MKP). Cílem simulace bylo posouzení postupu výstavby z hlediska nebezpečí porušení betonu v důsledku vývinu hydratačního tepla a smrštění betonu.



Obr. 9 Nárůst svislých deformací po zvýšení hladiny z $H_z=382,4$ na $KMH=394,60$ m n.m.; Ukázka modelu vývoje teploty povrchu pracovních bločků v průběhu betonáže [3]

6 SHRNUŤÍ

Príspevek uvádí základní koncepci připravovaného Vodního díla Nové Heřminovy. Současně nastínil vybraná související témata typická pro tak specifickou konstrukci, jakou je betonová tížní přehradní hráz.

S ohledem na obsáhlost a komplexnost připravované stavby přehradní hráze neumožňuje rozsah tohoto článku popsat veškeré informace a aspekty tak, jak bychom si představovali.

Poslední betonová přehradní hráz byla v České republice vybudována naposledy před několika desetiletími a i přesto, že realizace vodního díla Nové Heřminovy je plánována již od roku 2008 a postup „nejen“ projekčních prací byl leckdy obtížný, tak pevně věříme, že tento projekt zdárně pokračuje k realizaci.

PODĚKOVÁNÍ

V úplném závěru bychom chtěli poděkovat všem, kteří se jakýmkoliv způsobem, ať už v rámci naší společnosti AQUATIS a.s. či z řad pracovníků Povodí Odry, státní podnik, spolupracujících odborných subjektů a expertů, podíleli na tomto rozsáhlém projektu.

Zvláštní poděkování patří in memoriam našemu bývalému kolegovi Michalovi Karbáčovi, autorovi vizualizací použitých v tomto článku.

SEZNAM LITERATURY

- [1] *AQUATIS a.s. (2016): VD Nové Heřminovy – související objekty, OHO, Dokumentace k žádosti o vydání rozhodnutí o umístění stavby.*
- [2] *AQUATIS a.s. (2017): VD Nové Heřminovy, OHO, Dokumentace k žádosti o vydání rozhodnutí o umístění stavby.*
- [3] *AQUATIS a.s. (2023): VD Nové Heřminovy, Dokumentace pro vydání stavebního povolení.*
- [4] *JUGeo-GVP, s.r.o. a GEOTest, a.s. (2016): Podrobný inženýrskogeologický průzkum, Závěrečná zpráva, VD Nové Heřminovy, SO101 Hráz.*
- [5] *VUT FAST Brno, Ústav vodních staveb, Laboratoř vodohospodářského výzkumu (2016): Hydraulický modelový výzkum prostoru pro sedimentaci říčních splavenin v horní části zátopy VD Nové Heřminovy.*
- [6] *AQUATIS a.s. a Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb, Laboratoř vodohospodářského výzkumu (2017): H.01.01 Modelový výzkum funkčních objektů VD NH, 2. a 3. etapa.*

AUTOŘI

*Autor 1: Ing. Marek Čejda, Ph.D., *)*, marek.cejda@aquatis.cz

*Autor 2: Ing. Lucie Salingerová, *)*, lucie.salingerova@aquatis.cz

*Autor 3: Ing. Jiří Švancara, *)*, jiri.svancara@aquatis.cz

**) AQUATIS a.s., Botanická 834/56, 602 00 Brno, Česká republika*

VD KRYRY – NÁVRH KONCEPCE HRÁZE

KRYRY DAM – CONCEPTUAL DESIGN

Markéta Ryšavá¹, Ivo Hladík², Jiří Švancara³

Abstrakt: Vodní dílo Kryry na Podvineckém potoce je připravováno jako součást budoucí vodohospodářské soustavy zaměřené na posílení akumulace vod v jedné z nejsušších oblastí České republiky. Mimo zajištění odběrů pro závlahy bude VD nadlepšovat průtoky v řece Blšance v období sucha a posílí i ochranu před povodněmi v níže položených obcích. Vznik vodní nádrže rovněž zatráktivní region pro rekreaci. Společnost AQUATIS a.s. zajišťuje pro investora Povodí Ohře, státní podnik předprojektovou přípravu VD Kryry představující soubor projekčních návrhů, průzkumů a analýz, s cílem upřesnit koncepci nejen přehradní stavby, ale i všech souvisejících a vyvolaných staveb. Tak jako jiná, již existující díla v tomto regionu, i VD Kryry se musí vypořádat se složitými geologickými poměry. Cílem prací bylo mj. nalézt a prověřit takové uspořádání hráze a funkčních objektů, které umožní vyrovnat se co nejlépe s místními podmínkami a vytvoří předpoklady pro bezpečnou funkci díla. Příspěvek shrnuje postupný vývoj koncepce hráze, která byla s využitím výsledků provedeného IG průzkumu ověřována strukturálními analýzami a analýzami chování hráze včetně podloží.

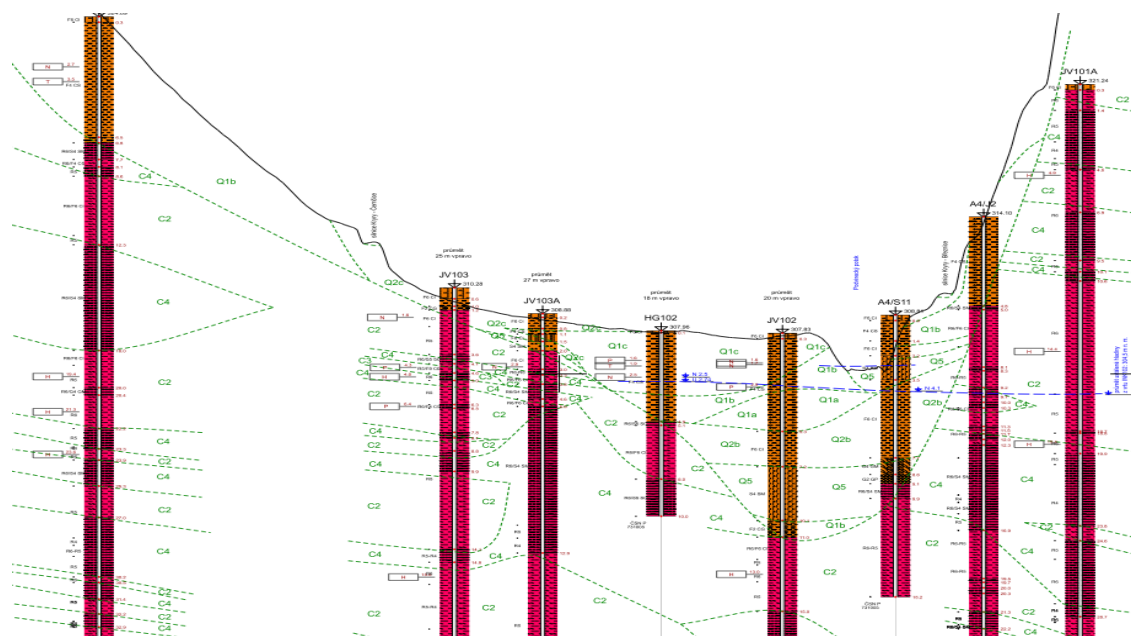
Abstract: The Kryry Dam on the Podvinecký creek is being prepared as a part of the future water management system aimed at enhancement the water accumulation in one of the driest regions of the Czech Republic. In addition to providing a resource for irrigation, the dam will also improve water flows in the Blšanka river during the dry season and will improve flood protection in downstream urban areas. The water reservoir will also create an opportunity to make the region attractive for recreation. The company AQUATIS a.s. provides for the investor (Povodí Ohře, state enterprise) conceptual design of the Kryry Dam consisting of surveys and analyses, with the aim of specifying the concept of dam and all related constructions and buildings. Like other existing dams in this region, the Kryry Dam has to deal with complex geological conditions. The goal is to find and check such an arrangement of the dam and its facilities, which will allow to cope as best as possible with the local conditions and will create prerequisites for the safe operation of the dam. The design proposals of the dam are checked by structural analyses. The contribution summarizes the development of the dam concept and the analyses of the stability and behavior of the dam carried out, using the results of the geological survey.

1 ÚVODNÍ INFORMACE K LOKALITĚ

Lokalita VD Kryry na Podvineckém potoce v povodí Blšanky byla vybrána mezi hájené profily dle Směrného vodohospodářského plánu z 60. let 20. století. Sem je datován i první IG průzkum provedený pro menší zemní homogenní hráz vodárenské nádrže [1]. Průzkum ověřil dostatek jílovitohlinitých materiálů pro násyp hráze, avšak i upozornil na řadu závažných komplikací. Zastižené střídání vrstev odlišné propustnosti v podloží vedlo k předpokladu zvýšených nákladů na injektáže nebo budování rozsáhlého těsnicího koberce. Bylo upozorněno na riziko poruch a nestabilit pravého svahu, vč. možnosti zvýšených průsaků, na možnost infiltrace z míst bývalých těžeben hlín v zátopě aj. Úvahy o využití profilu byly proto přerušeny.

V posledním období byl námět výstavby VD Kryry obnoven v souvislosti se záměrem vybudování rozsáhlé vodohospodářské soustavy posilující vodní bilanci v nejsušším regionu ČR. V r. 2017 byla zpracována studie proveditelnosti [2], následně investiční záměr [3]. Sledovaným účelem VD Kryry se staly závlahy, což vyvolalo potřebu maximalizovat objem

nádrže, a tedy i výšku hráze, která byla navýšena na cca 20 m nad úroveň terénu (mimo koryto). Na podklady [2] a [3] navázala předprojektová příprava, která probíhá od r. 2021. Její součástí je i předběžný IG průzkum [4]. Ten potvrdil předpoklady složitých poměrů v podloží hráze. Předkvartérní podloží tvoří chaoticky uspořádané vrstvy a čočky slabě zpevněných permokarbonských prachovců a jílovců (rozložených až na zeminy, a to i do značné hloubky) a slabě zpevněných nebo rozložených pískovců se zvýšenou propustností. Kvarterní útvary představují zejména jíly, písčité jíly a sprašové hlíny, které jsou místy střídány s písky, šterkovitými písky a jílovitými šterky. Mocnost kvarterních útvarů roste v pravé části údolí až na cca 10 m (viz Obr. 1). U podložních vrstev byla zjištěna poměrně nízká únosnost v rozmezí jednotek, max. nižších desítek MPa a nízké hodnoty přetvárných charakteristik. Pozitivní je, že v zátopě nebo v blízkém okolí bude možné zajistit dostatek materiálů využitelných do těsnicí zóny hráze, jejich využitelnost bude limitována vlhkostí. Materiál pro stabilizační části hráze se však v lokalitě nevyskytuje.



Obr. 1 Výřez z podélného geologického řezu údolím v místě hrázového profilu VD Kryry (převýšeno), [4]

2 POSTUP NÁVRHU PŘÍČNÉHO PROFILU HRÁZE, METODIKA PRACÍ

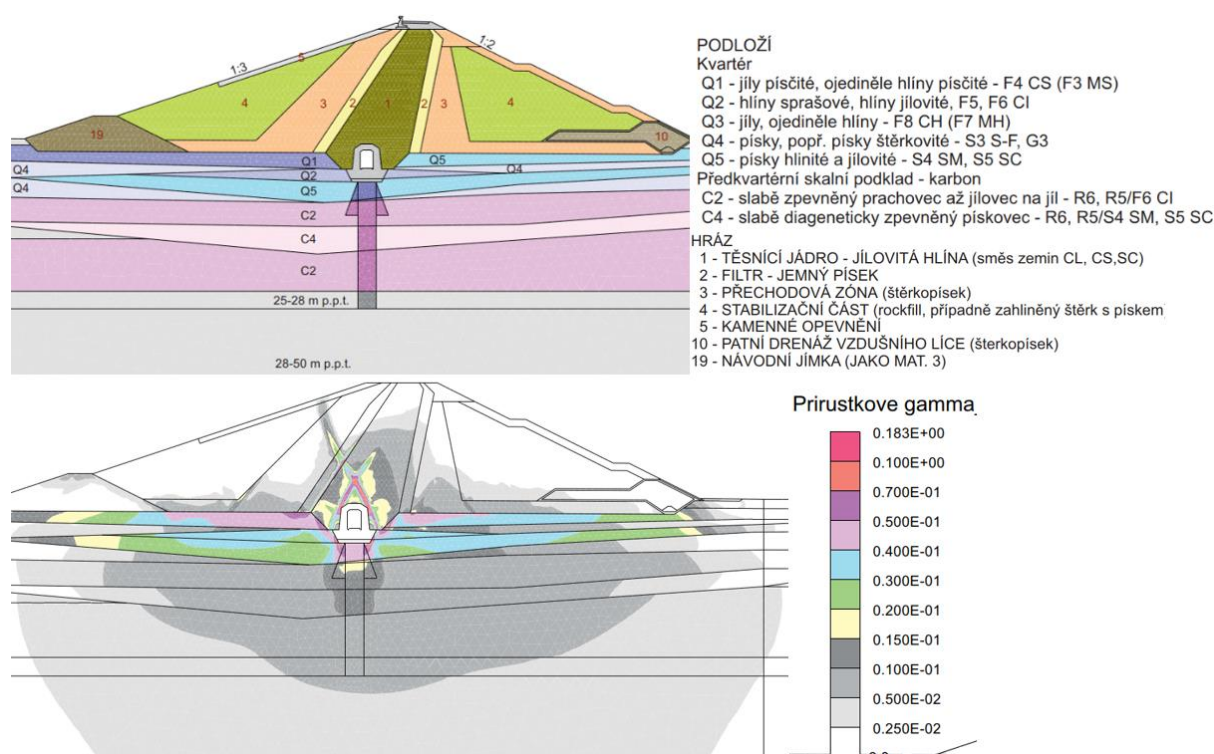
Od zahájení projekčních prací bylo zřejmé, že nalezení vhodného technického a zároveň ekonomického řešení je výzvou. Tvarový a materiálový návrh příčného profilu byl průběžně optimalizován dle odezvy ze strukturálních a stabilitních analýz, jež prověřovaly chování hráze a podloží. Byly prováděny ve dvou krocích, a to:

- **parametrické studie**, jejichž cílem bylo stanovení bezpečných sklonů obou líců hráze s ohledem na značně měkké podloží. Při výpočtu se simulují následující dva hlavní scénáře:
 - a) postupné budování hráze – simulováno ve 45 etapách výpočtu
 - b) postupné napouštění nádrže až po maximální zásobní hladinu $M_z = 323,8$ m n.m.
- **posouzení dalších významných zatěžovacích stavů** (havarijní prázdnění, transformace PV_{10 000}, řízené prázdnění, transformace PV₁₀₀) – pro profil vyhovující dle předchozího kroku. Analýzy byly prováděny jako sdružené mechanicko-hydraulické rovinné úlohy mechaniky kontinua metodou konečných prvků v programu CRISP-PATH. Přetvárné a pevnostní parametry byly definovány výběrem vhodných konstitutivních modelů (ideálně pružně-

plastický, dráhově závislý pružně-plastický). Byl zaveden předpoklad rovinného přetvoření. Proudění vody v tělese hráze a podloží bylo simulováno s dílčím zjednodušením jako nasycené/nenasycené jednofázové proudění v deformovatelném porézním prostředí. Materiálový model vystihuje vztahy mezi napětím, přetvořením a časem. Časově proměnné závislosti byly použity v etapách budování násypu hráze a simulace proudění v tělese hráze a v podloží. Model umožňuje vyhodnocovat v čase deformace, mobilizaci smykové pevnosti, smyková přetvoření ale také např. vývoj pórových tlaků a průsaky.

3 VSTUPNÍ GEOMETRIE

S ohledem na složité IG poměry byla ve výchozím návrhu uvažována injekční chodba s profilem umožňujícím doinjektáž. Nejdříve byla prověřována funkčně osvědčená koncepce zonální sypané hráze se středovým mírně ukloněným těsněním, která podle zkušeností zpracovatelů i ve zhoršených geologických poměrech vykazuje přijatelné a bezpečné chování. Důraz byl kladen i na ekonomičnost návrhu (snaha o minimalizaci objemu hráze pro v úvahu připadající sestavu materiálů hráze). Posuzovaný profil (Obr. 2) byl umístěn v zóně s největšími doposud potvrzenými mocnostmi kvartérních útvarů (cca 10 m).



Obr. 2 Vstupní návrh profilu hráze a vývoj maximálních smykových pevností v důsledku přetvoření při výstavbě hráze [9]

4 VERIFIKACE VSTUPŮ A OPTIMALIZACE INICIÁLNÍHO TVARU HRÁZE

Při zadání charakteristik podloží dle provedeného IG průzkumu byly zjištěny velmi vysoké deformace podloží hráze již v průběhu sypaní. Výstupy prvotních analýz indikují nad injekční chodbou vznik poruchových zón v jádře způsobených velikostí sedání a jejich nerovnoměrným rozložením mezi násypem a konstrukcí chodby – viz Obr. 2. Vysoké hodnoty sedání, by měly zásadně nepříznivý vliv na chování a bezpečnost jak tělesa hráze a jejího těsnění i souvisejících funkčních objektů. Protože modelem indikované hodnoty sedání v základové spáře výrazně

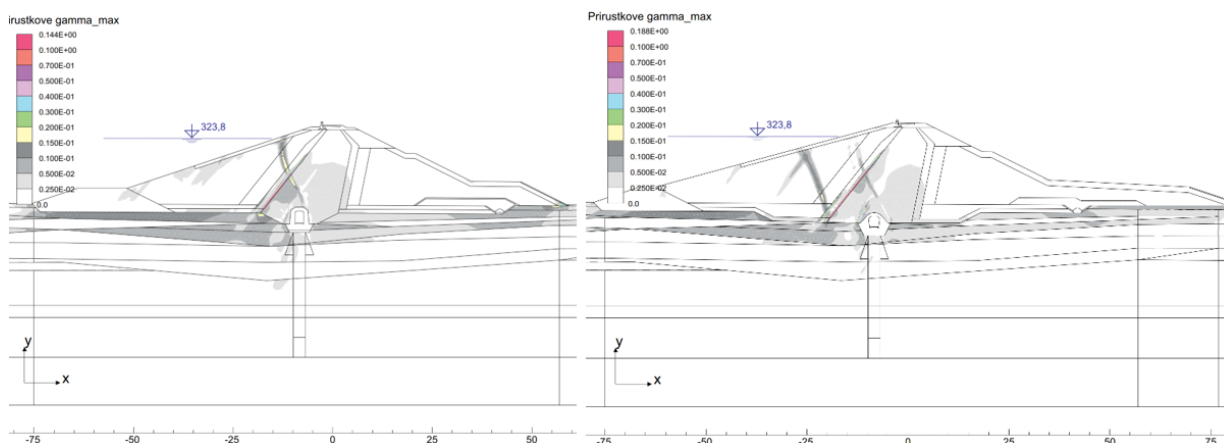
překračovaly hodnoty obvyklé, proběhlo opakované ověření vstupních hodnot. Proběhly konzultace se zpracovateli průzkumu a dalšími odborníky z oboru geotechniky a inženýrské geologie [6], [7]. Byla provedena rozsáhlá analýza [5] charakteristik z průzkumů v okolí VD Kryry, neboť zpracovatelé IGP disponovali výsledky průzkumů i dalších staveb v okolí.

Projektant dále provedl rešerše IG průzkumů a zpráv TBD na jiných VD ve složitých IG poměrech [12], [13], se zaměřením na charakteristiky materiálů podloží a reálně naměřené hodnoty sedání v základové spáře (ZS). U blízkého VD Vidhostice byla konstatována dobrá shoda v geologických poměrech a současně byl vývoj deformací dobře zdokumentován jak v období výstavby, tak následného provozu, což umožnilo VD využít jako referenční. Byl sestaven zjednodušený model hráze VD Vidhostice a podloží a na něm byly provedeny srovnávací výpočty pro charakteristiky podloží a zdokumentované hodnoty sedání. Verifikací byl potvrzeno, že na VD Kryry lze skutečně očekávat mimořádně vysoké hodnoty sedání hráze v základové spáře (řádově o 0,75 m) a tomu bude nutné konstrukční řešení přizpůsobit. Přestože v dalších etapách IG průzkumu bezpochyby dojde k upřesnění IG poměrů v profilu hráze, kalibrační výpočty prokázaly, že nestandardně vysoká sedání podloží hráze vyvolaná vlastnostmi podloží bude třeba přijmout jako fakt.

Návrh hráze bylo nutné zjištěným skutečností přizpůsobit. Postupně byla přijímána opatření, která měla za cíl, pokud možno omezit velikost deformací a rovněž zrovnoměnit jejich rozložení a vytvořit předpoklady pro zvládnutí jejich následků:

V prvním kroku (Obr. 3- vlevo):

- Rozšíření koruny hráze umožňující její budoucí zvýšení pro kompenzaci sednutí;
- Rozšíření návodní jímky do podoby přítěžovací lavice a doplnění širší lavice na vzdušném líci. Jejich cílem bylo upravit distribuci zatížení po základové spáře a tím zajistit rovnoměrnější rozložení sedání pod tělesem hráze.
- Rozšíření jádra tak, aby se lépe přizpůsobilo deformacím, a s tím související zmírnění sklonů zářezu pro realizaci injekční chodby a dále změna tvaru filtrů.



Obr. 3 Postupná optimalizace tvaru hráze a vývoj přírůstku maximálního smykového přetvoření dle popsaných optimalizačních kroků č. 1 a 2 [9]

Účinnost opatření byla omezená, v druhém kroku byly ověřeny další úpravy (Obr. 3 - vpravo):

- Odtěžení nejpoddajnějších zón v podloží, tj. zahloubení základové spáry;
- Doplnění široké přítěžovací lavice na vzdušné straně;
- Odtěžení měkkých horních vrstev kvartéru v okolí těsnicího jádra směrem na návodní i vzdušné straně;
- Prověření vlivu mírnějšího sklonu návodního líce (1:3,7) na místo přítěžovací lavice;
- Optimalizace tvaru injekční chodby;

- Doplnění lavice na vzdušní straně, povrch 1:20, výška cca 8 m, délka cca 35 m – pro zlepšení rozložení velikosti sedání po délce základové spáry (současně umožňuje začlenění zvažovaného dopravního řešení).

Přestože veškeré postupně prováděné úpravy měly jednoznačně pozitivní vliv na chování hráze a v každém postupném kroku vedly k příznivějšímu rozložení deformací v podloží hráze, nepodařilo se nalézt takový návrh uspořádání, který by v daných poměrech bylo možné doporučit z pohledu bezpečnosti a byl perspektivní pro další projekční rozpracování.

V reakci na průběžné výsledky analýz projektant navrhl přesun sdruženého objektu do zóny s očekávaným příznivějším průběhem sedání. Tomuto bylo zapotřebí přizpůsobit návrhy všech funkčních objektů, přičemž při jejich návrhu bylo pamatováno na opatření reagující na důsledky velkých deformací. V novém umístění se očekává pokles hodnot sedání o cca o 1/3 oproti původnímu umístění.

5 ZMĚNA KONCEPCE ŘEŠENÍ A VÝSLEDNÝ NÁVRH HRÁZE

Výsledkem provedených analýz bylo rozhodnutí vymístit linii těsnění podloží k návodní straně mimo oblast největších očekávaných deformací a smykových namáhání. Současně byly pro tvarové řešení hráze uplatněny zlepšující úpravy prověřené v předchozí etapě prací (zahlobení základové spáry, přítěžovací lavice u obou pat hráze aj.). Provedené analýzy prokázaly, že kritickým bodem návrhu není stabilita samotného hrázového tělesa (veškeré prováděné úpravy stabilitu zvyšují), ale nestandardní chování hráze na poddajném podloží.

Úpravy tvarového řešení vesměs znamenaly značný nárůst objemu násypu hráze, avšak z důvodu stability zvětšovat rozsah stabilizačních zón nebylo nutné. Proto projektant předložil další variantní řešení maximalizující objem vnitřní zóny hráze (materiálově povahy těsnicího jádra s využitím místních materiálů) s cílem omezit náklady stavby – podrobněji viz kap. 6. U variant s masivním jádrem se zároveň očekávalo, že jemnozrnné materiály by se měly lépe vyrovnat s velkými a nerovnoměrnými deformacemi.

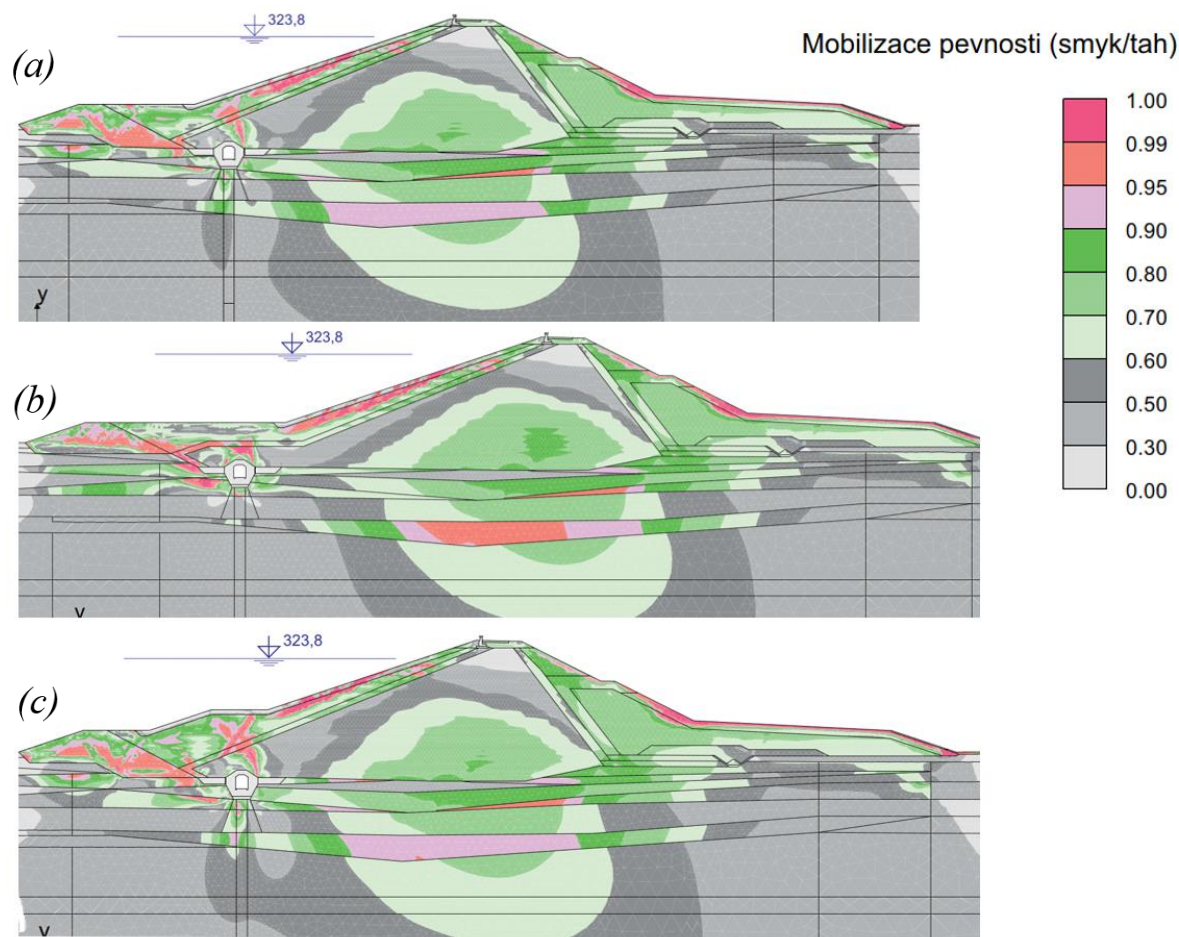
Byly zpracovány nové varianty příčného profilu hráze (celkem 6). Těsnicí zóna hráze a podloží byla přesunuta k návodnímu líci a byly zvažovány kombinace těchto možností:

- využití masivního nebo subtilního jádra,
- zavázání jádra do podloží s injekční chodbou (ICH) nebo injekčního bločku (IB),
- případné doplnění těsnicí zóny hráze geokompozitem (fólií).

S investorem bylo dohodnuto, že bude upřednostněna varianta s masivním jádrem, a že z provozních hledisek je žádoucí navrhovat ICH. Pokud by návrh nevyhověl, dalším krokem by bylo ověření koncepce s IB a masivním jádrem. Teprve pro případ, kdy by výsledky nadále indikovaly poruchy těsnicího prvku hráze, byl by návrh profilu hráze doplňován těsnicí fólií.

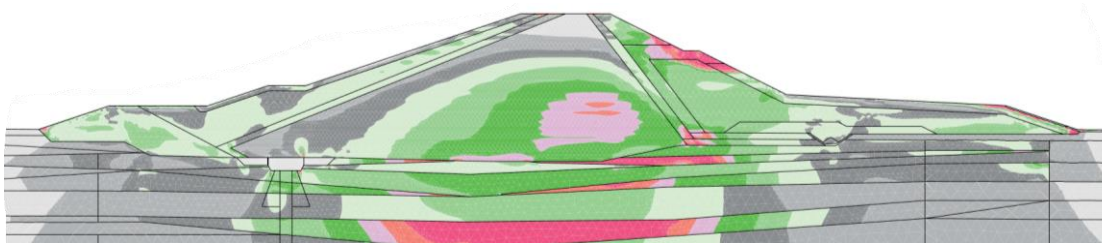
Po vyhodnocení původní koncepce byl upraven i tvar ICH a byla doplněna oboustranně zavazovací křídla zajišťující vodotěsné připojení těsnicího jádra na podloží v dostateční šířce.

Ve variantě s masivním jádrem a ICH došlo k výraznému zlepšení chování hráze, avšak variantu stále nebylo možné doporučit, neboť nerovnoměrné sedání vede k rozevírání dilatační spáry mezi ICH a jejím vzdušným křídlem. Tyto posuny se propagují do těsnicího jádra do té míry, že vzniká místo potenciální poruchy (Obr. 4a). Byly proto prověřeny další dva optimalizační kroky – vysunutí linie těsnění ještě více do nádrže a propojení na ICH z předložené části jádra (viz Obr. 4b) a nebo upravit tvar hráze v nadloží ICH s cílem zrovnoměrnit sedání (doplnění lavičky nad přísypem – viz Obr. 4c). V obou případech došlo opět k zlepšení chování hráze, avšak ani v jednom případě natolik, aby bylo možno návrh doporučit jako výsledný.



Obr. 4 Nová koncepcie hráze s masivním jádrem a ICH. Mobilizace smykových pevností pro výchozí optimalizaci návrhu (a), s vysunutím jádra (b) nebo lavičí (c) [12].

Dalším prověřovanou variantou byl profil s masivním jádrem a injekčním bločkem (Obr. 5). Na líci hráze nad IB by byl upraven tvar hráze, z navrhované lavičky by v případě nutnosti bylo umožněno dotěsnění podloží při částečném vypuštění nádrže při minimalizaci jalového převrtávání hráze.



Obr. 5 Profil s IB a masivním jádrem. Mobilizace smykových pevností [12].

Varianta s IB (Obr. 5) byla vyhodnocena jako nejvhodnější a byla doporučena k dalšímu rozpracování. I zde jsou sice predikovány vodorovné a svislé relativní posuny na dilatační spáře mezi křídlem a ICH avšak jejich velikosti (4 a 16 mm) jsou zvladatelné běžnými technickými opatřeními a těsnicí jádro se neporuší. Nežádoucí svislá smyková plocha nevzniká, významnější změny napjatosti jsou omezeny na první metr mocnosti jádra a hodnoty maximálního smykového přetvoření v řádu 5-10 % nesahají výše než cca 0,2 m nad dilatační spáru.

Pro variantu s injekčním bločkem (dle Obr. 5) byly dokončeny stabilitní analýzy, analýzy proudění pod hrází a další sdružené úlohy. Posouzení stability bylo provedeno metodou redukce smykových parametrů. Stabilita hráze pro běžný zatěžovací stav (transformace TPV₁₀₀ s řízeným prázdňením) odpovídá hodnotě $F_S=1,6$ (normová hodnota min. 1,5). Pro mimořádné

zatížení odpovídající transformací $TPV_{10\,000}$ s navazujícím havarijním prázdňením pak bylo dosaženo $F_s=1,5$ (normová hodnota min. 1,1).

6 OVĚŘENÍ EKONOMIKY NÁVRHU

Projektant sestavil rešerši možných zdrojů materiálu pro jednotlivé zóny hráze. Následně provedl místní šetření v lomech a pískovnách a konzultace s jejich provozovateli s cílem ověřit dostupnost materiálů v období výstavby, jejich cenu a ze vzorků i základní vlastnosti. Po vyhodnocení informací bylo provedeno technickoekonomické vyhodnocení nákladů na nákup, přepravu, manipulaci a uložení násypových materiálů z externích zdrojů i z lokality VD. Z analýzy vyplynula jednoznačná správnost koncepce s masivním jádrem hráze, neboť maximalizace využití místních materiálů vede k úspoře nákladů v řádu desítek milionů Kč.



Obr. 6 Vizualizace VD Kryry – začlenění nádrže, hráze a souvisejících staveb do krajiny [16]

7 SHRUTÍ

VD Kryry bude nádrží fungující ve vodohospodářské soustavě s předpokladem převodu vody z řeky Ohře, způsob zajištění požadavků na funkci potvrdilo vodohospodářské řešení nádrže. VD je však umístováno v složitých geologických poměrech. Míra jejich poznání je v současnosti ještě omezená a je jisté, že výsledky navazujících etap IG průzkumu vstupní informace pro návrh zpřesní. I přesto se autoři domnívají, že obtížné IG poměry je nutné přijmout jako fakt a další stupně průzkumu nepřinesou podstatní zlepšení podmínek a nelze tedy ani očekávat diametrální zlepšení chování podloží a hráze.

Návrh hlavních objektů VD Kryry představoval proces, kdy v postupných krocích bylo hledáno vhodné uspořádání hráze a funkčních objektů vyhovující místním podmínkám, zajišťující proveditelnost a budoucí bezpečný provoz VD. Zároveň byl kladen důraz na ekonomiku řešení. Výše prezentovaný návrh hráze s masivním jádrem a injekčním blokem uvedeným podmínkám vyhověl. Rozbor výsledků poukázal na i další aspekty, jimž je třeba věnovat zvýšenou pozornost v navazující projektové přípravě. Pozornost bude třeba soustředit na

problematiku sedání odpadní chodby, chování jádra na kontaktu s betonovými konstrukcemi, členění na dilatační celky apod. Vhodnou organizací výstavby lze do značné míry důsledky sedání zmírnit. Tato opatření projektant zahrnul do navrženého řešení [11] a do doporučení pro další pokračování projekčních prací. Při respektování specifík, které místní obtížné podmínky přináší bude možné realizovat funkční a bezpečné VD Kryry.

PODĚKOVÁNÍ

Autoři příspěvku si dovoluují touto cestou poděkovat za spolupráci všem partnerům, kteří se podíleli a podílejí tomto projektu. Velký dík patří zpracovatelům průzkumu, posudků, konzultantům, i pracovníkům investora a TBD, tedy všem, kdo přispěli k hledání vhodné koncepce pro VD Kryry.

LITERATURA

- [3] *Geologický průzkum Praha, závod Stavební geologie, Hanuš, L. Zpráva o inženýrskogeologickém průzkumu pro vodní nádrž na Podvineckém potoce u Kryr. 1959.*
- [4] *Sweco Hydroprojekt a.s., VRV a.s., Studie proveditelnosti vodní nádrže Kryry na Podvineckém potoce, 11/2017*
- [5] *VRV a.s., Investiční záměr – vodní dílo Kryry, 11/2019.*
- [6] *AQUATIS a.s., AZ Consult, VD Kryry – předprojektová příprava (PP) – generální projektant (GP), C.2.3.1 Zpráva o vrtných pracích vč. vyhodnocení č. 3.1 – průzkum hráze a objektů hráze, 11/2022 a C.2.6.1 Závěrečná zpráva GT průzkumu pro VD Kryry, 03/2023.*
- [7] *AZ Consult, Návrh geotechnických parametrů, 08/2023.*
- [8] *Ing. Bradáč, VD Kryry – komentář k parametrům pro stabilitní výpočet a doporučení, 08/2023.*
- [9] *AQUATIS a.s., RNDr. Moric, Porovnání geotechnických vlastností holocenních sedimentů v údolí Podvineckého a Mlýneckého potoka, 08/2023.*
- [10] *AQUATIS a.s., Ing. Ryšavá, Ing. Švancara, VD Kryry – PP – GP, Stabilitní analýzy a navazující možné úpravy technického řešení, shrnutí současného stavu poznání. Pracovní podklad, 09/2023.*
- [11] *AQUATIS a.s., RNDr. Ivo Hladík, Ph.D., VD Kryry PP – GP, C.2.5.2.1 Etapová zpráva posouzení stability navrženého tělesa hráze) – etapa 1, 01/2024.*
- [12] *AQUATIS a.s., RNDr. Ivo Hladík, Ph.D., VD Kryry – PP – GP, C.2.5.2.2 Etapová zpráva posouzení stability navrženého tělesa hráze – etapa 2, 04/2024.*
- [13] *AQUATIS a.s., VD Kryry – předprojektová příprava – generální projektant, D.1.2 Zpracování závěrečné zprávy 2. fáze Studie technického řešení VH objektů, 05/2024.*
- [14] *Podklady k sedání hráze VD Vidhostice, poskytnuto investorem a Vodními díly TBD a.s, 08/2023.*
- [15] *Podklady k sedání hráze VD Nechanice, poskytnuto investorem a Vodními díly TBD a.s. 07/2023.*
- [16] *AQUATIS a.s., Ing. Michal Karbáč, VD Kryry – PP – GP, H.1 Statické vizualizace, 04/2024.*

AUTOŘI

Autor1: Ing. Markéta Ryšavá, AQUATIS a.s., Botanická 56, 602 00 Brno, Česká Republika, marketa.rysava@aquatis.cz

Autor2: RNDr. Ivo Hladík, Ph.D., Přecechtělova 2429, 155 00 Praha, Česká Republika, ivo.hladik@cbox.cz

Autor3: Ing. Jiří Švancara, AQUATIS a.s., Botanická 56, 602 00 Brno, Česká Republika, jiri.svancara@aquatis.cz

VD VLACHOVICE – PŘÍPRAVA VÝSTAVBY VODÁRENSKÉ NÁDRŽE VE 21. STOLETÍ

VLACHOVICE RESERVOIR – WATER-SUPPLY RESERVOIR CONSTRUCTION PROJECT IN 21ST CENTURY

Prokop Galatík¹, Dita Vávrová², Martin Havlík³

Abstrakt: V České republice je 47 vodárenských nádrží. Poslední z nich – Boskovice – byla dokončena v roce 1990 a je současně jednou ze čtyř vodárenských nádrží vybudovaných v 80. letech 20. století. Časové období, které uplynulo od jejího zprovoznění, představující odstup mezi výstavbou dvou vodárenských nádrží, je tak nejdélší od začátku 20. století. Hlavním účelem vodárenské nádrže je zajištění odběru vody pro úpravu na vodu pitnou. To vyžaduje na rozdíl od přípravy jiných staveb specifický přístup. Jedná se multidisciplinární úlohu, kde se spolu setkávají požadavky na bezpečnost, optimální technické řešení, zapojení v rámci životního prostředí, společenské aspekty a celá řada dalších potřeb. Komplexní přístup ve fázi přípravy spočívá na rozdíl od minulosti zejména v přípravě území a opatření pro zlepšení a stabilizaci kvality vody na přítocích do nádrže. Současně je pozornost věnována také budoucímu stavu ve fázi provozu vodárenské nádrže s ohledem na klimatickou změnu, požadavky na ochranu životního prostředí, okolní obce a jejich obyvatele, místní, zejména geologické podmínky a další požadavky. Vzhledem k časovému odstupu od dřívějších realizací vodárenských nádrží, současné úrovni technických znalostí, ale i kvůli změně politických poměrů a společenské situace, musí investor Povodí Moravy, s.p. nově vytvářet postupy, které tyto změny zohlední a povedou k vytvoření nového spolehlivého vodního zdroje.

Abstrakt: There are 47 water-supply reservoirs in Czech Republic. Last of them – Boskovice – was finished in 1990 and is one of four water-supply reservoirs build in 80s of 20th century. Time period from its opening, meaning interval between building two water dams, is therefore longest from the beginning of the 20th century. The main purpose of the water-supply reservoirs is to ensure the water inlet for treatment into drinking water. Compared to the preparation of other constructions, this requires a specific approach. It is a multidisciplinary task, where requirements for safety, optimal technical solutions, involvement in the environment, social aspects and a whole range of other needs meet together. A comprehensive approach at the preparation stadium compared of past consists mainly of preparation of the territory and arrangements to improve and stabilize the water quality at the inflows to the reservoir. At the same time, there is an attention to the future state during functioning of the water-supply reservoir considering climate change, environment preservation requirements, surrounding municipalities and their inhabitants, local, especially geological conditions and other requirements. Due to the time gap since the earlier realizations of water-supply reservoirs, current level of technical knowledge, but also due to the change in political conditions and the social situation, the investor Povodí Moravy, s.p. forms new procedures including these changes leading to the building of a new reliable water source.

1 ÚVOD

Výsledkem činností, které jsou v souvislosti s přípravou a navazující výstavbou VD Vlachovice (dále VDV) prováděny, bude vytvoření nového spolehlivého zdroje povrchové vody pro úpravu na vodu pitnou. Jeho význam spočívá především ve schopnosti doplnit stávající zdroje vody v širší zájmové oblasti, kterou představuje území Zlínského kraje. Hlavního účelu bude dosaženo prostřednictvím vytvoření nové vodárenské infrastruktury včetně propojení nejvýznamnějších skupinových vodovodů. Víceúčelové využití této nádrže bude spočívat také

v protipovodňové ochraně sídel ležících podél řeky pod uvažovanou nádrží. Dalším zásadním účelem nádrže je nadlepšování nízkých přirozených průtoků pro zajištění nezbytných ekologických funkcí toku Vlárky v období sucha.

Na základě provedených analýz se nedostatek vody může projevit už ve střednědobém horizontu, přičemž snaha o přípravu záměru VD Vlachovice v souladu s celostátními strategickými dokumenty zajistí zvýšení připravenosti České republiky na změnu klimatu – snížit zranitelnost a zvýší odolnost společnosti a ekosystémů vůči změně klimatu a omezí tak její negativní dopady.

Národní akční plán adaptace na změnu klimatu, který je implementačním dokumentem Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách České republiky ([1]), uvádí pokračování v přípravě realizace víceúčelových vodních nádrží s prokázanou účelností ve vztahu k adaptaci na změnu klimatu při respektování jiných veřejných zájmů jako jedno z adaptačních opatření, které má vést k vytvoření nového zdroje v oblasti s prokázaným nedostatkem vody. Investorem je na základě usnesení vlády Povodí Moravy, s.p. (dále PM).

Z ustálené koncepce technického řešení na základě dokončené předprojektové přípravy ([2]) se v případě vodního díla Vlachovice bude jednat o nádrž o celkovém objemu 29,12 mil. m³, kdy objem zásobního prostoru bude 23,16 mil. m³ a objem retenčního prostoru 3,91 mil. m³. Bude tak zajištěna ochrana území pod nádrží před povodněmi až na úroveň Q₁₀₀. Maximální hladina bude na kótě 390,00 m n. m. Plocha povodí včetně převodů vody z povodí Sviborky a Smolinky bude 61,7 km². Přehradní profil je umístěn nad obcí Vlachovice ve vzdálenosti 550 m nad soutokem Vlárky a Sviborky. Koruna hráze je navržena na kótě 392,00 m n. m. a má výšku nad terénem 42 m.

Specifika vyplývají z hlavního účelu, kdy je nutné věnovat patřičnou pozornost veškerým skutečnostem, které by mohly mít negativní vliv na kvalitu vody v připravované nádrži. Nové zkušenosti spočívají v koordinaci veškerých činností, které mají zajistit, že požadovaný plánovaný budoucí stav bude dosažen. Vzhledem k pokročilé fázi projektové přípravy, kdy jsou již dokončeny zásadní podkladové studie pro posouzení vlivu na životní prostředí (EIA a podklady pro IGP) je nyní možné se podrobně věnovat tomu, jakým způsobem budou realizována technická a organizační opatření ve fázi výstavby a provozu vodního díla.

Předmětem příspěvku není předložit manuál k postupu přípravy vodárenské nádrže, ale nastínit kterými oblastmi se tato činnost zabývá a do jaké šíře se jim musí věnovat. V neposlední řadě jsou pak stručně uvedeny aktuální informace o postupu přípravy.

2 SOUVISLOSTI A VAZBY PODMÍNĚNÉ PROSTŘEDÍM

Celá řada skutečností v prostředí, kam je vodní dílo umístěováno je předem dána. Hlavním úkolem investora je zajistit, aby bylo v dostatečné míře toto prostředí popsáno a na základě toho také předvídat, k čemu může výstavbou vodního díla dojít.

Význam má zajištění všech dostupných informací o zájmovém území. Z nejvýznamnějších je to inženýrsko-geologický průzkum (dále IGP), který je zcela zásadně určující pro technický návrh hráze a zakládání staveb. Realizované studie přinesly zjištění o povodí na základě provedených analýz – monitorovací kampaň pro kvalitu vody. V analytických částech se projektanti věnovali prověřování stávajících vodních zdrojů s ohledem na jejich kvalitu, a vydatnost včetně výhledu ve střednědobém až dlouhodobém horizontu. Proběhla analýza erozní

ohroženosti půdních bloků v povodí. Pokud připustíme, že životní prostředí je tvořeno fyzikálními a přírodními aspekty, do nichž lze zařadit zjišťování skutečností popsaných výše, dále socioekonomickými aspekty, pak poslední skupinu tvoří ekologické aspekty ([3]). Ve vztahu ke složkám životního prostředí, které náleží mezi tyto aspekty pak musí být věnována řádná péče ochraně přírody, čímž se myslí provedení specializovaných průzkumů, hodnocení a studie věnované například možnému vlivu vodního díla na migraci terestrických, vodních i na vodu vázaných živočichů, splaveninové studie a další.

Mimo toho v okolních obcích neustále probíhá rozvoj, opravy, stavební činnost a realizace dalších jiných záměrů. Koordinace v území proto spočívá v prověření, jakou vazbu mohou mít připravované stavby a záměry ostatních subjektů. Je potřeba na ně však nahlížet z perspektivy budoucí vodárenské nádrže a s ní souvisejících ochranných pásem vodního zdroje včetně dalších plánovaných částí záměru a souvisejících celků, staveb a opatření. Je tedy vhodné vydat příslušná doporučení a požadavky. Uvedená činnost představuje například posuzování stávajících kanalizací a ČOV, plánovaných investic na úrovni obcí a kraje, kdy některé mohou mít dokonce dopad na navrhované technické řešení. Platí to pro zmíněné kanalizace v obcích, kdy s ohledem na zásadní význam pro kvalitu vody ve vodárenské nádrži PM zajišťuje projektovou dokumentaci, a to včetně dokumentace pro provádění stavby, kterou následně předá svazku obcí. Vyžaduje to ale komplikovaná jednání se starosty obcí i jednotlivými vlastníky spojené s řadou veřejných jednání s občany.

Vhodným nástrojem je využívání GIS. Celá řada koncepcí a informací o území jsou také k dispozici jako otevřená data, ostatní byly zjištěné v rámci předprojektové a projektové přípravy. Sledování a porozumění vazeb pomáhá zobrazení příslušných podkladů v rámci různých analýz o částech přípravy záměru nebo jeho jednotlivých opatřeních.

3 CO VYŽADUJE PŘÍPRAVA VODÁRENSKÉ NÁDRŽE

V souvislosti s přípravou Vodního díla Vlachovice věnuje PM velkou pozornost kvalitě vody přitékající do nádrže. Aby byly splněny přísné požadavky na kvalitu vody ve vodárenské nádrži, je třeba provést taková opatření, aby obce v povodí nádrže měly vyřešené nakládání s odpadní vodou a bylo zajištěno její čištění. Na základě předchozích studií a vyhodnocení monitorovací kampaně byla navržena oddílná kanalizace, přičemž projektant má za úkol řešit ji až k jednotlivým nemovitostem. Přímo s vlastníky jsou projednávány přípojky u cca 1400 domů. Dojde tak k vybudování nových oddílných kanalizací v dotčených obcích, odvedení a vyčištění splaškových vod zcela mimo povodí nádrže. Tato opatření spolu s opatřeními přírodě blízkými zaručí i v dlouhodobém horizontu vysokou kvalitu vody ve vodárenské nádrži.

Projekční příprava představuje soubor projekčních a průzkumných prací, inženýringu a odborné zajištění všech nezbytných podkladů potřebných pro vydání povolení záměru.

Od října 2022 průběžně probíhají průzkumné práce v zájmových lokalitách na územích dotčených obcí. Vzhledem k požadavku úzce koordinovat průzkumné a projekční práce je IGP součástí díla jehož předmětem je zajištění povolení záměru. Prováděnými činnostmi je monitorován a posuzován stav v budoucím profilu hráze vodního díla, dále v místě navrhovaných převodů vody z povodí Sviborky a Smolinky, náhrady komunikace, která bude vybudována místo silnice III. třídy procházející budoucí zátopou. Důležitým celkem při průzkumných činnostech je analýza svahových nestabilit, jejichž identifikace bude mít za cíl minimalizovat kritická místa v zájmové oblasti, tak aby bylo sníženo riziko vzniku jakýchkoliv

materiálních škod. Předmětem průzkumů jsou také místa dotčených dopravou materiálů do prostoru staveniště, úpravny vody a obslužných komunikací kolem VD.

Průběžně probíhají setkání se zástupci místních samospráv, kdy PM prezentuje dílčí výstupy a projednává místní specifika jednotlivých obcí. Povodí VDV je na dvanácti k.ú. Související technická opatření zasahují i na území dalších k. ú. Projednávání je vždy nutné přizpůsobit lokálním poměrům, protože stav veřejné infrastruktury a požadavků ze strany obcí se liší. Je tak nutné řešit například detail přepravy materiálu na výstavbu hráze okolo centra obce, přeložku technologie odběru vody z toku pro zasněžování místního lyžařského svahu a další neobvyklé výzvy.

Obce, Zlínský kraj a PM v přípravě vodního díla Vlachovice úzce spolupracují. PM zástupce obcí a kraje o postupu přípravy informuje a projednává jejich podněty, připomínky, které následně řeší. Obce svá stanoviska předložily v průběhu dosavadních jednání a jejich podněty v rámci doprovodných a kompenzačních opatření byly zapracovány v předprojektové přípravě do technické studie, která je rozpracovávána projektovou přípravou. Konzultace a připomínkování probíhá také v dalších etapách přípravy, například k přírodě blízkým opatřením, dopravní obslužnosti a dalším plánovaným aktivitám. Hlavní parametry všech připravovaných celků Vodního díla Vlachovice včetně plánu organizace výstavby přehrady, především z hlediska dopravy materiálů na výstavbu hráze, byly představeny také na veřejných jednáních s občany v dotčených obcích.

Z hlediska zajištění povolení stavby je zásadní oblastí soulad s územně plánovací dokumentací. PM tak ve spolupráci se Zlínským krajem řeší aktualizaci Zásad územního rozvoje, vyjadřuje se ke změnám územních plánů, vyvolané změny územních plánů pro kanalizaci v obcích a plánů rozvoje vodovodů a kanalizací dokonce pro obce zajišťuje.

Všechna adaptační opatření vyplývající z plnění úkolů akčního plánu musí být realizována v souladu s platnou právní úpravou, musí projít standardním schvalovacím procesem a zohledňovat předměty ochrany zvláště chráněných území a cíle ochrany těchto území. Při návrhu a povolování záměru je zohledňováno respektování cílů ochrany lokalit soustavy Natura 2000.

Komunikace se subjekty hospodařícími v dané oblasti je důležitá, proto že využívají značnou část pozemků okolo vodního díla. PM předává veškeré aktuální relevantní informace a podklady. Řeší dotčení pozemků, možnosti nakládání s orníci při výstavbě vodního díla a informuje o navržených protierozních opatřeních pro ochranu ZPF.

4 AKTUÁLNÍ INFORMACE O POSTUPU PŘÍPRAVY

4.1 Povolení záměru včetně posouzení vlivu na životní prostředí

Projektová příprava byla zahájena na konci července 2022. Předcházelo jí zadávací řízení pro výběr zhotovitele prací souvisejících s dokumentací pro povolení záměru VD Vlachovice včetně průzkumných prací jako je inženýrskogeologický průzkum, doplnění geodetického zaměření, nezbytné studie a dokumentace pro posouzení vlivu záměru na životní prostředí – EIA. Projektová dokumentace, zejména s ohledem možný vliv na životní prostředí řeší celou řadu oblastí. PM s ohledem na dílčí výstupy vyhodnocení koncepce aktualizace zásad územního rozvoje Zlínského kraje zadalo jako součást projektové přípravy provedení některých specializovaných studií. Konkrétně například studie vlivu na sekavčíka horského, studie

migrační a další. Dokončení projekčních prací se předpokládá v roce 2025, kdy by mělo být vydáno pravomocné povolení záměru.

4.2 Kanalizace v obcích

V rámci zadávacího řízení byli vybráni zhotovitelé, kteří zpracovávají projektovou dokumentaci pro stavební povolení a projektovou dokumentaci pro provádění stavby splaškové kanalizace v dotčených obcích včetně čištění odpadních vod. Jedná se o odkanalizování celkem devíti obcí či místních částí. Zakázka je podle technického řešení a umístění v území členěna na čtyři části.

Návrh trasy páteřní kanalizace byl dokončen a předložen obcím na začátku roku 2024, projekt pro stavební povolení včetně kanalizačních přípojek by měl být dokončen do poloviny roku 2025. Dokumentace pro provádění stavby, na základě které bude v rámci veřejné zakázky vybrán zhotovitel realizace, by měla být k dispozici do konce roku 2025.

Projekční a průzkumné práce na návrhové části kanalizace v obcích probíhají podle harmonogramu. Ve všech dotčených obcích proběhla i opakovaná veřejná projednání s občany, kde jim byl představen plánovaný harmonogram prací při přípravě splaškové kanalizace a navrhované technické řešení. V obcích probíhá pasportizace zdrojů splaškových vod včetně nakládání s nimi. V rámci zajištění podkladů k návrhové části kanalizace probíhá také geodetické zaměření, na které postupně naváže inženýrsko-geologický průzkum.

4.3 Přírodě blízká opatření

V roce 2021 byla dokončena projektová dokumentace pro společné povolení stavby. Nyní probíhá zajištění majetkového vypořádání. Projekty přírodě blízkých opatření, která se podaří majetkoprávně vypořádat, budou předány na stavební úřad s žádostí o povolení záměru (stavby). Realizace stavebně povolených přírodě blízkých opatření je plánována v letech 2025 až 2028. Jejich realizace má vliv na stanovení ochranných pásem vodního zdroje, protože na základě výsledků analýzy území a také stavu realizace PBO bude možné nastavit další nutná omezení pro nový vodárenský zdroj.

4.4 Územně plánovací dokumentace

Pokračovalo projednávání aktualizace č. 3 Zásad územního rozvoje Zlínského kraje (ZÚR ZK) s dotčenými orgány, zejména AOPK a MŽP. V průběhu roku 2024 pak proběhne proces SEA k projednání aktualizace. Na postup v zajištění souladu ZÚR ZK s Politikou územního rozvoje, která byla kvůli VD Vlachovice mimořádně aktualizována mělo vliv projednávání trasy pro přepravu materiálu. Navrhované řešení, které přinesla Logistická studie ([4]) nebylo schůdné kvůli střetům se zájmy ochrany přírody, které hájí AOPK.

Pro navrhované kanalizace v obcích probíhá příprava změn územních plánů, tak aby odpovídaly navrženému řešení. Již v roce 2021 zajistilo PM aktualizaci Plánu rozvoje vodovodů a kanalizací Zlínského kraje, takže obsahuje v části zásobování vodou stav budoucího výhledu včetně VD Vlachovice. V části kanalizace se jedná o uvedení souladu s navrženou koncepcí. V některých obcích bude provedena změna PRVK dle aktuálního návrhu v roce 2024.

4.5 Majetkoprávní vypořádání

Na základě vydaného Usnesení vlády č. 257 z roku 2019 probíhá od roku 2020 majetkoprávní vypořádání nemovitostí v prostoru vodního díla vč. jeho zátopy. Aktuálně je vypořádáno přes 90 % všech dotčených pozemků. To představuje 642 mil. Kč z celkových 705 mil. Kč. Majetkoprávní agenda bude probíhat také v roce 2024. Jedná se o cca 650 vlastníků a více než 6000 pozemků a nemovitých věcí včetně třinácti rodinných domů a rekreačních objektů. Uvedené stavby jsou až na jednu již ve vlastnictví ČR s právem hospodařit pro PM.

Dotčení vlastníci jsou oslovováni přímo zaměstnanci PM. Probíhá vyhotovování geometrických plánů pro dělené pozemky. Zadávání a zpracování znaleckých posudků, kdy na každém pozemku probíhá místní šetření pro zjištění stavu porostů a pozemku samotného. Následně jsou vedena jednání s vlastníky. Je nutné vysvětlovat stanovené podmínky majetkoprávního vypořádání na základě pravidel schválených usnesením vlády.

5 ZÁVĚR

Celá řada příspěvků na odborných konferencích se zabývá problémy na vodních dílech a věnuje se kvalitě vody v nádržích. Abychom v budoucnu problémy omezili a mohli být svědky výstupů, které po dokončení VD Vlachovice přinesou pozitivní zpětnou vazbu na navržené vodní dílo a související stavby a opatření, je nutné číst pozorně v publikovaných textech s vděčností k jejich autorům, protože především díky sdílení zkušeností je možné už v zárodku připravit předejít problémům do budoucna.

SEZNAM LITERATURY

- [1] MŽP (2021): *Národní akční plán adaptace na změnu klimatu*, Praha, 279 s.
- [2] AQUATIS a.s. (2020): *Vlára, VD Vlachovice – předprojektová příprava, technické řešení*, Brno.
- [3] ČVUT, VUT, AV ČR (2021): *Multikriteriální analýza hodnocení variant VD Skalička*, Praha, Brno a České Budějovice, 135 s.
- [4] ČVUT v Praze Fakulta dopravní, Ústav dopravních systémů (2021): *Vlára, Vodní dílo Vlachovice – Logistická studie přepravy materiálu*, Praha.
- [5] MZe (2021): *Generel LAPV*, Praha, 153 s.

AUTOŘI

Autor 1: Ing. Prokop Galatik, Povodí Moravy, s.p. Dřevařská 11, 602 00 Brno, Česká republika, galatik@pmo.cz

Autor 2: Ing. Dita Vávrová, MBA, Povodí Moravy, s.p. Dřevařská 11, 602 00 Brno, Česká republika, vavrova@pmo.cz

Autor 3: Ing. Martin Havlík, Povodí Moravy, s.p. Dřevařská 11, 602 00 Brno, Česká republika, havlikm@pmo.cz

VD VLACHOVICE – PROJEKČNÍ PŘÍPRAVA

VLACHOVICE DAM – DESIGN PREPARATION

Daniel Brázda¹, Jiří Švancara²

Abstrakt: Vodní dílo Vlachovice (VDV) na řece Vláře je připravováno jako zdroj vody pro zásobování obyvatelstva pitnou vodou. Společnost AQUATIS a.s. jako vedoucí sdružení zhotovitelů zajišťuje a koordinuje pro investora Povodí Moravy s.p. projekční přípravu souboru staveb vodního díla, proces EIA a další podklady a činnosti směřující k povolení stavby. Na projekční přípravě se podílí další členové sdružení, v dopravní části Dopravoprojekt Brno a.s. a v oblasti inženýrskogeologického průzkumu GEOTest a.s. a také řada dalších expertů. Předkládaný příspěvek obsahově navazuje na samostatný článek investora věnující se celkové koncepci záměru VDV a stavu jeho přípravy. Rozsah příspěvku neumožňuje podat vyčerpávající informaci o všech liniích přípravy. Článek podává základní informace o koncepci vodního díla a jeho předpokládaných efektech dle vodohospodářského řešení a prognóz budoucího vývoje potřeb vody i vývoje klimatu. Podává informaci o sledované koncepci přehradní hráze a funkčních objektů a dalších součástí záměru. Je zmiňován vliv zastížených inženýrskogeologických poměrů z výsledků probíhajících průzkumných prací a jsou uvedeny některé souvislosti z pohledu ochrany životního prostředí a podmínek pro zajištění kvality vody v nádrži.

Abstract: The Vlachovice Dam (VDV) on the Vlára river is being prepared as a source of drinking water for population of the region. The company AQUATIS a.s., as the head of the contractors' association, ensures and coordinates design works regarding the project, the EIA procedures and other documents and activities aimed at building permits of the dam for the investor Povodí Moravy s.p. Other members of the association participate in the design of the transport part (Dopravoprojekt Brno a.s.) and in the field of geological survey (GEOTest a.s.) and also a number of other experts is involved. The content of the submitted contribution follows on from a separate article by the investor focused on the overall concept of the Vlachovice Dam project and its the present state. The scope of the contribution does not allow to provide detailed information about all the lines of preparation. This contribution provides basic information about the concept of the VDV project and its expected effects resulting from the water management analysis and prediction of the future development of water needs and climate changes. It provides information about the actual dam arrangement including its objects and facilities. The influence of the geological conditions is mentioned considering the results of ongoing survey. Relationship with environmental issues and conditions for good water quality in the reservoir are given.

1 ÚVODEM

Po řadě let má v České republice (ČR) vzniknout nová vodárenská nádrž - vodní dílo Vlachovice (dále VDV) na řece Vláře. VDV umožní posílit zásobování Zlínského kraje pitnou vodou prostřednictvím propojených vodárenských systémů a zvýší jejich spolehlivost i v období víceletého sucha. Vodní zdroj s takovouto schopností v regionu doposud chybí. Nádrž se má rovněž stát novým spolehlivým zdrojem pitné vody pro nejbližší obce. S respektováním hlavního účelu vodního díla se počítá i s rozvojem rekreačních a volnočasových aktivit v krásném přírodním prostředí, jehož se vodní dílo stane součástí.

Příprava záměru jako je VDV je multidisciplinární úloha, kde se potkávají požadavky na funkci, bezpečnost VD, optimální technické řešení, ekonomičnost návrhu, zapojení záměru do území a životního prostředí i řada dalších aspektů a potřeb. Základní informace o rozsahu záměru přináší další samostatný článek věnovaný přípravě VDV (GALATÍK, P. [28]).

V roce 2020 byl dokončen soubor přípravných studií [3], který stabilizoval technickou koncepci připravovaného VDV. Od 05/2022 byla zahájena další fáze přípravy podkladů (odborných studií) souvisejících s procesem EIA. Klíčovými otázkami je problematika ovlivnění režimu sedimentů a potenciální vliv na EVL Vlára až po státní hranici se Slovenskou republikou, zejména předmětu ochrany EVL - sekavčík horský (*Sabanejewia*). Jednotlivé okruhy otázek ve vztahu k ŽP jsou řešeny specializovanými studiemi, viz [6], [6], [6], [6], [6]. Současně probíhají projekční práce s cílem zajistit potřebná povolení stavebního záměru.

2 FUNKČNÍ KONCEPCE VODNÍHO DÍLA

2.1 Nádrž, povodí, hydrologie

Nádrž o celkovém objemu $V_c = 29,12$ mil. m^3 je umístěna v horní části povodí řeky Vlára s plochou nad přehradním profilem $37,5$ km^2 . Po provedených optimalizacích se předpokládá, že přítoky do nádrže budou posíleny raženými tunelovými přivaděči i ze sousedních povodí Sviborky a Smolinky. Průměrný roční průtok (Q_a) samotné Vlára k přehradnímu profilu $0,323$ m^3/s představuje objem průměrného ročního odtoku jen $10,2$ mil. m^3 . Ze statistického zpracování záznamů měření na Vláře byl zaznamenán trend snižování Q_a , při posuzování využitelnosti vodního díla proto nebylo možné pominout úvahy o probíhající klimatické změně. Zásobní prostor nádrže VDV bude představovat $V_z = 23,16$ mil. m^3 . K zajištění cílů ochrany před povodněmi v území pod nádrží bude vymezen retenční prostor $V_r = 3,91$ mil. m^3 .

2.2 Efekty vodního díla a jejich využití

Pomocí optimalizačních postupů byl hodnocen dosažitelný efekt pro variantní velikosti nádrže a různé zapojení sousedních povodí do hospodaření nádrže, přičemž byly hodnoceny různé klimatické scénáře vývoje průtoků od současného stavu až do r. 2085. Data byla strukturována do tří samostatných časových řad vzhledem k jejich časové lokalizaci:

- OBS simulovaná řada pozorovaných údajů v období 1960–2010 se středem v roce 1985; slouží zejm. pro kalibraci modelu;
- CLM2035 simulovaná řada ovlivněná klimatickou změnou a vztažená k období 2010–2060 se středem v roce 2035;
- CLM2085 simulovaná řada ovlivněná klimatickou změnou a vztažená k období 2060–2110 se středem v roce 2085.

Tab. 1 Porovnání dosažitelného celkového nadlepšení VD Vlachovice [l/s] při zabezpečení 100% a 98,5% (včetně převodů).

	100%	98,5%
OBS	0,416	0,432
CLM2035	0,381	0,406
CLM2085	0,301	0,328

Rozbor výsledků simulací ukázal, že nádrž zvažované velikosti má zdůvodnění právě při zapojení převodů ze sousedních povodí a dosahuje vysoké míry vyrovnání. Na podkladu ekonomické analýzy byla dána přednost variantě převodů z horních částí sousedních povodí, které lze provádět gravitačně, bez nároků na energii.

Vodárenské využití VDV bude možné po naplnění nádrže, které (s ohledem na výše uvedené objemy nádrže) může trvat i více roků (pro klimatický scénář CLM2035 podle vodnosti období od 1,5 roku do 4 let). Na základě modelových výpočtů bylo stanoveno zaručené množství vody

pro vodárenské využití na 300 l/s a to i pro různé klimatické scénáře vývoje průtoků v tocích. Pod vodním dílem bude ve dvou etapách budována úpravná vody (viz. Obr. 1), na kterou budou postupně napojovány všechny významné skupinové vodovody na území Zlínského kraje.



Obr. 1 Navrhovaná ÚV situována v prostoru mezi hrází VD Vlachovice a obcí Vlachovice [23]

Vzájemné propojení těchto vodárenských soustav zajistí, že i v dlouhodobém horizontu bude zabezpečeno zásobování obyvatel pitnou vodou, a to i ve víceletých epizodách sucha (jako například v předchozím období let 2014 a 2020).

3 TECHNICKÁ KONCEPCE VODNÍHO DÍLA

3.1 Inženýrsko-geologické poměry

Souběžně s projekčním řešením VDV je prováděna další etapa průzkumu. IG podmínky oblasti přehradního profilu byly zkoumány v rámci několika etap průzkumných prací od počátku 80. let minulého století. Systematický předběžný průzkum byl zajištěn v letech 2018-2020 [20], aktuálně (2022-2025) probíhá podrobný inženýrsko-geologický (IG) průzkum [21].

Horninové prostředí je v oblasti přehradního profilu budováno souvrstvími celkově slabě diageneticky zpevněných sedimentárních hornin magurského flyše, račanské jednotky, reprezentovaných převážně jílovcí až prachovci různé intenzity navětrání. Bylo zjištěno, že v oblasti údolní nivy je horninový masív do hloubky cca 15 m tvořen zvětralými až silně navětralými vápnitými prachovci s polohami jíloveů. Ve svrchních partiích jsou horniny zvětřalé až na prachovitý jíl obsahující hojnou příměs navětralých ostrohranných úlomků matečných hornin. Směrem k bázi masív postupně přechází do silně navětralé zóny, v níž si horniny porušené procesy zvětřávání již uchovávají primární strukturu. V hloubkách od 15-16 m byly průzkumnými vrty zastiženy celkově navětralé až slabě navětralé (R4-R3) poloskalní horniny, reprezentované převážně šedomodrým prachovcem s polohami tmavošedých jílovců až jílovitých břidlic ve flyšovém vývoji. Při vystavení vrtného jádra klimatickým vlivům dochází k jeho rychlému, převážně destičkovitému rozpadu (Obr.2).



Obr. 2 Destičkový rozpad prachovce [21]

Propustnost horninového masívu byla (mimo jiné) testována v rámci injekčního pokusu, provedeného v pravé části údolní nivy. Ve zkoumaném úseku přehradního profilu vykazuje podloží zvýšenou (ne však extrémní) propustnost zóna silně navětralých až zvětralých hornin zasahující do hloubek cca 15 m pod úroveň terénu. Slabě navětralé poloskalní horniny v nižších partiích mají jako celek propustnost relativně nízkou, zvýšené spotřeby vody během VTZ byly pozorovány spíše lokálně. Injekční hmoty mají v tomto prostředí omezenou schopnost průniku, k zajištění těsnosti a filtrační stability podloží bude třeba použít i další specializované postupy. Pro dosažení dokonalého utěsnění povrchových a přípovrchových partií předkvartérního podloží s různorodými geotechnickými vlastnostmi se jako optimální jeví podzemní těsnicí stěna. Její provedení v požadovaném hloubkovém dosahu je možné v údolní části profilu, na svazích však naráží na technologické limity. Těsnění podloží v požadovaném rozsahu bude nutné realizovat kombinací těsnicí stěny a injekční clony.



Obr. 3 Příprava šachtice pro provedení geotechnických zkoušek.

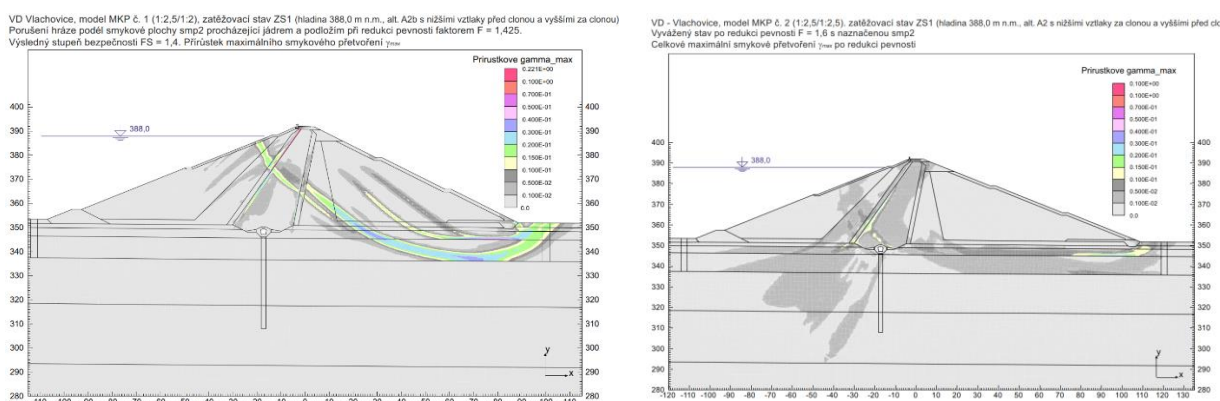
Jedním z úkolů podrobného IG průzkumu v hrázovém profilu [21] je stanovení fyzikálních a mechanických parametrů zastižených materiálů. Větší důraz než v předchozí etapě průzkumu [20] se klade na provedení polních geotechnických zkoušek zkoušek in-situ, cílem je stanovení modulů přetvárnosti a parametrů smykové pevnosti poloskalních hornin (jílovců, prachovců) v podloží hráze. Zkoušky se provádějí v šachticích hloubky cca 6 až 7 m ve dně údolí (předpokládána úroveň založení injekční chodby).

V daných poměrech je perspektivní variantou vzdouvací stavby sypaná zonální hráz, část průzkumných prací se proto soustředila na nalezení materiálů pro její výstavbu. Zatímco materiály pro těsnicí jádro budou zřejmě dostupné v prostoru vodního díla, pro stabilizační zóny hráze nejsou materiály ve vhodné kvalitě a v dostatečném množství dostupné ani v rozsahu vodního díla, ani bližším okolí.

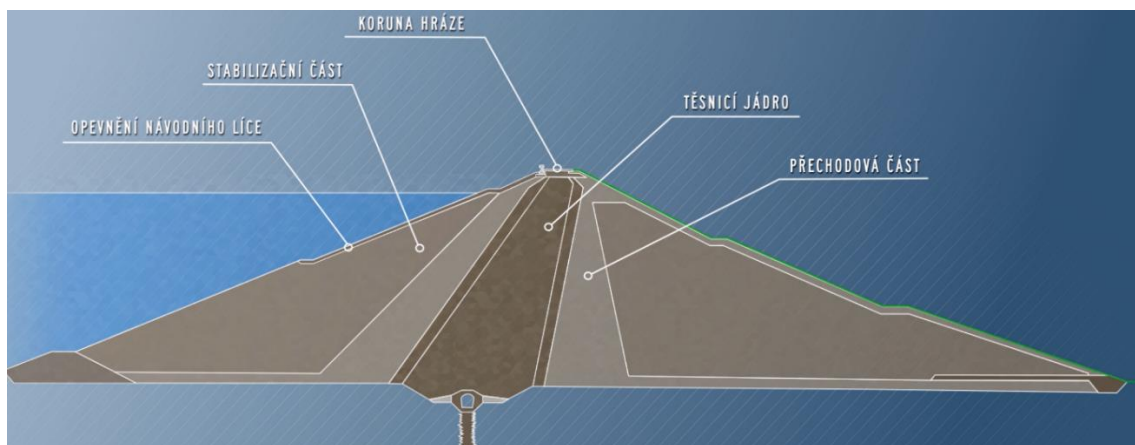
V zájmovém území se nachází poměrně velké množství svahových nestabilit, i této otázce byla věnována významná část průzkumných prací. Celkové poměry je nutné označit za složité.

3.2 Hráz

Návrhy koncepce sypané zonální hráze výšky 42 metrů a délky v ose hráze cca 560 m, jsou prověřovány s využitím strukturálních modelů hráze a podloží MKP. Stabilita samotné hráze by v běžných podmínkách závisela hlavně na vlastnostech materiálů pro stabilizační zóny hráze, přičemž nároky na takové materiály nejsou mimořádné. Provedené výpočtové analýzy (Obr. 4) však ukázaly, že sklon svahů hráze bude předurčen zejména poměry v přípovrchových zcela zvětralých zónách předkvartérního podloží a to jak z hledisek pevnostních, tak přetvárných, Z průběhu kritické smykové plochy vyplynul návrh posunout vzdušný patu hráze cca o 20 m po toku zmírněním sklonu vzdušního svahu z 1:2 na 1:2,5 (Obr. 5).



Obr. 4 Zjištěný nejpravděpodobnější mechanismus porušení hráze a podloží. Obdobné výsledky vedly k přepracování profilu hráze (HLADÍK 2020, součást [3]).



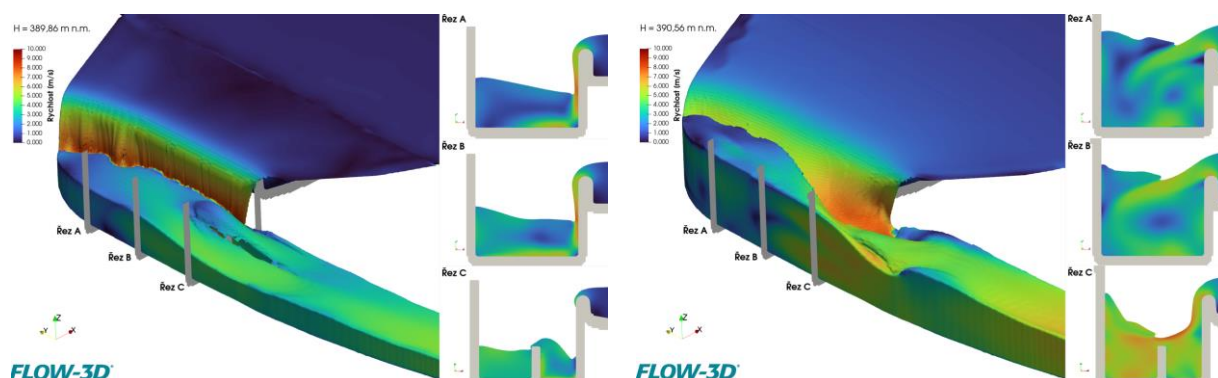
Obr. 5 Příčný profil hráze VD Vlachovice - předběžný návrh [19]

Po dokončení další fáze průzkumů bude profil hráze dále optimalizován a to jak z pohledu bezpečnosti tak z pohledu ekonomického. VDV bude splňovat aktuální standardy bezpečnosti, podle předběžných posouzení se bude jednat o vodní dílo I. kategorie z hlediska TBD.

3.3 Funkční objekty s vývarem

Boční bezpečnostní přeliv a navazující skluz budou umístěny v pravobřežním údolním svahu s ohledem na indicie výhodnějších základových poměrů [20], [21]. Na základě řešení ochranné

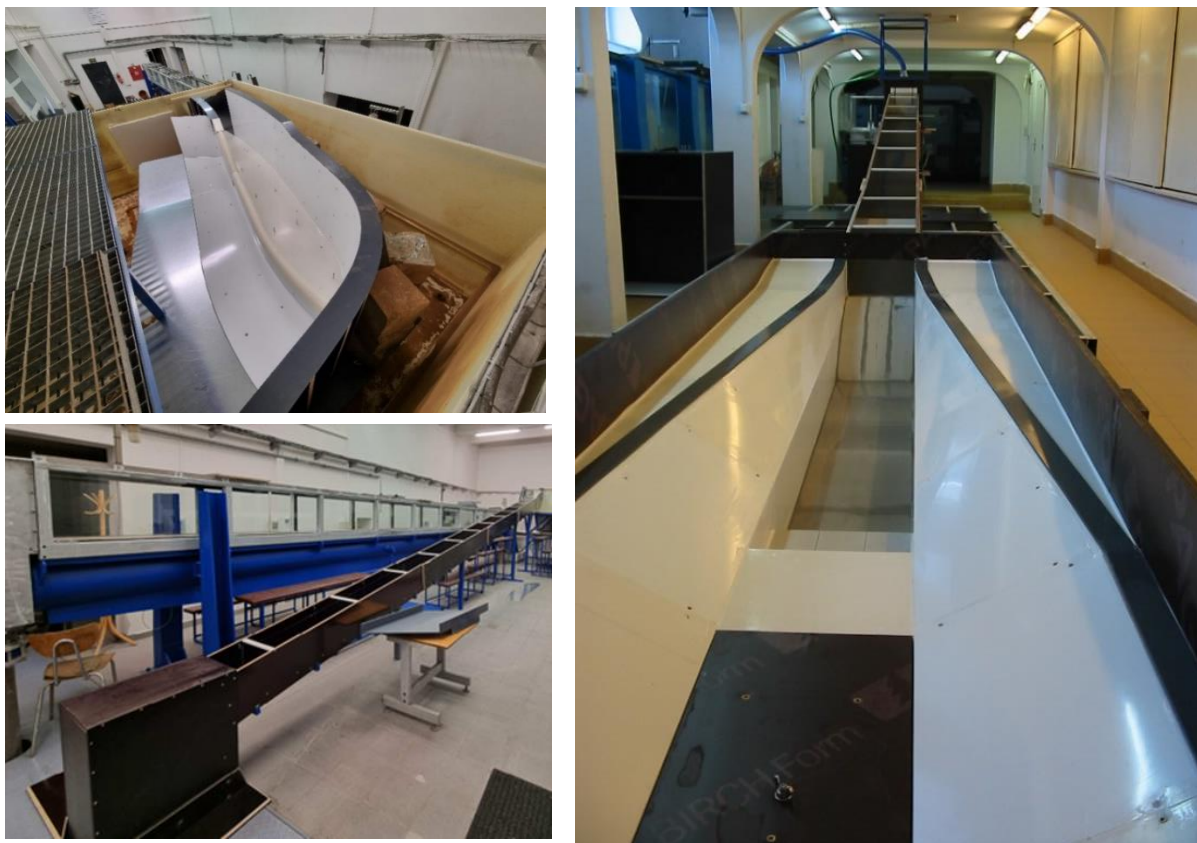
funkce byl s využitím 3D hydrodynamickým modelu (CFD) navržen boční bezpečnostní přeliv se zaoblenou přelivnou plochou o poloměru zakřivení v příčném řezu 0,4 m (Obr. 6). Rozvinutá délka horizontální části přelivné koruny je 15 m, kóta koruny přelivu je 389,00 m n. m. Dno spadiště je vedeno v podélném sklonu 2% k navazujícímu skluzu. Při nominální přepadové výšce 1,6 m má objekt hydraulickou kapacitu cca 60 m³/s což odpovídá průtoku PV_{10 000} po transformaci ochranným prostorem nádrže.



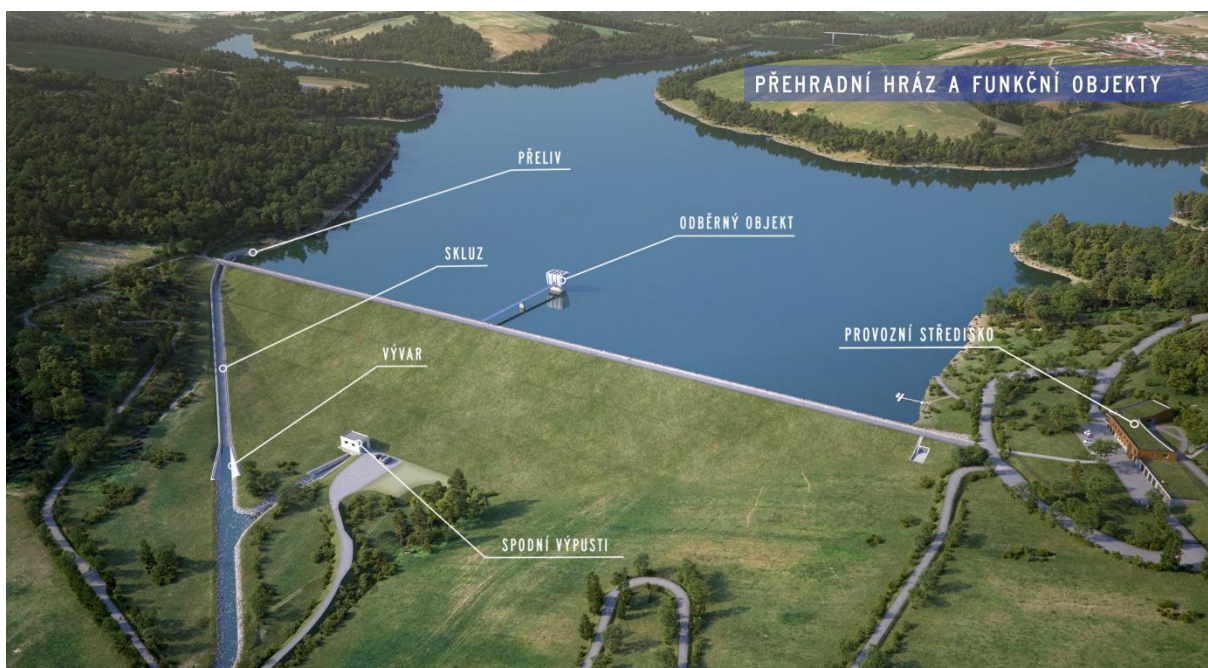
Obr. 6 Hydrodynamický model, $H=389,86$ m n.m., tj. $PV\ 1\ 000_{DET}$ transf
a $H=390,56$ m n.m., tj. $PV\ 10\ 000_{DET}$ transf

Ve dně údolí navazují na skluz vývar a odpadní koryto. Dispoziční a výškové řešení skluzu je navrženo pro bezpečné převedení transformované návrhové $PV\ 1\ 000$ a transformované kontrolní $PV\ 10\ 000$. Vývar je podle posledních zkušeností koncipován odlišně od vývarů jezových, jeho ukončení není řešeno šikmou plochou, ale schodovitě uspořádanou tlumicí stěnou, která má proti dříve užívanému řešení vyšší účinnost. Vývar je dimenzován vzhledem k jeho dostatečné odlehlosti od vzdušní paty hráze na transformovanou $PV\ 1\ 000$, pata hráze není ohrožována. Funkční objekty s vývarem byly následně podrobeny hydraulickému modelovému výzkumu [12] na fyzikálním modelu v dohodnutém měřítku (Obr. 7). Modelové zkoušky potvrdily správnost výpočtových analýz a doporučily některé dílčí úpravy (zkrátit délku vývaru a zvýšit po celé délce úroveň bočních stěn o 0,3 m ...). Po ověření funkčních objektů bylo stabilizováno uspořádání prostoru hráze (Obr. 8). Dalšími součástmi vodního díla jsou mimo jiné:

- provozní středisko s návštěvnickým centrem,
- měření průtoků a sledování kvality vody na přítocích a meteorologické stanice,
- síť obslužných cest pro zajištění provozu vodního díla sloužící současně jako cyklotrasy i přístupy k okolním pozemkům,
- náhrady stávajících zatopených komunikací propojující stávající obce kolem VD Vlachovice, včetně přemostění zátopy vodního díla,
- úpravy v prostoru zátopy vodního díla včetně konců vzduť,
- přeložky a přípojky inženýrských sítí,
- vegetační protierozní pás lemující obvod vodního díla a další.



Obr. 7 Sestava modelu přelivu a skluzu (VUT FAST Brno, součást[12])



Obr. 8 Prostorové uspořádání hráze a funkčních objektů [19]

3.4 Převody vody

Součástí vodního díla v zamýšlené koncepci jsou převody vody ze Smolinky a Sviborky, které budou doplňovat nádrž v období běžných a zvýšených průtoků. Vzhledem k předpokládané nepříznivé geologii se jako ideální realizační metoda jeví klasická ražba hornickým způsobem.

Pro návrh raženého profilu nebudou rozhodující průtočné kapacity (převádění povodňových průtoků do nádrže se nepředpokládá), ale podmínky realizovatelnosti pro zvolenou technologii. Velikost odběrů je omezena požadavkem na zachování minimálního zůstatkového průtoku v tocích pod rozdělovacími objekty, který je na všech tocích Q_{330d} . Maximální možný odběr je dán technickým řešením. Na základě doporučení studie [12] budou upraveny parametry odběrných objektů s důrazem na minimalizaci ovlivnění splaveninového režimu v tocích.

4 DALŠÍ ASPEKTY NÁVRHU

4.1 Splaveniny a jejich prognóza, management, sledování a vyhodnocení

Specializovaná studie [18] provedla rozsáhlou analýzu splaveninového režimu v současném i návrhovém stavu. Transport splavenin a vývoj koryta toku byl posouzen jak z kvalitativního, tak z kvantitativního hlediska. Pro detailní kvantifikaci průtoku splavenin v síti toků byla použita numerická simulace transportu splavenin. Prognóza zanášení nádrže VDV byla provedena z krátkodobého, střednědobého i dlouhodobého hlediska. VDV vytvoří tak velkou nádrž, že prakticky veškeré splaveniny se v nádrži usadí v deltách v zaústění přítoků do nádrže. Rychlost zanášení bude pomalá. Odhad je, že 1 % objemu nádrže se zanechá za cca 144 let (teoretický poločas doby životnosti nádrže je 7 300 let). Analýza nakládání se splaveninami ukazuje, že nejefektivnější způsob managementu je periodická těžba. Bylo doporučeno cca po 50 letech provozu VD provést změřením nánosu v nádrži a vypracovat plán případné těžby.

Komplexní posouzení možnostmi managementu splavenin v rámci provozu VDV jako celku (tedy nejen v rámci vlastní nádrže, ale i odtokového koryta pod hrází a rovněž i v korytech toků s rozdělovacími objekty sloužícími k převádění části průtoku do nádrže) vyhodnotila a posoudila studie [6]. Studie uceleně představuje soudobé metody managementu splavenin spojené se zanášením nádrží a prověřuje možnosti jejich realizace na VD Vlachovice. Z nich vyplývá, že pro případ VDV jsou vhodné pouze metody zmenšování přítoku splavenin do nádrže (úpravy v povodí) a metody odstraňování a přemísťování usazenin. Doporučeny a navrženy byly záchytné objekty splavenin a plávi na přítocích do nádrže. Ve studii byla prověřena a posouzena vhodnost doplňování usazenin do koryta Vlárky pod VDV. V neposlední řadě byly posouzeny rozdělovací objekty pro převádění části průtoku vody do nádrže.

Zřízení nové nádrže s sebou nese změnu průtokového režimu na níže položeném toku. Způsobeno je to transformací zvýšených průtoků nádrží, nevratným odběrem vody, změnou výparu a dalšími. Současně se mění i režim splavenin v toku pod nádrží. Sledováním a hodnocením splaveninového režimu v tocích v povodí Vlárky za současného stavu území (bez VDV) vč. predikce a návrhového stavu území (s VDV) se zabývala studie [13]. To umožnilo vyhodnotit míru ovlivnění splaveninového režimu v úseku evropsky významné lokality Vlára.

4.2 Zajištění kvality vody v nádrži a pod nádrží

Pro potřeby vyhodnocení vlivů, které mohou spočívat ve změnách fyzikálně-chemických vlastností vody po výstavbě a v rámci provozu VD Vlachovice včetně odběrů vody, byla zpracována studie [22]. Posouzení možného ovlivnění proběhlo ve velké šíři parametrů (9 fyzikálně-chemických ukazatelů s 13 statistickými veličinami – minima, maxima, mediány; 3 posuzované hydrologické scénáře a 4 varianty fungování VD Vlachovice, včetně současného stavu). Celkem bylo zpracováno cca 120 výpočtových scénářů popisujících odhad dopadů VDV na dotčené toky. Vyhodnocení vlivu VDV vychází z předpokladu, že bude provedeno důsledné

odvedení veškerých splaškových odpadních vod mimo zdrojové povodí VD Vlachovice. Jedná se o nezbytný předpoklad pro docílení dobré kvality vody ve vodárenské nádrži Vlachovice. Ovlivnění VD Vlachovice v dotčených tocích se projevuje zejména změnou parametrů odtékající vody z VN a hydrologickým ovlivněním. Vodní tok Vlára bezprostředně pod VDV bude plánovaným záměrem silně ovlivněn. Na odtoku z nádrže lze očekávat vodu s nízkým obsahem kyslíku se stálou teplotou kolem 4 °C a na konci léta zvyšující se hodnoty koncentrace N-NH₄. Negativní dopady budou eliminovány souborem opatření, která budou mít mimo jiné za cíl urychlit resaturaci odtékající vody kyslíkem, podpořit prohřátí vody a procesy nitrifikace, odstraňující zvýšené koncentrace N-NH₄. Vlivem nápravných opatření a pod soutokem se Sviborkou a následně i Smolinkou budou negativní jevy již ve velké míře eliminovány. Za soutokem se Smolinkou očekáváme již jen minimální ovlivnění jakosti vody změněnými parametry vody na odtoku z VDV.

Celkové ovlivnění zamýšlenou VN Vlachovice níže po toku lze očekávat s různým dosahem v závislosti na zvoleném parametru a konkrétní výpočtové variantě, ale pod soutokem s Brumovkou (Klobouckým potokem) dle žádného z téměř 120 posuzovaných výpočtových scénářů se již nepředpokládá rozlišitelné ovlivnění jakosti ve vodním toku Vlára.



Obr. 9 Začlenění VD Vlachovice do území. AQUATIS 2021 [22]

5 ZÁVĚR

Významným impulzem pro přípravu bylo období sucha v letech 2014 až 2020, které přineslo v území nemalé komplikace. Potřebu posílení vodních zdrojů si uvědomují jak obce, tak Zlínský kraj, neboť dostatek pitné vody a spolehlivost vodních zdrojů je základním předpokladem dalšího rozvoje území. Investorem vodního díla Vlachovice byl vládou ČR ustanoven státní podnik Povodí Moravy. V území již provádí majetkoprávní vypořádání a činí další nezbytné kroky v přípravě tohoto záměru.

PODĚKOVÁNÍ

Autoři příspěvku touto cestou děkují za spolupráci pracovníkům investora a všem partnerům, kteří se doposud podíleli na přípravě tohoto rozsáhlého projektu.

LITERATURA

- [17] *AQUATIS a.s., Vlára, Vodní dílo Vlachovice – předprojektová příprava, technické řešení, 2020 (soubor studií).*
- [18] *AQUATIS a.s., VUT Brno, FAST, (součást [1]), Posouzení a prognóza splaveninového režimu, 09/2018*
- [19] *AQUATIS a.s., Vlára, Vodní dílo Vlachovice – Videoprezentace, 2021.*
- [20] *GEOtest, a.s., Vlára, Vodní dílo Vlachovice - předprojektová příprava, IG průzkum, 2020.*
- [21] *AQUATIS a.s., GEOtest, a.s., Vlára, Vodní dílo Vlachovice – dokumentace pro povolení stavby, včetně souvisejících činností, průzkumných prací a dokumentace EIA - G1 Průzkumy v přehradním profilu, 10/2022 až 02/2025*
- [22] *AQUATIS a.s., Vlára, Vodní dílo Vlachovice – dokumentace pro povolení stavby, včetně souvisejících činností, průzkumných prací a dokumentace EIA - Návrh a posouzení možnosti eliminace změn fyzikálně-chemických vlastností vody v dotčených tocích, 10/2022*
- [23] *AQUATIS a.s., IN AD, spol. s r. o., Vlára, Vodní dílo Vlachovice – dokumentace pro povolení stavby, včetně souvisejících činností, průzkumných prací a dokumentace EIA - Technická a architektonická studie úpravny vody, 11/2022*
- [24] *AQUATIS a.s., VUT Brno, FAST, Vlára, Vodní dílo Vlachovice – dokumentace pro povolení stavby, včetně souvisejících činností, průzkumných prací a dokumentace EIA - Návrh a posouzení možnosti managementu splaveninového režimu, 02/2023*
- [25] *AQUATIS a.s., VUT Brno, FAST, Vlára, Vodní dílo Vlachovice – dokumentace pro povolení stavby, včetně souvisejících činností, průzkumných prací a dokumentace EIA - Fyzikální modelový výzkum objektů vodního díla, 03/2023*
- [26] *AQUATIS a.s., VUT Brno, FAST, Vlára, Vodní dílo Vlachovice – dokumentace pro povolení stavby, včetně souvisejících činností, průzkumných prací a dokumentace EIA - Sledování a vyhodnocování splaveninového režimu, 07/2023*
- [27] *AQUATIS a.s., Mgr. RADIM KOČVARA, Vlára, Vodní dílo Vlachovice – dokumentace pro povolení stavby, včetně souvisejících činností, průzkumných prací a dokumentace EIA - Studie možného vlivu na sekavčíka horského, 09/2023*
- [28] *GALATÍK, P.: VD Vlachovice – příprava výstavby vodárenské nádrže ve 21. století. Koncept příspěvku pro XXXVIII. Priehradné dni 2024, Starý Smokovec – Vysoké Tatry, 2024*

AUTOŘI

Autor1: Ing. Jiří Švancara, AQUATIS a.s., Botanická 56, 602 00 Brno, Česká republika, jiri.svancara@aquatis.cz

Autor2: Ing. Daniel Brázda, AQUATIS a.s., Botanická 56, 602 00 Brno, Česká republika, daniel.brazda@aquatis.cz

VODNÍ NÁDRŽ NOVÉ HEŘMINOVY NA ŘECE OPAVĚ

NOVÉ HEŘMINOVY RESERVOIR ON THE OPAVA RIVER

Břetislav Tureček

Abstrakt: Povodí Odry, státní podnik jako pověřený investor připravuje vodní nádrž Nové Heřminovy s předpokladem jejího zhotovení v letech 2027 až 2033. Vodní dílo Nové Heřminovy je součástí souboru protipovodňových opatření v povodí horní Opavy podle usnesení vlády České republiky z roku 2008 a navazujících usnesení. Soubor dále obsahuje malé vodní nádrže, úpravy toku Opavy, měřicí stanice a přeložku silnice I/45 kolem zátopy údolní nádrže, kterou připravuje Ředitelství silnic a dálnic.

Příspěvek stručně představuje soubor opatření na horní Opavě, jeho genezi od katastrofální povodně roku 1997 s hodnocením aktuálního stavu jeho přípravy a realizace. Zejména se soustředí na podrobný popis Vodního díla Nové Heřminovy a na jeho hlavní účely, tj. zmírňování extrémních hydrologických jevů (povodní a sucha), na vodohospodářské řešení zásobní funkce připravované nádrže a na představení přírodě blízkých opatření, která kompenzují zásah do údolní nivy toku Opavy.

Abstrakt: The state-owned company Povodí Odry, as the authorized investor, is preparing the Nové Heřminovy reservoir project with construction expected between 2027 and 2033. The Nové Heřminovy Waterworks are part of the anti-flood measures being taken in the upper Opava basin in accordance with the resolution of the Government of the Czech Republic passed in 2008 and subsequent resolutions. These works also include small reservoirs, modifications in the flow of the Opava, measuring stations and the re-routing of the I/45 road around the floodplain of the valley reservoir, to be carried out by the Directorate of Roads and Highways. This paper briefly presents these measures on the upper Opava, the genesis of which is the catastrophic flood of 1997, with an assessment of the current state of preparing and implementing them. In particular, it focuses on a detailed description of the Nové Heřminovy Waterworks and its main purposes, i.e. mitigating extreme hydrological phenomena (floods and droughts), as well as on the water storage management of the planned reservoir and on the introduction of nature-oriented measures to compensate for the intervention in the valley floodplain of the Opava river.

1 ÚVOD

Impulsem pro zmírňování nepříznivých účinků povodní v povodí horní Opavy se stala katastrofální povodeň v roce 1997. K nejpostiženějším oblastem v rámci povodí Odry patřilo povodí horní Opavy, kde se četnost červencové povodně 1997 pohybovala v intervalu Q_{500} (647 m^3/s ve městě Opava) až Q_{700} (375 m^3/s ve městě Krnov, kde objem povodňové vlny dosáhl 95 mil. m^3 nad hodnotou průtoku Q_a s plochou povodí 369 km^2) a obdobná četnost se vyskytla i na řece Opavě výše proti vodě, kdy v profilu Karlovice byla kulminace katastrofálního průtoku vyhodnocena na 320 m^3/s , což činí dvojnásobek hodnoty stoletého průtoku.

Návrh Vodní nádrže Nové Heřminovy na řece Opavě je součástí souboru protipovodňových opatření, které řeší obce od Karlovic přes Nové Heřminovy, Zátor, Brantice, Lichnov, Holasovice a v rámci kompenzačních opatření i obec Bliszczyce v Polsku, a zejména města Krnov a Opavu. Plán pro zvládnutí povodňových rizik v povodí Odry stanovil, že se v povodňovém nebezpečí při výskytu stoleté vody Q_{100} nachází přes 15 900 obyvatel a 1 900 stavebních objektů. V nepřijatelném riziku s přímým ohrožením životů a majetku je nyní 6 000 obyvatel a kolem 830 stavebních objektů.

Společenský tlak a požadavek na provedení opatření, která by snížila rizika ztrát lidských životů a ohrožení majetků, znamenal, že prakticky ihned po zmiňované povodni 1997 byly zahájeny koncepční a studijní a následně i projekční práce na zvýšení ochrany lidských sídel v dílčím povodí Opavy před škodlivými účinky velkých vod. Opatření, jakými byla velká a malá varianta vodní nádrže Nové Heřminovy, soubor malých vodních nádrží, opatření v ploše povodí společně s revitalizacemi toku Opavy a některých jejích přítoků byla vzájemně kombinována s poznáním, které vyplynulo ze srážko – odtokového modelování, že pouze opatřeními v krajině a souborem malých vodních nádrží nelze dosáhnout podstatného zvýšení úrovně ochrany před povodněmi, ale že tato opatření jsou u každé povodňové epizody přínosná a snižují kulminaci povodní pouze o cca 2–10 % v závislosti na rozložení srážek v čase a prostoru a musí tak být provedena vždy s údolní nádrží Nové Heřminovy jako klíčovým prvkem komplexu opatření.

Pro omezení a minimalizování zásahu do života obce Nové Heřminovy byla upřednostněna varianta menší nádrže s nižším zásobním a retenčním prostorem a nadlepšovacím a tlumícím účinkem pro řeku Opavu. Vznikl soubor desítek studií, se kterými dále pracovaly ústřední vodoprávní úřady Ministerstva zemědělství a Ministerstva životního prostředí a které vytvořily společný podklad pro zhodnocení a rozhodnutí o optimálním postupu vládou České republiky. V dubnu 2008 bylo přijato usnesení vlády ČR č. 444, kterým vláda schválila realizaci opatření menší nádrže Nové Heřminovy v kombinaci s dalšími opatřeními.

Obdobně významným varováním pro vodohospodáře státního podniku Povodí Odry jako byla povodeň 1997, bylo extrémní sucho 2015 – 2016, které v povodí Odry v uzavřeném profilu Bohumín překročilo stoletou četnost. Oba hydrologické extrémy – povodně a sucho – navržená a již zhotovená opatření na horní Opavě řeší.

2 HODNOCENÍ AKTUÁLNÍHO STAVU PŘÍPRAVY A REALIZACE SOUBORU PROTIPOVODŇOVÝCH OPATŘENÍ NA HORNÍ OPAVĚ

Soubor protipovodňových opatření byl rozdělen do 8 celků, z nichž 5 celků bude dále hodnoceno a jsou to Nádrž Nové Heřminovy (Celek 1), Opatření na vodních tocích (Celek 2), Rozšíření monitorovací sítě (Celek 3), Suché nádrže (Celek 4), Úpravy v krajině (Celek 5) a Přeložka silnice I/45 (Celek 8).

Přeložku silnice I/45 kolem zátopy nádrže Nové Heřminovy, jejímž účelem je převést silniční dopravu z této páteřní komunikace mezi obcemi Zátor a Nové Heřminovy a umožnit tak zatopit údolí řeky Opavy vodou, kterou bude zadržovat přehradní hráz, připravuje Ředitelství silnic a dálnic s.p. Pro přeložku je vydáno rozhodnutí o umístění stavby, v současnosti se připravuje projektová dokumentace pro stavební povolení a stavební práce se předpokládají v letech 2027 až 2030. Na dokončení přípravy přeložky včetně majetkoprávního vypořádání a její zhotovení se předpokládá finanční náklad ve výši cca 2,63 mld. Kč.

Suché nádrže byly realizovány a dokončeny v letech 2015 – 2019, a to Lichnov III, Lichnov V, Loděnice a Jelení s celkovým retenčním objemem blízkým se 1 mil. m³. Zátopy suchých nádrží jsou realizovány přírodě blízkým způsobem zajišťujícím podmínky pro zadržování vody v krajině, tvořící krajinotvorný prvek a poskytující ideální podmínky pro živočichy. Vynaložené náklady na 4 suché nádrže činily kolem 250 mil. Kč. Tento celek daný usnesením vlády je dokončen. Samostatně byla v rámci komplexních pozemkových úprav zhotovena nádrž Lichnov II s objemem 0,435 mil. m³. Soubor nádrží svým akumulacním prostorem přispívá jak k tlumení regionálních, tak přívalových povodní.

V roce 2014 byla dokončena realizace kompletní sítě stanic (7 limnigrafických stanic a 3 srážkoměrné stanice, z toho 2 v Polsku) monitorujících průtoky, srážky a další ukazatele nezbytné pro provoz budoucí nádrže a navazujících staveb s kontinuálním rádiovým přenosem

na Vodohospodářský dispečink Povodí Odry, s.p. Celkové náklady činily 6 mil. Kč. Samostatně byla v roce 2022 dokončena klimatologická stanice, která zajišťuje data pro budoucí vyhodnocení vlivu zátopy nádrže na mikroklima v údolí toku Opavy, s nákladem cca 3 mil. Kč.

V celku Opatření na vodních tocích byly v letech 2019 až 2022 již zhotoveny: opatření v prostoru jezu Kunov na řece Opavě, opatření v úseku pod Krnovem, tj. ochrana českého levobřežního území s výstavbou protipovodňové hráze, která zároveň slouží k zavázání do rostlého terénu proti obtečení níže po vodě modernizované protipovodňové hráze na území Polské republiky, jejímž účelem je ochrana polské obce Bliszczyce. K ochraně zástavby obce Holasovice byla vybudována pravobřežní protipovodňová hráz, která komplexně doplňuje tlumicí účinek na přívalové povodně suché nádrže Loděnice na Lipince. Celkově vynaložené náklady na realizaci tohoto celku jsou doposud ve výši necelých 360 mil. Kč.

Z celku Opatření na vodních tocích se nyní soustavně připravuje: úprava toku Opavy pod přehradní hrází a přes Zátor s předpokladem vydání stavebního povolení v roce 2024 a realizací stavby v letech 2027 - 2030. Je vydáno stavební povolení na realizaci Jezu Brantice a předpokládá se zhotovení pohyblivého vakového jezu s levobřežním odlehčovacím ramenem a rybochodem v letech 2025 - 2026 . Následně k němu může být provedena navazující úprava toku Opavy. Zároveň se bude zahajovat příprava úpravy toku Opavy přes obec Brantice spolu s úseky, které propojí obce Zátor s Branticemi a Brantice s Krnovem - Kostelcem, a to přírodě blízkým způsobem. Od roku 2029 se předpokládá řešení úpravy toku Opavy přes vlastní Krnov, kde VD Nové Heřminovy tlumí velkou stoletou vodu o cca 80 m³/s. Celková délka úprav toku Opavy činí kolem 15 km. Pro dokončení přípravy a realizaci úprav toku Opavy se odhaduje, že bude nezbytné zajistit finanční prostředky ve výši kolem 1,5 mld. Kč.

Po přijetí usnesení vlády ČR v roce 2008 lze pro nejdůležitější celek 1 s Vodní nádrží Nové Heřminovy rámcově shrnout, že byl zpracován investiční záměr, na který navazovalo provedení projektové dokumentace pro územní rozhodnutí s majetkoprávním vypořádáním, inženýrsko geologickým průzkumem včetně kopaných sond důlním způsobem, vložení záměru do územně plánovacích dokumentací, plánu pro zvládání povodňových rizik a plánu dílčího povodí horní Odry, provedení matematického modelování, návrhy jednotlivých funkčních celků byly ověřovány fyzikálními modely, provedení stabilitních výpočtů, vodohospodářského řešení, biologických průzkumů, bylo zajištěno posouzení vlivu této stavby na životní prostředí, probíhalo jednání se samosprávami a státní správou a řada dalších činností. Všechny tyto kroky byly završeny vydáním rozhodnutí o umístění stavby vodního díla v červnu 2023. Celkové náklady na přípravu tohoto celku doposud činí 745 mil. Kč. Povodí Odry, s.p. v současnosti intenzivně připravuje další stupeň projektové dokumentace s předpokladem podání žádosti o vydání stavebního povolení v roce 2025. Zároveň se připravuje prováděcí dokumentace. Zahájení přípravných prací lze očekávat na přelomu let 2027 a 2028 a hlavní stavební činnosti pak v letech 2029 až 2032, kdy se zároveň předpokládá zkušební napouštění, resp. zkušební provoz, s následným provedením dokončovacích prací v průběhu roku 2033. Je představa, že vodní dílo bude uvedeno do běžného provozu včetně zpracování manipulačního řádu a jeho připojení do Vodohospodářské soustavy povodí Odry do konce roku 2033. Celkové náklady na zhotovení VD Nové Heřminovy a souvisejících objektů, vyvolaných investic a majetkoprávní vypořádání jsou stanoveny na základě kumulativního rozpočtu na 4,75 mld. Kč.

Spolupráce s Obcí Nové Heřminovy v současnosti probíhá na poli pořízení nového územního plánu, způsobu odkanalizování a likvidace odpadních vod, napojení obecní dopravní infrastruktury na silniční síť, protipovodňové ochrany a varovného systému, majetkoprávního vypořádání a neposledně při průběžném informování jak veřejnosti, tak samosprávy o přípravě a postupu prací na VD Nové Heřminovy a souvisejících stavbách.

Doposud vynaložené finanční prostředky na projekční práce, majetkoprávní přípravu a realizaci Celků 1, 2, 3 a 4 Opatření na horní Opavě činí 1,36 mld. Kč.

3 VD NOVÉ HEŘMINOVY, JEHO HLAVNÍ ÚČELY A ZÁKLADNÍ PARAMETRY

Hlavními účely vodního díla je protipovodňový účel, nadlepšování průtoků v řece Opavě ve výši $1,1 \text{ m}^3/\text{s}$, energetické využití akumulované vody pro výrobu elektrické energie a rekreační využití zátopy, jako je koupání, plavba, vodní sporty, cykloturistika, turistika s vyhlídkami na nádrž, in-line bruslení kolem zátopy nádrže a další.

Území pod nádrží bude ochráněno před povodněmi do úrovně stoletého průtoku v kombinaci s úpravami toku Opavy v jednotlivých chráněných lidských sídlech. Vodní dílo sníží tlumením návrhové stoleté povodňové vlny o objemu 52 mil. m^3 v ochranném prostoru kulminační průtok z $206 \text{ m}^3/\text{s}$ na průtok $100 \text{ m}^3/\text{s}$. Tento tlumený odtok z nádrže zvětšený o přítoky z mezipovodí se musí bezpečně převést lidskými sídly směrem po toku a návrhové průtoky pro ně a pro úpravy toku Opavy byly stanoveny na $100\text{--}120 \text{ m}^3/\text{s}$ pro Zátor, $120\text{--}150 \text{ m}^3/\text{s}$ pro Brantice, $150\text{--}270 \text{ m}^3/\text{s}$ (pod soutokem s Opavicí) pro Krnov a $290 \text{ m}^3/\text{s}$ pro Holasovice. Úpravy toku Opavy přes Krnov a uvedené obce, které musí být zhotoveny pro komplexní protipovodňovou ochranu (spolu s již zmiňovanými a vybudovanými malými vodními nádržemi), mají po Krnov bezpečnostní rezervu $0,5 \text{ m}$ a přes město Krnov pak $0,8 \text{ m}$ nad návrhovou hladinou.



Obr. 1 Pohled na Vodní dílo Nové Heřminovy - vizualizace

Základní parametry - přehradní profil ovládá plochu povodí 283 km^2 , stoletý průtok je stanoven na $206 \text{ m}^3/\text{s}$. Je navržena betonová tížní hráz se sklonem vzdušního líce 4:3, která má 26 dilatačních bloků, s délkou koruny hráze 339 m a její výškou nad terénem $26,5 \text{ m}$. Objem betonů (obalový, jádrový s výrazně menším obsahem cementu a s větším maximálním zrnem kameniva (betonovou směs nebude možno čerpat) ve srovnání s betonem obalovým, a podkladní) přehradní hráze včetně vývaru bude necelých 102 tisíc m^3 . V přehradním tělese je navržena injekční a revizní štola. Podloží bude těsně injekční clonou. Za návrhovou povodeň z hlediska bezpečnosti byla pro přehradní hráz zvolena PV_{1000} s kulminací $372 \text{ m}^3/\text{s}$ a jako kontrolní povodeň pak byla stanovena PV_{10000} ($720 \text{ m}^3/\text{s}$). Jsou navrženy 4 spodní výpusti, kapacita každé je při zásobní hladině $33,3 \text{ m}^3/\text{s}$ a každá má 3 uzávěry. Na koruně hráze je navržen nehrazený bezpečnostní přeliv, který má 5 polí s délkou jednoho pole 13 m a maximální návrhovou přepadovou výškou 2 m . V tělese hráze je navržena malá vodní elektrárna tvořená Francisovou turbínou o výkonu 90 kW a Kaplanovou turbínou s výkonem 315 kW . Celková maximální hltnost MVE činí $3,2 \text{ m}^3/\text{s}$ při návrhovém spádu 12 m . Zatopená

plocha zásobního prostoru je 67 ha a celková zatopená plocha při maximální hladině činí necelých 130 ha. Zásobní objem je 2,79 mil.m³, retenční prostor je pak 11,56 mil.m³, z toho prostor neovladatelný činí 1,41 mil.m³. Celkový objem nádrže je 14,53 mil.m³.

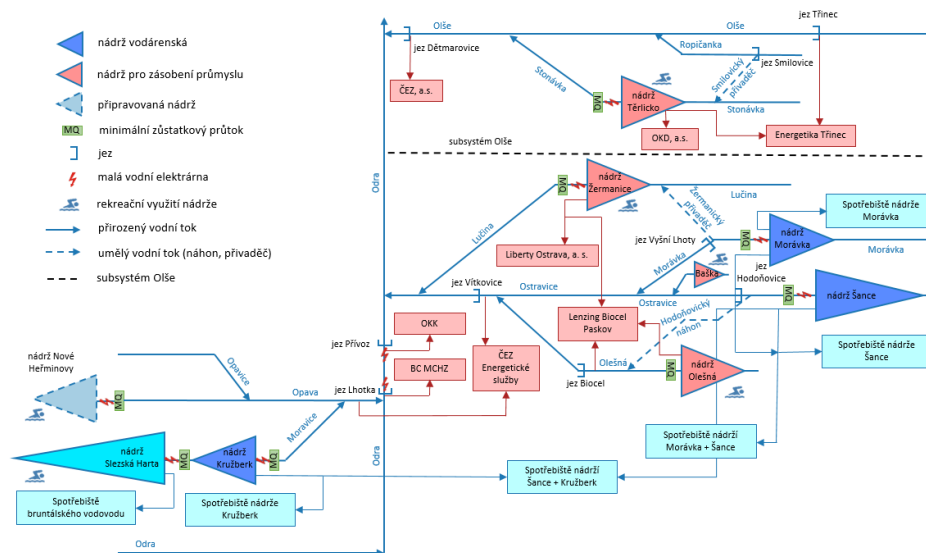
Na betonovou tížní hráz navazuje společný vývar jak pro spodní výpusti a výtok z MVE, tak pro bezpečnostní přeliv. V levé části hráze je navržen průchod obtokového koryta, který je osazen 4 uzávěry. Na levém břehu nad přehradní hrází bude situováno přístaviště a na pravém břehu nad parkovištěm pak sjezd do zátopy pro manipulaci s plávim a pro údržbu zátopy. Na levém břehu přehradní hráze je umístěno provozní středisko s infocentrem, parkovištěm a dvěma služebními domy. Podél celé zátopy bude vybudována obslužná komunikace. Ve vytipovaných úsecích zátopy je řešena abraze. Při tlumení velkých vod se bude zátopa zpětně vzdouvat do obce, kde bude vybudována zavazovací a příčná hráz s podzemní těsnicí stěnou a součástí tohoto zavázání bude okružní křižovatka na přeložce silnice I/45. Celková délka těchto hrází bude 1 660 m a navrženy jsou na průtok Q₁₀₀₀ s převýšením 0,8 m.

4 VODOHOSPODÁŘSKÉ ŘEŠENÍ ZÁSOBNÍ FUNKCE PŘIPRAVOVANÉ NÁDRŽE

Vodohospodářské řešení (VH) zásobní funkce nádrže Nové Heřminovy bylo připraveno s využitím hydrologických dat za období hydrologických let 1981 až 2021.

Schéma Vodohospodářské soustavy povodí Odry

(funkce zásobní, minimální průtoky v tocích, rekreace a energetika)



Obr. 2 Schéma Vodohospodářské soustavy povodí Odry s navrženým VD Nové Heřminovy

Tato data zohledňují aktuální hydrologické podmínky. Budoucí vývoj klimatu zohledňují dva vybrané časové horizonty (k 2040 a 2060) podle tzv. středního scénáře klimatické změny. Pro dosažení větší spolehlivosti výsledků bylo využito pravděpodobnostní řešení v odvozených syntetických řadách průměrných měsíčních průtoků o délce 1000 let. Základním účelem plynoucím ze zásobní funkce nádrže Nové Heřminovy je zajištění hodnoty minimálního zůstatkového průtoku (MZP) v profilu pod hrází za soutokem obtoku nádrže a odtoku z nádrže. Hodnota MZP byla stanovena na základní úroveň MZP = 0,735 m³/s. Nad rámec této základní hodnoty MZP bylo na základě analýzy VH řešení zásobní funkce nádrže přistoupeno k dalšímu navýšení odtoku z nádrže pro zajištění zvýšené úrovně MZP na 1,100 m³/s. Nadlepšovací efekt nádrže je výrazněji patrný zejména pro výsledky připravené pro hydrologické podmínky

klimatické změny. Nádrž Nové Heřminovy tak představuje účinné opatření v rámci adaptace na klimatickou změnu v povodí Opavy.

5 KOMPENZAČNÍ OPATŘENÍ PRO ÚDOLNÍ NÁDRŽ NOVÉ HEŘMINOVY

Na základě řešení opatření na horní Opavě a posouzení jejích vlivů na životní prostředí byla navržena řada kompenzačních opatření, kterými pro VD Nové Heřminovy jsou koridory v údolí řeky Opavy jak v podélném, tak v příčném směru, obtok jako náhrada za přerušení migrace ryb a vodních organismů. Celková délka obtoku je kolem 5,3 km, od jezu je zajištěn průtok obtokem ve výši 0,435 m³/s a maximální kapacita je 0,6 m³/s. Dalším kompenzačním opatřením je řešení tzv. efektu hladové vody, který vzniká pod přehradní hrází. Nad zátopou VD je namodelován jak matematicky, tak i fyzikálně usazovací levobřežní prostor, kde by se za velkých vod měly usazovat sedimenty, do určité míry třídit a po průběhu velké vody by se měly převážet cca do vzdálenosti 600 m pod hráz do rozplavovacího objektu, ze kterého si velká voda bude sedimenty odebírat a do 50-letého průtoku včetně by měla být podle výpočtů řeka Opava pod přehradní hrází ve splaveninové rovnováze. K opatření patří také úprava konce vzduť se založením litorálního pásma pro zajištění iniciační rozmanitosti pro vodní organismy a rostliny. Nad tímto pásmem zátopy bude řeka trasována v několika ramenech se šterkovými lavicemi s možností jejího přirozeného vývoje. Kolem celé zátopy budou založeny po zkušebním provozu břehové a doprovodné porosty. Během povodně 1997 došlo mezi vlastní obcí Nové Heřminovy a osadou Kunov k rozramení řeky Opavy a požadavkem ochrany přírody je toto rozramení ponechat a umožnit mu další vývoj a z hlediska správce toku ho jen cyklicky monitorovat a vyhodnocovat. Soubor představených opatření významně zmírní vliv vodní nádrže na údolní nivu řeky Opavy.

6 ZÁVĚR

Schválená koncepce souboru opatření na horní Opavě s VN Nové Heřminovy je moderním a komplexním nástrojem reagujícím na oba hlavní hydrologické extrémny – povodně a sucho – v povodí horní Opavy. Doposud bylo na přípravu a realizaci opatření vynaloženo 1,36 mld. Kč. Na úpravy toku Opavy a Vodní dílo Nové Heřminovy se souvisejícími stavbami a přeložkou silnice I/45 se předpokládá finanční náklad ve výši cca 8,88 mld. Kč. Připojení VD Nové Heřminovy k VHS povodí Odry přispěje k robustnosti a operativnosti hospodaření s vodou v dílčím povodí horní Odry včetně řešení předpokládané klimatické změny.

Investor: Povodí Odry, státní podnik se sídlem v Ostravě.

Hlavní projektant: AQUATIS a.s. Brno, vedoucí projektu Ing. Švancara a kolektiv.

Spolupráce: VUT Brno (Stary M., Šulc J., Zachoval Z., Říha J. a kol.) ČVUT Praha (Satrapa L., Fošumpaur P., Havlík A., Kloknerův ústav – Kolísko J. a kol.), VD TBD a.s. (Hodák J. a kol.), JČU Č. Budějovice (Hejzlar J.), Bradáč V., Hladík P., arch. Kábrt L. a Elich M., a další.

AUTORI

Ing. Břetislav Tureček, Povodí Odry, státní podnik, Varenská 3101/49, 702 00 Ostrava, Česká republika, e-mail: turecek@pod.cz

RÔZNE – PRÍSPEVKY SÚVISIACE S PROBLEMATIKOU VS

DEŠTRUKCIA KACHOVSKÉJ PRIEHRADY NA RIEKE DNÍPRO – HYDRODYNAMICKÉ MODELOVANIE PRE RÝCHLE HODNOTENIE VPLYVOV NA ŽIVOTNÉ PROSTREDIE

KAKHOVKA DAM BREACH ON THE DNIPRO RIVER – HYDRODYNAMIC MODELLING FOR RAPID ENVIRONMENTAL ASSESSMENT

Stanislav Grand¹, Martin Mišík², Jozef Stoklasa³, Juraj Bajčan⁴, Marián Kučera⁵

Abstrakt: V októbri 2022 bola v súvislosti s vojnou na Ukrajine v médiách publikovaná hrozba deštrukcie Kachovskej priehrady na rieke Dneper. Pre odhad možných následkov pripravila spoločnosť DHI Slovakia štúdiu numerickej simulácie scenárov pretrhnutia priehrady. Zostavený 2D hydrodynamický model pokrýval viac ako 300 km rieky Dneper, z čoho 200 km predstavuje nádrž Kachovka. K deštrukcii priehrady došlo 6. júna 2023, tím DHI na základe voľne dostupných dát aktualizoval parametre modelu a zostavil predpoveď postupu prielomovej vlny a jej výšky na najbližšie 4 dni. Kulminačný prietok 30 až 50 tisíc m³/s zodpovedal 3 až 5 násobku 100-ročnej povodne. Príspevok popisuje zostavenie modelu, porovnanie modelovanej a pozorovanej výšky hladiny a rozsahu záplavy. Výsledky modelu boli použité v správe o rýchlom posúdení vplyvov na životné prostredie (UNEP 2023).

Abstract: In October 2022, in connection with the war in Ukraine, the threat of the destruction of the Kakhovka Dam on the Dnipro River was published in the media. In order to estimate the possible consequences, the company DHI Slovakia prepared a numerical simulation study of scenarios of the dam breach. The 2D hydrodynamic model covered more than 300 km of the Dnipro River, of which 200 km is the Kakhovka reservoir. The destruction of the dam occurred on June 6, 2023. Based on open-source data, the DHI team updated the parameters of the model and prepared a forecast of the progress of the flooding wave and its height for the next 4 days. The peak flow of 30 to 50 thousand m³/s corresponded to 3 to 5 times the 100-year flood. The paper describes the used model, a comparison of the simulated and observed water level and the extent of the flood. The results of the model were used in the Rapid Environmental Assessment report (UNEP 2023).

1 ÚVOD

Kachovská priehrada situovaná na rieke Dneper v Chersonskej oblasti na Ukrajine bola šiestou a poslednou priehradou v rámci Dneperskej kaskády vybudovaná v rokoch 1950 až 1956. Hlavným účelom priehrady bolo zabezpečenie vody pre domácnosti, priemysel a poľnohospodárstvo, produkcia elektrickej energie a vodná doprava.

V októbri 2022 bola vo svetových médiách publikovaná hrozba deštrukcie Kachovskej priehrady v súvislosti s vojnou na Ukrajine. V rámci iniciatívy DHI Slovensko na podporu Ukrajiny bol zostavený 2D hydrodynamický model pomocou voľne dostupných dát pokrývajúci približne 300 km rieky Dneper. Na základe dostupných technických parametrov priehrady a analýzy tímu DHI Slovensko bolo simulovaných niekoľko možných scenárov pretrhnutia priehrady. Výsledky a vyhodnotenie simulácií boli prostredníctvom Ministerstva

zahraničných vecí a európskych záležitostí SR poskytnuté Štátnemu útvaru Ukrajiny pre mimoriadne situácie.

V ranných hodinách 6. júna 2023 došlo k pretrhnutiu Kachovskej priehrady spôsobujúce rozsiahle záplavy. Podľa publikovaných informácií tím DHI Slovensko aktualizoval existujúci 2D hydrodynamický model, spresnil jeho parametre a spustil simulácie. V priebehu niekoľkých hodín model simuloval predpoveď postupu prielomovej vlny a jej výšky na najbližšie 4 dni v reálnom čase.

Príspevok popisuje zostavenie modelu, prezentuje výsledky a porovnanie modelovanej a meranej výšky hladiny a rozsahu záplavy. V rámci kooperácie DHI a United Nations Environment programme (UNEP) boli výsledky použité v Správe o rýchlom posúdení vplyvov na životné prostredie [1].

2 PRETRHNUTIE KACHOVSKÉJ PRIEHRADY

V ranných hodinách okolo 3:00 6. júna 2023 došlo k pretrhnutiu Kachovskej priehrady, ktorá bola v tom čase pod kontrolou ruských vojenských zložiek, ktoré ju obsadili už počas prvých dní ruskej invázie na Ukrajinu [2]. Pretrhnutie priehrady bolo spôsobená explóziou, ktorá spôsobila destabilizáciu a kolaps betónovej konštrukcie v blízkosti vodnej elektrárne Kachovka, čo viedlo k nekontrolovateľnému uvoľneniu veľkého objemu vody (Obr.1). Povodňová vlna následne postupovala po rieke Dneper spôsobujúce rýchle stúpanie hladiny, čo malo za následok devastáciu povodne, masívnu evakuáciu obyvateľov v blízkosti rieky Dneper a jej inundácie, humanitárne, ekonomické a environmentálne dôsledky.



Obr. 1 Satelitné snímky pretrhnutia Kachovskej priehrady [3]

3 VSTUPNÉ DATA A TVORBA MODELU

Rozsah 2D hydrodynamického modelu pokrýva približne 300 km, z toho 200 km tvorí nádrž Kachovka a 100 km koryto a okolité územie až po deltu rieky Dneper.

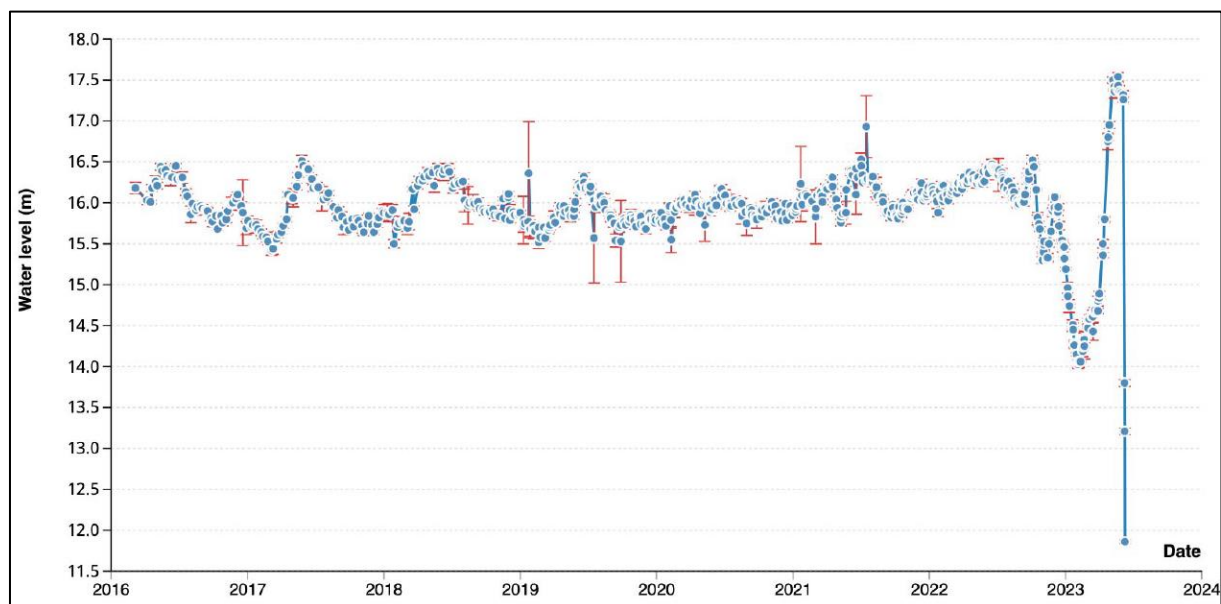
Model bol zostavený na základe voľne dostupných dát. Batymetria modelu bola vytvorená pomocou globálneho digitálneho terénneho modelu Copernicus DEM v rozlíšení 30 m. Hydraulické drsnosti modelu boli definované podľa dostupných satelitných a ortofoto snímok a hydrologické dáta, resp. vodné stavy a hĺbky v Kachovskej nádrži boli prebraté a analyzované z rôznych zdrojov: Hydroweb a Ukrainian Hydrometeorological Center. Technické parametre priehrady a rozmery jej pretrhnutia boli definované pomocou satelitných snímok, fotografií publikovaných v médiách a pomocou expertného odhadu.

Model bol simulovaný v reálnom čase od pretrhnutia priehrady 6. júna a vypočítaný bol priebeh hladín, hĺbok, rýchlostí a šmykového napätia brehov.

4 VÝSLEDKY

4.1 Vypočítané hladiny, hĺbky a rozsah záplavy

Pred deštrukciou Kachovskej priehrady bola nádrž naplnená na bezprecedentnú hladinu 17,5 metra nad morom (Obr. 2).



Obr. 2 Vývoj vodného stavu v nádrži Kachovskej priehrady pred jej deštrukciou [1]

Kulminálny prietok takmer hneď po pretrhnutí priehrady bol odhadnutý podľa výsledkov modelu:

1. v mieste pretrhnutia priehrady 30 000 až 50 000 m³/s,
2. v Chersone 25 000 až 35 000 m³/s,
3. ústie Dneper-Boh 23 000 – 32 000 m³/s

Pre porovnanie s historickými a štatistickými údajmi, maximálny odhadovaný prietok na Kachovskej priehrade zodpovedal približne:

1. 18 – 30 násobok priemerného prietoku (1680 m³/s)

2. 10 násobok maximálneho nameraného prietoku na Kachovskej priehrade medzi rokmi 2000 – 2021 (4100 m³/s)
3. 3 – 5 násobok 100-ročnej povodne
4. 2 – 3,5 násobok 1000-ročnej povodne
5. 1,3-2 násobok 10000-ročnej povodne

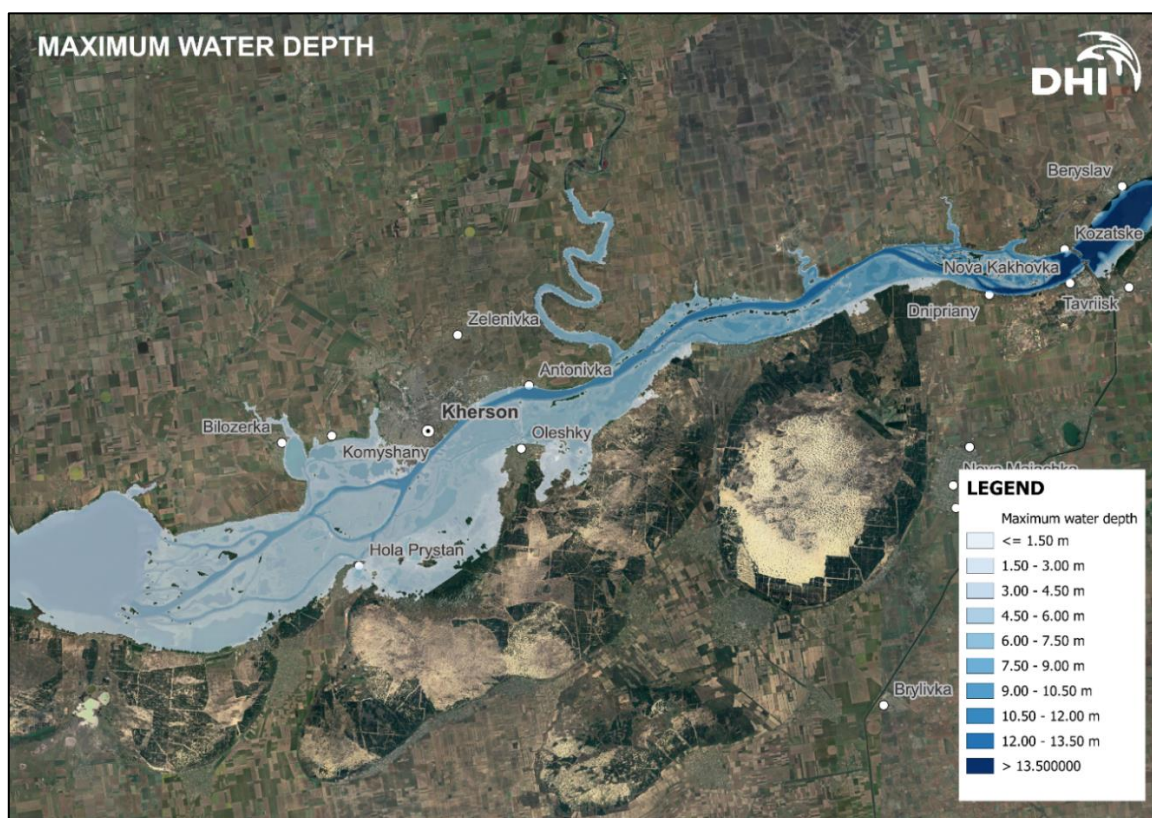
Dĺžka trvania povodňovej vlny je odhadovaná na 14 dní, počas ktorých odtiekol takmer celý objem nádrže 18 km³ [1].

4.2 Vypočítané hladiny, hĺbky a rozsah záplavy

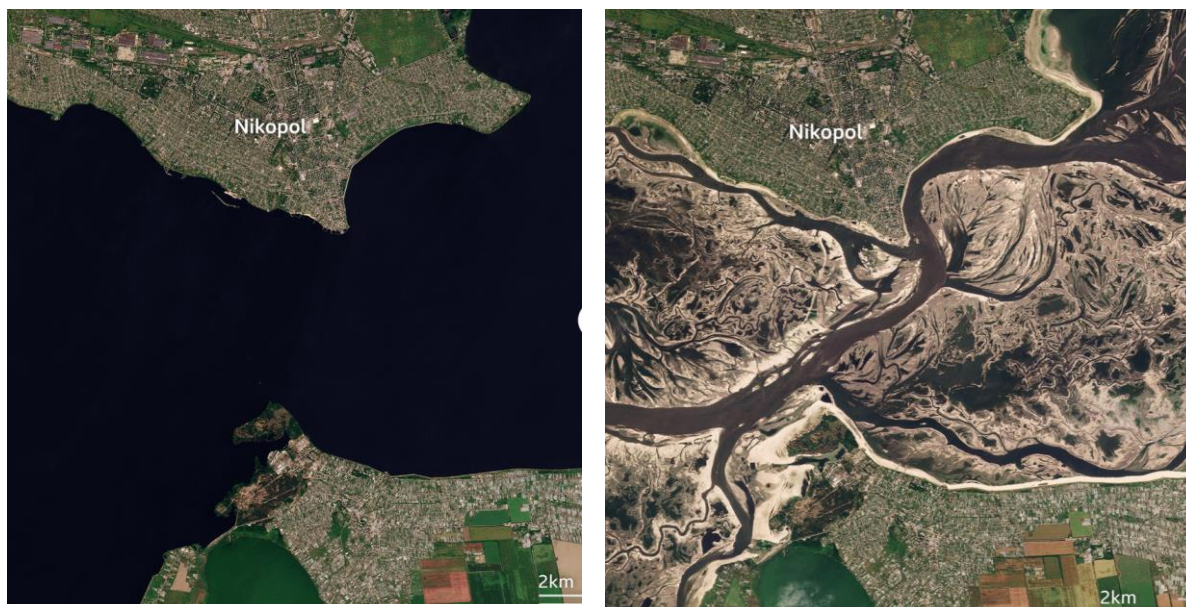
Predpokladá sa, že hladina vody v blízkosti pretrhnutia narástla z bežných hladín na kulminačné v priebehu minút. V priebehu ďalších 6 – 10 hodín postupne narástla hladina v Chersone. Maximálny rozsah záplavy bolo možné pozorovať medzi 6. až 9. júnom 2023. Maximálna manipulačná hladina tesne pod priehradou definovaná na 4,7 m bola prekročená o viac ako 6 m, zatiaľ čo kritická hladina v Chersone definovaná na 1,5 m bola prekročená o 4 m (kulminačný stav 5,37 m 8. júna o 3:00).

Porovnanie meraných a simulovaných hladín ukazuje, že v kulminačnej hladine v Chersone je rozdiel len 0,26 m, pri čom počas prvých troch dní rozdiely medzi vypočítanými a meranými hladinami nepresiahli 0,5 m. Obr. 3 popisuje mapu hĺbok v modelovanom území.

Zatiaľ čo stúpajúca a kulminačná časť povodňovej vlny je simulovaná pomerne presne, priebeh povodňovej vlny v jej klesajúcej časti bola v realite rýchlejšia ako simuloval model. Túto nepresnosť možno pripísať zväčšujúcemu sa otvoru v pretrhnutej priehrade ako aj chýbajúcej batymetrii koryta, ktorá nie je zahrnutá vo voľne dostupnom digitálnom terénnom modeli. Na Obr. 4 sú porovnané satelitné snímky pred a po pretrhnutí Kachovskej priehrady.



Obr. 3 Mapa hĺbok v modelovanom území



Obr. 4 Porovnanie satelitných snímok pred a po udalosti [1]

5 UN ASSESMENT REPORT

Výsledky simulácií DHI Slovensko a hydrologická analýza boli v rámci kooperácie UNEP a DHI použité v Správe o rýchlom posúdení vplyvov na životné prostredie. Súčasťou správy je okrem hydrologického posúdenia aj analýza geomorfologických procesov, posúdenie prúdenia sedimentov, chemická kontaminácia, vplyv vyprodukovaného odpadu a ekologické následky.

6 ZÁVER

V súvislosti s vojnou na Ukrajine a deštrukciou Kachovskej priehrady v júni roku 2023 vytvoril tím DHI Slovensko 2D hydrodynamický model simulujúci priebeh povodňovej vlny a odhad jej možných následkov. Model pokryl rozsiahle územie rieky Dneper vrátane nádrže a Kachovskej priehrady v rozsahu takmer 300 km.

Výsledky modelu ukazujú relatívne dobrú presnosť simulovaného priebehu povodňovej vlny v porovnaní s reálnymi meranými hladinami a taktiež rýchlu a flexibilnú reakciu tímu na udalosť, keďže prvé výsledky boli dostupné už pár hodín od deštrukcie priehrady. Výsledky boli odovzdané Štátnemu útvaru Ukrajiny pre mimoriadne situácie prostredníctvom Ministerstva zahraničných vecí a európskych záležitostí SR a taktiež slúžili ako podklad pri tvorbe Správy o rýchlom posúdení vplyvov na životné prostredie v rámci kooperácie DHI a UNEP.

Pretrhnutie Kachovskej priehrady predstavuje okrem povodňového rizika a priamej straty ľudských životov rozsiahlu katastrofu s environmentálnymi, ekonomickými a humanitárnymi následkami, ktorej celkový dopad sa ukáže až v najbližších rokoch a desaťročiach.

ZOZNAM LITERATÚRY

- [1] UNEP. (2023). *Rapid Environmental Assessment of Kakhovka Dam Breach*.
- [2] *The Guardian*. (2023). *Thousands flee homes as collapse of dam is blamed on Russian forces*. Dostupné na Internete: *The Guardian*: <https://www.theguardian.com/world/2023/jun/06/ukraine-accuses-russia-of-blowing-up-nova-kakhovka-dam-near-kherson>
- [3] *Reuters*. (2023). *Ukraine warns over impact of Kakhovka dam collapse on farmland*. Dostupné na Internete: *Reuters*: <https://www.reuters.com/world/europe/ukraine-warns-over-impact-kakhovka-dam-collapse-farmland-2023-06-07/>

AUTORI

Autor 1: Ing. Martin Mišík, PhD., DHI SLOVAKIA, s.r.o., Hattalova 12, 831 03 Bratislava, Slovenská republika, mam@dhigroup.com

Autor 2: Ing. Stanislav Grand, MSc., DHI SLOVAKIA, s.r.o., Hattalova 12, 831 03 Bratislava, Slovenská republika, stan@dhigroup.com

Autor 3: Ing. Jozef Stoklasa, DHI SLOVAKIA, s.r.o., Hattalova 12, 831 03 Bratislava, Slovenská republika, jos@dhigroup.com

Autor 4: Ing. Juraj Bajčan, DHI SLOVAKIA, s.r.o., Hattalova 12, 831 03 Bratislava, Slovenská republika, juba@dhigroup.com

Autor 5: Ing. Marián Kučera, DHI SLOVAKIA, s.r.o., Hattalova 12, 831 03 Bratislava, Slovenská republika, mk@dhigroup.com

FLOODUZH – HYDRODYNAMICKÉ MODELOVANIE V POVODÍ RIEKY UH

FLOODUZH – HYDRODYNAMIC MODELING IN THE UH RIVER BASIN

Juraj Bajčan¹, Stanislav Grand², Martin Mišík³, Marián Kučera⁴, Dušan Mydla⁵,
Ingrid Frühaufová⁶

Abstrakt: Predmetom projektu bolo zabezpečiť 2D hydrodynamické modelovanie určených prietokov v povodí rieky Uh na slovenskom a ukrajinskom území v rámci aktivity 2.1 v medzinárodnom projekte FloodUZH. Vedúcim partnerom projektu bol ukrajinský partner Tisza River Basin Water Resources Directorate a slovenským partnerom bol SLOVENSKÝ VODOHOSPODÁRSKY PODNIK, štátny podnik. Záujmovým územím bola celá slovenská časť vodného toku Uh. Zostavený bol dvojrozmerný hydrodynamický matematický model (2D model), ktorý v sebe obsahoval vodný tok Uh, časť vodného toku Laborec a časti dvoch pravostranných prítokov Uhu, Kanál Veľké Revištia – Bežovce a Čierna voda. V rámci neustáleného prúdenia vody bola modelovaná povodňová vlna s 10, 100 a 1000-ročným kulmináčnym prietokom. Modelovaná bola aj povodňová vlna s transformovaným 100-ročným kulmináčnym prietokom a povodňová vlna so 100-ročným kulmináčnym prietokom s modelovaným riadeným prerušením ochrannej hrádze v mieste bezpečnostného priepadu v profile Lekárovce. V rámci ustáleného prúdenia vody bol modelovaný priemerný denný prietok Q_{355} a dlhodobý priemerný ročný prietok Q_a . Na modelovanie bol použitý nakalibrovaný 2D model, zostavený pre potreby modelovania prúdenia vln. Z výsledkov modelovania boli vytvorené mapy povodňového ohrozenia, mapy povodňového rizika a pozdĺžny profil v písanej a grafickej forme. Súčasťou tvorby máp povodňového rizika bol aj odhadovaný počet povodňou potenciálne ohrozených obyvateľov.

Abstract: The subject of the project was to provide 2D hydrodynamic modelling of the determined discharges in the Uh river basin on Slovak and Ukrainian territory as part of activity 2.1 in the international FloodUZH project. The leading partner of the project was the Ukrainian partner Tisza River Basin Water Resources Directorate, and the Slovak partner was SLOVENSKÝ VODOHOSPODÁRSKY PODNIK, a state enterprise. The area of interest was the entire Slovak part of the Uh watercourse. A two-dimensional hydrodynamic mathematical model (2D model) was created, which included the Uh watercourse, part of the Laborec watercourse and parts of the two right-hand tributaries of the Uh, the Kanál Veľké Revištia – Bežovce and Čierna voda. A flood wave with a 10-, 100-, and 1000-year peak discharge was modelled as part of an unsteady flow. A flood wave with a transformed 100-year peak discharge and a flood wave with a 100-year peak discharge with a controlled break of the protective dam at the location of the safety spillway in the Lekárovce profile were also modelled. As part of a steady flow, the average daily discharge Q_{355} and the long-term average annual discharge Q_a were modelled. A calibrated 2D model was used, created for the purpose of flood wave modelling. Flood hazard maps, flood risk maps and a longitudinal profile were created from the modelling results in written and graphic form. The creation of flood risk maps also included the estimated number of residents potentially at risk of flooding.

1 ÚVOD

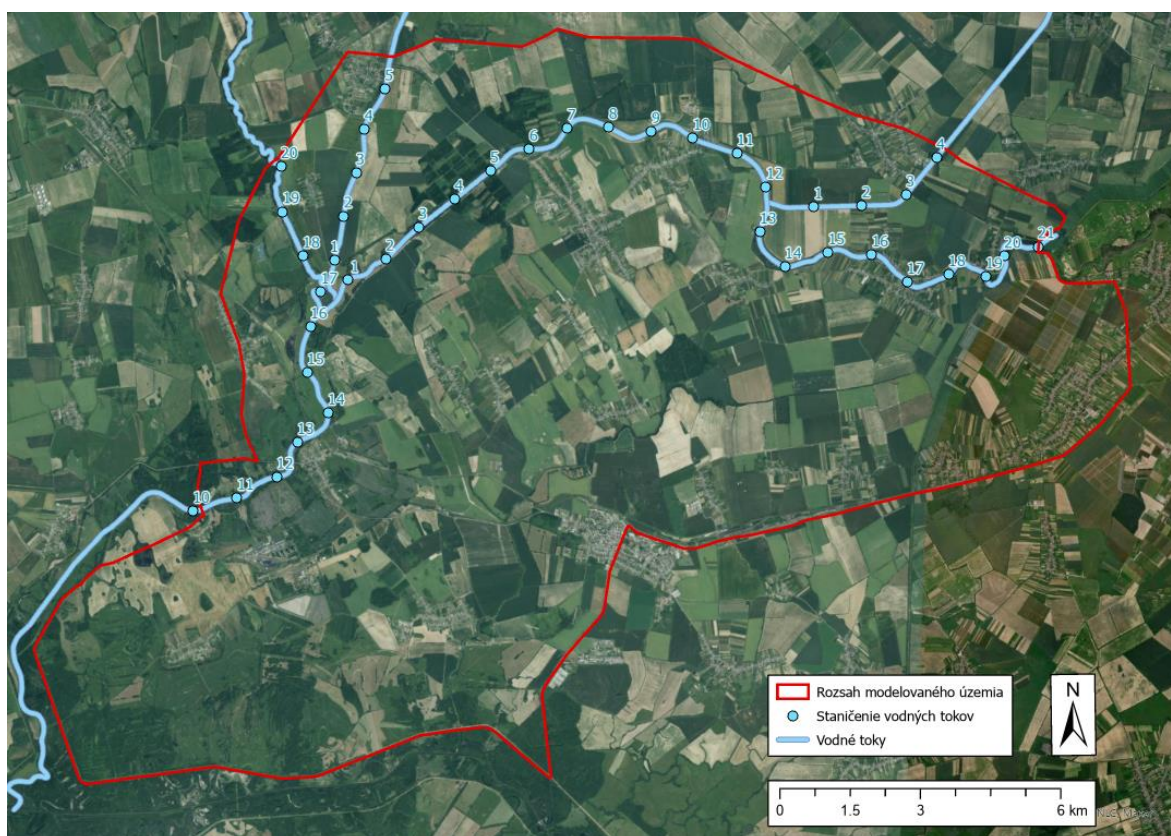
Predmetom projektu bolo zabezpečiť 2D hydrodynamické modelovanie určených prietokov v povodí rieky Uh na slovenskom a ukrajinskom území vrátane vypracovania máp povodňového ohrozenia a máp povodňového rizika v rámci aktivity 2.1 v medzinárodnom projekte FloodUZH „Joint activities for the prevention of natural disasters in the transboundary Uzh river basin“ spolufinancovaného prostredníctvom Spoločného operačného programu „Program

ENI cezhraničnej spolupráce Maďarsko – Slovensko – Rumunsko – Ukrajina 2014-2020“, kód projektu HUSKROUA/1702/8.1/0005. Vedúcim partnerom projektu je ukrajinský partner Tisza River Basin Water Resources Directorate a slovenským partnerom je SLOVENSKÝ VODOHOSPODÁRSKY PODNIK, štátny podnik.

2 ZÁUJMOVÉ ÚZEMIE A ROZSAH MODELOVANÉHO ÚZEMIA

Záujmové územie sa nachádza na rieke Uh v rkm 00,00 – 21,00 a rieke Laborec v rkm 10,00 – 20,00 a ich inundačnom území, ktoré zahŕňa aj pravostranné prítoky Kanál Veľké Revištia – Bežovce (rkm 0,00 – 4,00) a Čierna voda (rkm 0,00 – 5,00).

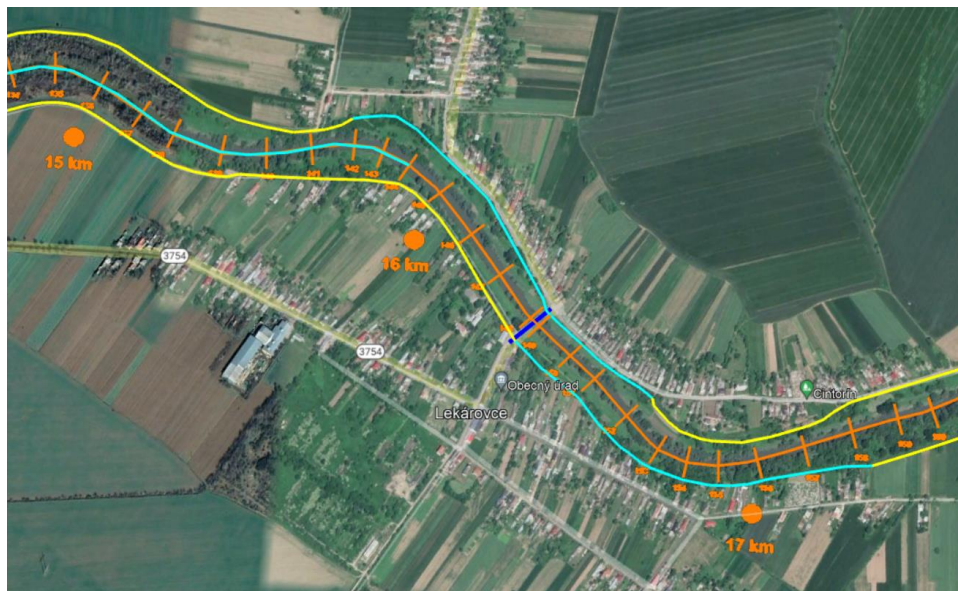
Rozsah 2D modelu bol zvolený tak, aby správne a dostatočne popísal modelované územie (Obr.1). Horný okraj modelu na rieke Uh bol zvolený v profile v rkm 21,00. Vytokanie vody z modelu bolo umožnené zadefinovaním dolnej hladinovej okrajovej podmienky na rieke Laborec v rkm 10,00 dostatočne vzdialenej od posudzovanej stavby.



Obr. 1 Rozsah modelovaného územia

3 VSTUPNÉ DÁTA A PRÍPRAVNÉ PRÁCE

Vstupné dáta a prípravné práce zahŕňali zabezpečenie hydrologických dát od SHMU pre maximálne prietoky Q_{10} , Q_{100} , Q_{1000} , objem povodňovej vlny Q_{100} a M-denné prietoky, zabezpečenie geodézie korýt príslušných vodných tokov, polohu a rozmery objektov. Ďalej digitálny terénny model s integrovanou geodéziou vo formáte ESRI TIN v polohovom súradnicovom systéme S-JTSK Krovak East North a v Baltskom výškovom systéme po vyrovnaní a rekognoskáciu terénu v celom rozsahu, ktorú sme vykonali v súčinnosti so správcom tokov (Obr. 2).



Obr. 2 Ukážka geodetického zamerania - situácia

4 TVORBA MODELU

Pre matematické hydrodynamické modelovanie jednotlivých scenárov, sme použili dvojrozmerné (2D) hydrodynamické modely. Vytvorené 2D modely umožňujú modelovanie neustáleného nerovnomerného prúdenia vody v korytách vodných tokov a na ich inundačných územiach, prúdenie vody cez objekty (mosty, priepusty, hate, stupne a pod.), zaplavovanie a vysušovanie územia počas simulácie, bodový prítok a bodový odber vody.

Na zostavenie jednotlivých 2D modelov a modelové simulácie sme použili softvérový nástroj MIKE 21FM verzia 2021 (MIKE by DHI) [1].

4.1 Schematizácia modelu a topografia terénu

Pri zostavovaní modelu bola vytvorená výpočtová sieť tvorená trojuholníkovými a štvoruholníkovými prvkami, ktorá pokrýva modelované územie v plnom rozsahu. Výpočtová sieť dostatočne vystihuje ako pôdorysné usporiadanie zástavby, tak aj terénne hrany, korytá tokov, líniové stavby, ochranné protipovodňové hrádze, cesty, atď. Budovy boli definované, ako neprelivné prekážky a z modelovanej oblasti vylúčené. Hustota siete bola premenlivá a zvolená tak, aby zabezpečovala dostatočnú presnosť modelovania a numerickú stabilitu simulácií. Topografia terénu vznikla prenesením údajov výšky terénu z digitálneho modelu terénu do výpočtovej siete. Podrobne popisuje tvar koryta, príľahlé územie, ako aj hrádze a násypy.

4.2 Odporové súčinitele a kalibrácia

Odporové súčinitele modelu boli zadávané formou Manningovho stupňa drsnosti M ($M = 1/n$). V modelovanom území boli definované rôzne stupne drsnosti v závislosti od povrchu terénu a jeho využitia. Model sme kalibrovali tak, aby výsledky modelovania čo najvernejšie zodpovedali skutočnosti. Na kalibráciu sme použili podklady z terénu z reálnych (povodňových) situácií na toku a v modelovanom území, a to najmä pozorované, zamerané a zaznamenané výšky vodnej hladiny a k tomu prislúchajúce prietoky vody. Kalibračným parametrom sú súčinitele drsnosti. Cieľom kalibrácie bolo dosiahnuť zhodu medzi modelovanými a zameranými výškami hladiny vody, prípadne rozsahmi záplavy. Použitý bol

reálny povodňový prietok $639 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ zaznamenaný 7.11.2016 na mernom profile Lekárovce a príslušné zamerané hladiny. Celkovo prebehlo 16 kalibračných výpočtov

5 MODELOVANÉ SCENÁRE A VÝSLEDKY

Základné scenáre Q_{10} , Q_{100} , Q_{1000}

Základné scenáre pre povodňové vlny Q_{10} , Q_{100} , Q_{1000} boli namodelované ako neustálené rovnomerné prúdenie. Horná okrajová podmienka bola umiestnená v rkm 21,00 Uhu, na hraničnom úseku s Ukrajinou. Dolná okrajová podmienka bola nastavená ako QH závislosť vypočítaná pomocou 1D modelu MIKE HYDRO v priečnom profile v rkm 10,20 Laborca. Doba simulácie bola nastavená na dĺžku vln, 80 hodín pre Q_{10} , 110 hodín pre Q_{100} a 121 hodín pre Q_{1000} . Z výsledkov simulácií vyplýva, že pri všetkých modelovaných povodňových prietokoch dochádza k preliatiu hrádzí a to konkrétne v oblasti ľavostrannej hrádzi na rkm 16,50 až 21,00 a na pravostrannej hrádzi v rkm 16,50 až 18,00. Maximálna prietočná kapacita súčasného medzihrádzového priestoru na úseku od štátnej hranice po Lekárovce je $690 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ pričom výška hladiny na vodočte v Lekárovciach je 109,02 m n.m.

Q_{100} s ovplyvneným prietokom

Pre Q_{100} s ovplyvneným prietokom bol dodaný kulminačný prietok $1402,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Celkovú ovplyvnenú povodňovú vlnu sme vypočítali na základe dát pre Q_{100} s neovplyvneným prietokom a to pomocou pomeru príslušných kulminačných prietokov a vynásobenia vypočítaným koeficientom 0,876. Celkový objem je tak znížený o 26,6 mil. m^3 a kulminačný prietok dosahuje daných $1402,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Bezpečnostný prípad

Scenár otvorenia bezpečnostného prípadu na rkm sme namodelovali na základe informácii z povodňového plánu zabezpečovacích prác SVP, š.p. OZ Košice [2].

Základné údaje prípadového objektu:

1. kóta koruny hrádzi: 110,50 – 110,60 m n.m.
2. kóta koruny prípadu: 109,90 m n.m.
3. dĺžka prípadu: 190 m

Bezpečnostný prípad je uvedený do činnosti, resp. dochádza k narušeniu ochrannej hrádzi v prípade splnenia dvoch podmienok:

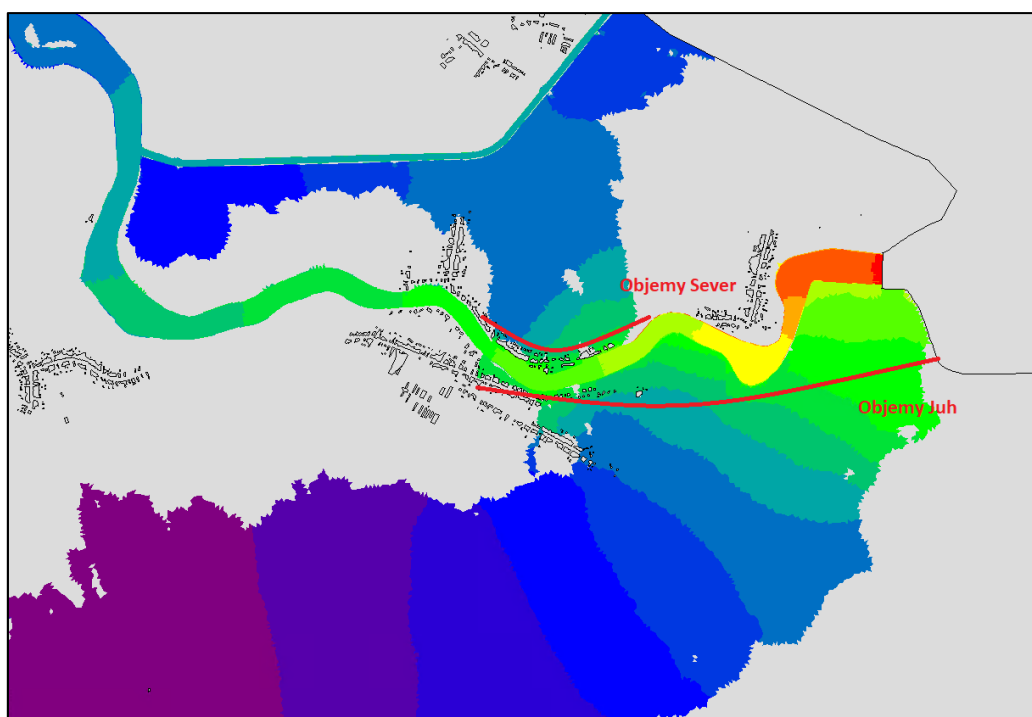
1. Pri dosiahnutí vodného stavu 210 cm na vodočtetnej late v Užhorode (a má stúpajúcu tendenciu cca 15 cm za hodinu) a je zrejmý predpoklad, že dôjde k prekročeniu vodného stavu 230 cm
2. Súčasne v situácii podľa bodu 1 hladina vody na vodočte v Lekárovciach prekročila vodný stav 900 cm

Pri simulácii povodňovej vlny Q_{100} predpokladáme splnenie podmienky 1, keďže vlna má rastúci charakter. V momente splnenia podmienky 2 dosahuje hladina v lokalite bezpečnostného prípadu 108,90 m n.m., teda 1 m pod kótu koruny prípadu. V tomto čase sa podľa manipulačného poriadku začína narušovať ochranná hrádza. V modeli je tento scenár namodelovaný znížením batymetrie na kótu koruny prípadu 109,90 m n.m. od začiatku simulácie.

Z výsledkov vyplýva, že prerušením ochrannej hrádzi sa predovšetkým redukovujú objemy vody v severnej inundácii medzi kanálom Veľké Revištie-Bežovce a pravostrannou hrádzou Uhu v rkm 12,40 až 21,00 vodného toku Uh, avšak stále dochádza k prelievaniu ochranných hrádzí v podobnom rozsahu ako pri scenári Q_{100} bez prerušenia ochrannej hrádzi pri bezpečnostnom prípade (Tab.1). Rozdielny je čas medzi preliatím na ľavostrannej hrádzi v lokalite bezpečnostného prípadu v rkm 19,20 a preliatím pravostrannej hrádzi na začiatku Lekároviec v rkm 17,90 (Obr. 3). Pri scenári Q_{100} bez narušenia ochrannej hrádzi je to 20 minút, zatiaľ čo pri scenári Q_{100} s narušením ochrannej hrádzi 100 minút. Pri teoretickom znížení koruny prípadu o 0,5 m na kótu 109,40 m n.m. sa časový rozdiel zvyšuje až na 280 minút.

Tab. 1 Vypočítané objemy

Simulácia	Objemy Juh [mil. m ³]	Objemy Sever [mil. m ³]
Q ₁₀	2,36	0,70
Q ₁₀₀	43,80	5,21
Q ₁₀₀ s priepadom	46,39	4,07
Q _{100,UA} s priepadom	31,74	3,16

**Obr. 3** Lokalizácia prietokových čiar, na základe ktorých boli vypočítané objemy preliatej vody cez ochranné hrádze

Ustálené nerovnomerné prúdenie

V rámci ustáleného nerovnomerného prúdenia sme na toku Uh modelovali priemerný denný prietok Q_{355} (nízky prietok) a dlhodobý priemerný ročný prietok Q_a . Na modelovanie prúdenia pri týchto prietokoch sme použili nakalibrovaný 2D hydrodynamický model, zostavený pre potreby modelovania prúdenia pri prechode povodňových vln:

1. $Q_a = 33,74 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
2. $Q_{355d} = 2,96 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Regulačné opatrenia pre nízke prietoky

Na základe požiadavky Slovenského vodohospodárskeho podniku sme navrhli regulačné objekty – dnové prahy v piatich lokalitách na úseku medzi štátnou hranicou s Ukrajinou a Lekárovcami. Cieľom je zastabilizovať úroveň dna na identifikovaných 5 brodoch (aby sa tam dno neprehlbovalo), ale aby bola zachovaná možnosť prirodzeného rozvoja morfolologickej diverzity v nadväznosti na obnovu bioty toku a to bez negatívneho dopadu na prechod návrhových povodňových vln.

Modelovanie vplyvu navrhovaných regulačných stavieb na prechod povodňových prietokov

Pomocou hydrodynamického modelovania bol zistený vplyv navrhnutých regulačných objektov - dnových prahov na povodňové hladiny Uhu. Vplyv dnových prahov bol zisťovaný pre prietok Uhu, tesne pred vyliatím z koryta cez ochranné hrádze, na základe diskusie a požiadavky SVP prednesenej na pracovnom výbore projektu. Tento prietok, tesne pred preliatím hrádzí, bol z výsledkov modelovania definovaný ako $690 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Výsledky modelovania preukázali, že navrhnuté dnové prahy v piatich lokalitách nemajú praktický vplyv na priebeh povodňových hladín.

6 ZÁVER

Predmetom projektu bolo zabezpečiť 2D hydrodynamické modelovanie určených prietokov v povodí rieky Uh na slovenskom a ukrajinskom území. Záujmovým územím bola celá slovenská časť vodného toku Uh. Zostavený bol dvojrozmerný hydrodynamický matematický model (2D model), ktorý bol nakalibrovaný. V rámci neustáleného prúdenia vody bola modelovaná povodňová vlna s 10, 100 a 1000-ročným kulminačným prietokom. V rámci ustáleného prúdenia vody bol modelovaný priemerný denný prietok Q_{355} (nízky prietok) a dlhodobý priemerný ročný prietok Q_a . Dôvodom modelovania týchto prietokov bolo preverenie hĺbkových pomerov v rámci celého rozsahu rieky Uh, definovanie problematických miest a návrh regulačných opatrení na stabilizáciu dna, ale s ohľadom na zachovanie možnosti prirodzeného rozvoja morfolologickej diverzity v nadväznosti na obnovu bioty toku a to bez negatívneho dopadu na prechod návrhových povodňových vln. Z výsledkov modelovania boli vytvorené mapy povodňového ohrozenia, mapy povodňového rizika a pozdĺžny profil v písanej a grafickej forme. Súčasťou tvorby máp povodňového rizika bol aj odhadovaný počet povodňou potenciálne ohrozených obyvateľov. Na základe výsledkov modelovania vznikol súbor odporúčaní, ktoré sú uvedené v technickej správe projektu.

ZOZNAM LITERATÚRY

- [1] MIKE by DHI: MIKE 21FM Hydrodynamic Module, User Guide, 2021
- [2] Povodňový plán zabezpečovacích prác SVP, š.p. OZ Košice, skrátená verzia, 2020

AUTORI

Autor 1: Ing. Juraj Bajčan, DHI SLOVAKIA, s.r.o., Hattalova 12, 831 03 Bratislava, Slovenská republika, juba@dhigroup.com

Autor 2: Ing. Stanislav Grand, MSc., DHI SLOVAKIA, s.r.o., Hattalova 12, 831 03 Bratislava, Slovenská republika, stan@dhigroup.com

Autor 3: Ing. Martin Mišík, PhD, DHI SLOVAKIA, s.r.o., Hattalova 12, 831 03 Bratislava, Slovenská republika, mam@dhigroup.com

Autor 4: Ing. Marián Kučera, DHI SLOVAKIA, s.r.o., Hattalova 12, 831 03 Bratislava, Slovenská republika, mk@dhigroup.com

Autor 5: Ing. Dušan Mydla, SLOVENSKÝ VODOHOSPODÁRSKY PODNIK, štátny podnik, Povodie Hornádu, odštepny závod, Ďumbierska 14, 041 59 Košice, Slovenská republika, dusan.mydla@svp.sk

Autor 6: Ing. Ingrid Frühaufová, SLOVENSKÝ VODOHOSPODÁRSKY PODNIK, štátny podnik, Povodie Hornádu, odštepny závod, Ďumbierska 14, 041 59 Košice, Slovenská republika, ingrid.fruhaufova@svp.sk

NÁVRH INOVATÍVNYCH USMERŇOVACÍCH STAVIEB V ZDRŽI HRUŠOV

DESIGN OF INNOVATIVE FLOW DIVERSION STRUCTURES IN THE HRUŠOV RESERVOIR

Martin Mišík¹, Marián Kučera², Vanda Dubová³, Ján Kováčik⁴, Peter Glaus⁵,
Henrieta Farkas⁶

Abstrakt: V zdrži Hrušov vodného diela Gabčíkovo dochádza k usadzovaniu riečnych sedimentov, ktorých nánosy je potrebné priebežne odstraňovať z plavebnej dráhy. Objem údržbového bagrovania plavebnej dráhy v dolnej časti zdrže Hrušov bude možné znížiť pomocou stavieb usmerňujúcich prúdenie vody a proces usadzovania sedimentov. Preskúmaný bol hydraulický účinok 26 alternatív rôznych tvarov usmerňovacích stavieb. Na základe hydraulickej optimalizácie a cost-benefit analýzy, aj so zarátaním ekosystémových služieb, boli navrhnuté inovatívne konštrukcie usmerňovacích stavieb vo forme ostrovov a atolov, zohľadňujúce požiadavky aktérov v záujmovom území. Navrhnuté usmerňovacie stavby je potrebné chápať ako súčasť komplexných opatrení udržateľného manažmentu sedimentov na vodnom diele Gabčíkovo.

Abstract: River sediments are deposited in the Hrušov reservoir of the Gabčíkovo waterworks. These deposits of sediments must be continuously removed from the waterway. The volume of maintenance dredging of the fairway in the lower part of the Hrušov reservoir will be possible to reduce with the help of structures that direct the flow of water and the process of sedimentation. The hydraulic effect of 26 alternatives of different shapes of diversion structures was investigated. Based on hydraulic optimization and cost-benefit analysis, also considering ecosystem services, innovative constructions of flow diversion structures in the form of islands and atolls were designed, taking into account the requirements of stakeholders in the area of interest. The proposed flow diversion structures must be understood as part of complex measures of sustainable sediment management of the Gabčíkovo waterworks.

1 ÚVOD

Zanášanie zdrže Hrušov riečnymi sedimentami Dunaja je reálnou súčasťou prevádzky VD Gabčíkovo a vyvoláva potrebu bagrovania na údržbu plavebnej dráhy.

Tento príspevok popisuje výsledky projektu „Zmena rýchlosti prúdenia v dolnej časti zdrže Hrušov – predprojektová a projektová príprava“ [1], ktorého cieľom bolo navrhnuť technické opatrenia, usmerňovacie stavby, v dolnej časti zdrže Hrušov na Dunaji, ktorými sa dosiahnu také rýchlosti prúdenia vody, ktoré budú minimalizovať usadzovanie sedimentov v trase plavebnej kynety. Zadávatelom projektu a štúdie uskutočniteľnosti bol štátny podnik VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA, ŠTÁTNY PODNIK, riešiteľský tím tvorili spoločnosti DHI SLOVAKIA, s.r.o., HYDROCONSULTING, s.r.o. a EKOJET s.r.o.

2 KONZULTÁCIE S AKTÉRMÍ

V súlade s príkladmi dobrej praxe a odporúčanými dokumentami ICPDR [2], ICOLD [3], PIANC [4], sme v počiatočnej fáze návrhu usmerňovacích stavieb konzultovali s aktérmi v území. Požiadavky, návrhy a limity pre riešenie definovali: Slovenský vodohospodársky podnik, Vodohospodárska výstavba, Bratislavská vodárenská spoločnosť, Štátna ochrana prírody, Slovenská ornitologická spoločnosť, Prístav Kormorán, Mesto Šamorín, X-Bionic Sphere, Jachtársky klub Dynamo, Asociácia bratislavských vodáckych klubov, Dunajbus.

3 HYDRAULICKÝ NÁVRH

Základnou ideou a princípom navrhovaného technického riešenia pre zmiernenie zanášania plavebnej dráhy v zdrži Hrušov je využitie prírodného procesu unášania sedimentov prúdiacou vodou. Viac prúdenia = menej bagrovania. Je to príklad koncepcie Nature Based Solutions.

Usmerňovacie stavby sme navrhovali tak, aby ich umiestnenie a tvar obmedzovali prúdenie vody do ľavej časti zdrže pri Šamoríne, a aby ho presmerovali a koncentrovali viac do plavebnej dráhy. Cieľom bola čo najlepšia hydraulická efektívnosť usmerňovacích stavieb, teda čo najvyšší účinok na žiadúce presmerovanie prúdenia a zmiernenie procesu usadzovania sedimentov, a zároveň čo najmenší odpor pre povodňové prietoky a minimálne vzdúvanie povodňových hladín. Tvary a umiestnenie stavieb boli navrhované tak, aby popri hydraulických kritériách podľa možnosti vyhovovali aj požiadavkám aktérov v území.

3.1 Modelovanie

Na modelovanie účinkov stavieb usmerňujúcich prúdenie vody a usadzovanie riečnych sedimentov sme použili 2D hydrodynamický model. Model bol zostavený pomocou softvérového nástroja MIKE 21 FM s integrovaným modulom na výpočet transportu sedimentov (DHI Group, verzia 2019). Model pokrýval dolnú časť zdrže Hrušov a prívodný derivačný kanál po VE Gabčíkovo. Výstupom hydrodynamického modelu bola plošná informácia o rýchlosti a smeroch prúdenia, nadmorskej výške hladiny, hĺbke vody a tangenciálnom napätí pri dne. Výstupom modelu transportu sedimentov bola nová batymetria transformovaná nánosmi sedimentu resp. eróziou riečneho dna.

3.2 Odporučené tri varianty

Podľa modelovaných rýchlostí prúdenia sme testované tvary a umiestnenie usmerňovacích stavieb postupne menili a dopĺňali, s cieľom dosiahnuť čo najlepšiu hydraulickú účinnosť. Testovaných bolo spolu 26 alternatív usmerňovacích stavieb a ich modifikácií (Obr. 1). Do užšieho hodnotenia boli vybrané tri varianty: súvislá smerná stavba, tri nadväzné smerné stavby a sústava ostrovov a atolov.



Obr. 1 Znáznornenie preverovaných alternatív usmerňovacích stavieb

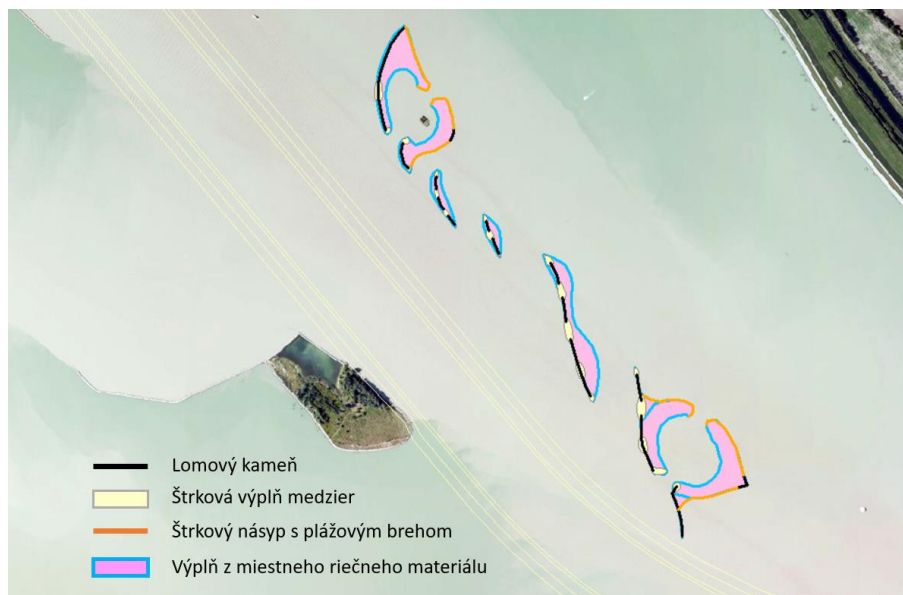
4 VÝSLEDNÝ NÁVRH A JEHO KONŠTRUKČNÉ RIEŠENIE

4.1 Výber výsledného návrhu

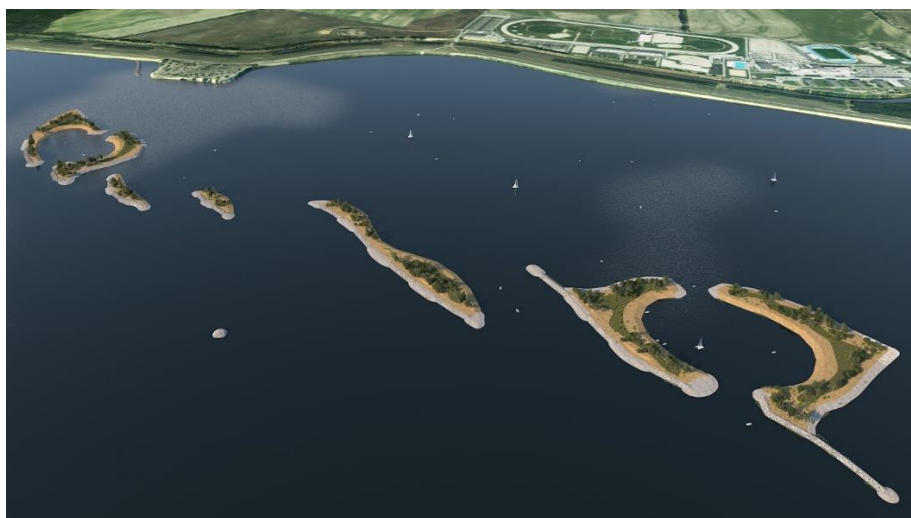
Výsledný návrh bol vybraný na základe výsledkov hodnotenia technickej efektívnosti a hydraulického funkčnosti opatrení, miery splnenia požiadaviek aktérov, finančnej efektívnosti a šetrnosti k životnému prostrediu. Vybraný bol variant č. 3, teda usmerňovacie stavby vo forme ostrovov a atolov s viacerými funkciami.

4.2 Konštrukčné riešenie

Návrh konštrukčného riešenia pripravila projekčná spoločnosť HYDROCONSULTING v spolupráci s DHI. Navrhnutá a vyprojektovaná bola kombinácia odolných kamenných nosných konštrukcií, overených na mnohých regulačných stavbách na Dunaji, s násypmi z riečného štrku a výplňou z jemnozrnného materiálu miestne bagrovaného pri údržbe plavebnej dráhy (Obr. 2, Obr. 3, Obr. 4). Nosné časti konštrukcie z lomového kameňa zabezpečia hydraulickú účinnosť a odolnosť aj v extrémnych podmienkach veľkých vôd a silných vetrov s vlnobitím. Násypy z riečného štrku zabezpečia priaznivé podmienky pre rekreačné využitie ostrovov a atolov ľuďmi a zároveň podmienky na život rozmanitých pôvodných dunajských rastlinných a živočíšnych druhov, vrátane rýb. Výplňou bude deponovaný jemnozrnný materiál z údržbového bagrovania plavebnej dráhy, ktoré bude v redukovanej miere potrebné v blízkosti usmerňovacích stavieb aj po ich realizovaní. To ušetrí náklady na odvoz a ďalšie nakladanie s týmto materiálom.



Obr. 2 Usmerňovacie ostrovy a atoly – znázornenie materiálu na ich výstavbu



Obr. 3 Vizualizácia usmerňovacích ostrovov a atolov – celkový pohľad



Obr. 4 Vizualizácia usmerňovacích ostrovov a atolov – detailný pohľad

5 EKONOMICKÉ A ENVIRONMENTÁLNE HODNOTENIE VIACÚČELOVÉHO RIEŠENIA

Súčasťou projektu bola cost-benefit analýza, kvantitatívne boli vyjadrené ekosystémové služby, ktoré budú nové usmerňovacie stavby poskytovať. Hodnotené boli prínosy vo forme úspory na údržbovom bagrovaní. Vypracovaný bol aj ichtyologický a riečno-ekologický posudok. Všetky uvedené hodnotenia podporili výhodnosť výsledného viacúčelového návrhu. Priaznivé boli výsledky skríningu vplyvov na životné prostredie, ako aj posudzovanie vplyvu na stav vodných útvarov podľa článku 16a Zákona o vodách.

6 ÚLOHA USMERŇOVACÍCH STAVIEB V UDRŽATELNEJ PREVÁDZKE VD GABČÍKOVO

Navrhnuté usmerňovacie stavby nenahrádzajú potrebu komplexného udržateľného manažmentu sedimentov na VD Gabčíkovo, ale budú jeho dôležitou súčasťou. Udržateľnou prevádzkou VD Gabčíkovo sa zaoberá Konceptia vodnej politiky Slovenskej republiky do roku 2030 s výhľadom do roku 2050, Príloha DUNAJ: Prípadová štúdia udržateľného využívania, ochrany a obnovy [5]. Komplexný manažment sedimentov na VD Gabčíkovo patrí medzi jej prioritné opatrenia. Tento strategický dokument zároveň definuje opatrenia na zmiernenie negatívnych dopadov prevádzky VD Gabčíkovo na prírodné prostredie. Revitalizačné úpravy pre zlepšenie hydromorfológie na bratislavskom úseku Dunaja, ktorý je ovplyvnený vzduťm, je možné výhodne skombinovať s výstavbou navrhnutých usmerňovacích ostrovov a atolov v zdrži Hrušov. Na ich výstavbu je možné efektívne a hospodárne využiť materiál z odstráneného brehového opevnenia a z bagrovania pri obnove ramien. Navrhnuté usmerňovacie stavby tak prispievajú k všetkým trom pilierom udržateľnej prevádzky VD Gabčíkovo: teda k ekonomickému (úspora na bagrovaní, efektívnejšia plavba), environmentálnemu (obnova a náhrada riečnych biotopov) a sociálnemu (rekreácia, oddych a vzdelávanie v prírodnom prostredí).

7 ZÁVER

V dolnej časti zdrže Hrušov vodného diela Gabčíkovo boli navrhnuté a vyprojektované inovatívne viacúčelové usmerňovacie stavby vo forme ostrovov a atolov, ktorých úlohou bude presmerovanie a koncentrovanie prúdenia vody do plavebnej dráhy, s cieľom znížiť mieru jej zanášania usadzovanými sedimentami a potrebu údržbového bagrovania. Inovatívne riešenie týchto stavieb, v duchu konceptu Nature Based Solutions, zároveň vytvorí nové podmienky na rekreačné využitie, ako aj na život rozmanitých pôvodných dunajských živočíšnych a rastlinných druhov, ako čiastočnú náhradu za pôvodné riečne biotopy, ktoré výstavbou a prevádzkou VD Gabčíkovo zanikli, alebo boli silne poškodené. Tým sa posilní udržateľnosť prevádzky VD Gabčíkovo. Pri riešení sa osvedčili konzultácie s aktérmi v úvodnej fáze rozpracovania zámeru. Potvrdilo sa, že investícia času do participatívneho zapojenia aktérov pri hľadaní najvhodnejšieho riešenia sa neskôr zúčnila vo forme kvalitnejšieho viacúčelového návrhu so širokou podporou. Navrhnuté usmerňovacie stavby nenahrádzajú potrebu komplexného manažmentu sedimentov na VD Gabčíkovo, ale budú jeho dôležitou súčasťou. Navrhnuté usmerňovacie stavby majú potenciál efektívneho spojenia s revitalizačnými opatreniami na bratislavskom úseku Dunaja, pretože na ich výstavbu možno efektívne využiť prebytočný materiál z prírodnej obnovy brehov a ramien.

ZOZNAM LITERATÚRY

- [1] *Mišík, M. a kol. (2020): Zmena rýchlosti prúdenia v dolnej časti zdrže Hrušov – predprojektová a projektová príprava. Štúdia uskutočniteľnosti. DHI SLOVAKIA, s.r.o a HYDROCONSULTIG, s.r.o.*
- [2] *ICPDR (2010): Manual on Good Practices in Sustainable Waterway Planning*
- [3] *ICOLD (2010): Position Paper on an Improved Planning Process for Water Resources Infrastructure*
- [4] *PIANC (2008): Position Paper – Working with Nature*
- [5] *Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky (2022): Koncepcia vodnej politiky Slovenskej republiky do roku 2030 s výhľadom do roku 2050, Príloha DUNAJ: Prípadová štúdia udržateľného využívania, ochrany a obnovy. Slovenská agentúra životného prostredia. ISBN: 978-80-8213-086-0*

AUTORI

Autor 1: Ing. Martin Mišík, PhD., DHI SLOVAKIA, s.r.o, Hattalova 12, 831 03 Bratislava, Slovensko, mam@dhigroup.com

Autor 2: Ing. Marián Kučera, DHI SLOVAKIA, s.r.o., Hattalova 12, 831 03 Bratislava, Slovensko, mk@dhigroup.com

Autor 3: Ing. Vanda Dubová, PhD., DHI SLOVAKIA, s.r.o., Hattalova 12, 831 03 Bratislava, Slovensko, vad@dhigroup.com

Autor 4, 5: Ing. Ján Kováčik, Ing. Peter Glaus, HYDROCONSULTING s r.o., Bulharská 70, 821 04 Bratislava, Slovensko, hci@hydroconsulting.sk

Autor 6: Bc. Henrieta Farkas, VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA, ŠTÁTNY PODNIK, Karloveská 2, 841 04 Bratislava, Slovensko, henrieta.farkas@vzb.sk

NOVÉ POSTUPY PŘI NÁVRHU A REALIZACI PROTIABRAZNÍCH OPATŘENÍ S FUNKCÍ PODPORY DIVERZITY STANOVIŠŤ A ODOLNOSTI VODNÍCH EKOSYSTÉMŮ

NEW APPROACHES TO THE DESIGN AND IMPLEMENTATION OF ANTI- ABRASION MEASURES WITH THE FUNCTION OF PROMOTING HABITAT DIVERSITY AND RESILIENCE OF AQUATIC ECOSYSTEMS

Jaroslav Vrzák¹, Martin Hladík², Jakub Borovec³, Felipe Bretón⁴, Jan Pixa⁵,
Jaroslav Zvánovec⁶, Pavel Krejcar⁷

Abstrakt: V oblasti vodního hospodářství patří mezi aktuálně řešené problémy také objemy a složení sedimentů uložených v nádržích, ochrana vodních děl a snížení zranitelnosti vodních děl. Ať už z technického hlediska (například břehová abraze) nebo zvýšení biodiverzity (například prostřednictvím rozšíření/vytvoření vhodných stanovišť pro organismy). Realizace zmíněných podpurných projektů zpravidla vyžaduje umístění vhodných multi funkčních stavebních prvků, u kterých je požadována ochranná funkce z vodohospodářského hlediska, současně i funkce podporující životní prostředí a vzhledem k velkým nákladům musí být i ekonomicky uchopitelná. Z výčtu technických možností se jedná například o ponořené vlnolamy vhodné pro absorpci energie vln, struktury usměrňující proudění pro ovlivnění režimu sedimentace částic, výplňové konstrukce s využitím sedimentu do polo ponořených vlnolamů a jiné. V příspěvku budou prezentovány postupy a výsledky aktuálně řešeného výzkumného projektu optimalizace návrhu tvaru a umístění ponořených vlnolamů jako nástroje pro ochranu pobřeží s doplňkovými funkcemi podpory diverzity stanovišť a následně biodiverzity přírodní rezervace. Výsledné řešení přinese úspory na objemu materiálu, sníží zatížení ekosystému v průběhu realizace stavby a díky detailnímu 3D modelu zvýší pravděpodobnost úspěšného umístění konstrukčních prvků vlnolamu.

Abstract: In the field of water management, the volumes and composition of sediments deposited in reservoirs, the protection of reservoirs and the reduction of the vulnerability of reservoirs are among the issues currently being addressed. Either from a technical point of view (e.g. bank abrasion) or biodiversity enhancement (e.g. through the expansion/creation of suitable habitats for organisms). The implementation of the above-mentioned support projects generally requires the placement of suitable multi-functional construction elements, which are required to have a protective function from a water management point of view, as well as an environmental support function and, given the high costs involved, must also be economically viable. Among the list of technical options, these include submerged breakwaters suitable for absorbing wave energy, flow directing structures for influencing the sedimentation regime of particles, infill structures using sediment in semi-submerged breakwaters and others. The paper will present the procedures and results of a current research project to optimize the design shape and placement of submerged breakwaters as a tool for coastal protection with the additional functions of promoting habitat diversity and consequently biodiversity of the nature reserve. The resulting solution will result in savings in material volume, reduce the load on the ecosystem during construction and, thanks to a detailed 3D model, increase the likelihood of successful placement of the breakwater structural elements.

1 ZKUŠEBNÍ POLYGON - TECHNOLOGIE PRO PŘETVOŘENÍ SEDIMENTŮ NA DRUHOTNOU SUROVINU A JEJÍ VÍCEÚČELOVÉ VYUŽITÍ V OPATŘENÍCH PRO POSÍLENÍ VODNÍCH EKOSYSTÉMŮ

Výchozí bodem úvah rozvinutých v příspěvku jsou následující skutečnosti:

1. sedimenty jsou obecně vnímány jako **odpad** místo toho, aby byly považovány za **surovinu**,
2. člověk obecně jakoukoli svojí činností narušuje rovnováhu ekosystémů, což se negativně promítá do jejich odolnosti vůči změnám (klimatické, ekologické,...),
3. ekologické postupy můžou být i ekonomické – novými postupy lze při zachování požadované funkčnosti docílit i nákladově levnějších řešení oproti tvrdým technickým opatřením.

Na sedimenty lze z geologického, ale i technického hlediska nahlížet jako na tříděný materiál různé zrnitosti, různém složení a obsahu organických látek koncentrovaný na jednom místě. Právě složení sedimentů zásadně ovlivňuje jejich vlastnosti i možnosti dalšího nakládání s nimi - organické sedimenty jsou vhodné do kompostáren, tříděné šterkopisky pro použití v pozemním stavitelství, existuje šedá zóna sedimentů jejichž uplatnění není zcela jednoznačné. Jeden z logických pohledů hovoří o navrácení sedimentu na jejich původní místo, tj. na zemědělský půdní fond. Proveditelnost tohoto opatření v případě větších objemů materiálu naráží na zajištění vhodných pozemků a zároveň potřebnost souhlasu vlastníků pozemků, na jakost (složení) sedimentu, zatížení/nezatížení sedimentů polutanty, morfologii terénu, dopravní trasy, ekologické dopady, kompenzační opatření a mnoho dalšího. Ostatní způsoby nakládání jako zasypávání a rekultivace už nenaplnují principy cirkulární ekonomiky, kdy rekultivovat nebo zasypat lze méně hodným materiálem nebo materiálem dostupným v menších přepravních vzdálenostech.

V oblasti vodního hospodářství, patří mezi aktuálně řešené problémy také objemy a složení sedimentů uložených v nádržích, ochrana vodních děl a snížení zranitelnosti vodních děl. Ať už z technického hlediska (například břehová abraze) nebo zvýšení biodiverzity (například prostřednictvím rozšíření/vytvoření vhodných stanovišť pro organismy). Realizace zmíněných podpůrných projektů zpravidla vyžaduje umístění vhodných multifunkčních stavebních prvků, u kterých je požadována ochranná funkce z vodohospodářského hlediska, současně i funkce podporující životní prostředí a vzhledem k velkým nákladům musí být i ekonomicky uchopitelná. Z výčtu technických možností se jedná například o ucelený systém sestávajících primárně z **ponořených vlnolamů**. Tyto vlnolamy jsou na základě matematického 3D modelu vhodně uspořádány tak, aby jejich struktury usměrňovaly proudění ovlivňující režim sedimentace částic a tím umožňovaly sedimentaci sedimentů s vytvoření litorálních zón včetně rozvoje vegetace. Ponořené vlnolamy zajišťují dominantní absorpci energie vln, ochranu proti abrazi pak vhodně navržený ucelený systém vlnolamů a litorálního pásma. Pro snížení zátěže navrhovaných opatření v souladu s cirkulární ekonomikou je uvažováno s kompletní či výplňovou konstrukcí ponořených nebo polo ponořených vlnolamů s využitím místního sedimentu. Tento ucelený systém protiabrazních opatření zároveň zvyšuje diverzitu a stanovišť a tím přispívá k posílení biodiverzity v chráněném úseku pobřeží vodní nádrže.

V rámci probíhajícího výzkumného projektu (2023 – 2025) „**Vývoj technologie pro přetvoření sedimentů na druhotnou surovinu a její víceúčelové využití v opatřeních pro posílení vodních ekosystémů**“ se snažíme o propojení čtyř souborů činností, které mohou být využívány samostatně. Jejich kombinací však bude dosaženo značného pozitivního synergického efektu.

Kromě zmíněných potřeb vodního hospodářství vybrané soubory činností reflektují i principy a potřeby aktuální v oblasti životního prostředí:

1. potřebu rozvoje cirkulární ekonomiky ať už s cílem snížení produkce odpadů nebo úspory primárních zdrojů surovin;
2. změnu stylu projektování některých staveb, kdy namísto stavění (se) proti přírodním silám je výhodnější je akceptovat a nechat je podílet se na dotvoření výsledného díla;
3. snížení CO₂ stopy a adaptace na klimatickou změnu.
4. zvýšení odolnosti vodních ekosystémů (zvýšení biodiverzity).

K uvedeným bodům byly stanoveny dílčí projektové cíle:

1. Navrhnout a otestovat složení záměsí hydraulických pojiv se sedimentem pro různé typy sedimentů s cílem zjistit rozsah dosažitelných geotechnických vlastností se zohledněním ekonomiky a vstupu příměsí. (soubor činností 1, 2, 3).
2. Navrhnout a otestovat postup sběru údajů (monitoring) v zájmové lokalitě, které umožní návrh opatření, které splní požadované funkce - ochrana břehů, tvorba habitatů (soubor činností 2, 3,4).
3. Navrhnout sestavit a otestovat technologii přetvoření sedimentů na výrobek využitelný v nenosných nebo výplňových stavebních konstrukcích v nádržích i mimo ně (soubor činností 1, 3).

Projektový cíl A – Přetvoření sedimentů

Sedimenty v nádržích se od sebe odlišují mineralogickým složením (dáno geologií povodí), zrnitostním složením částic a obsahem organické hmoty. Všechny zmíněné ukazatele budou ovlivňovat geotechnické vlastnosti výrobku a v případě, že chceme zachovat přijatelnou ekonomiku následné technologie a nezhoršovat životní prostředí, je nutné zjistit, kde se pohybují hranice použitelnosti sedimentů pro přetvoření.

Pokud bychom přirovnali záměs typických jemnozrnných sedimentů k záměsí betonu, sedimenty budou postrádat šterkovou část plniva, budou obsahovat málo písku, a převažovat bude jemný písek s prachojílovými částicemi s obsahem organické hmoty kolem 8-10 %. Bez ohledu na množství a typ plniva nelze očekávat žádných vysokých pevností, jejich použití je zatím mimo představivost projektantů. Přesto na základě předběžných experimentů bylo možné dosáhnout pevnosti v tlaku 3-5 N/mm² a materiál se přes zimu nerozpadl (nepublikovaná data řešitele).

Na rozdíl od betonových záměsí, kdy při jejich navrhování jsou zohledňovány i další faktory jako tvarová stálost, pohledová stálost, doba zpracovatelnosti, nástupy tvrdostí, aj. v případě sedimentových záměsí nic kromě pevnosti a minimální spotřeby přidávaných složek nehraje roli. V tomto ohledu jsou možnosti kombinací značné.

Na rozdíl od betonových záměsí, do kterých jednotlivé složky vstupují jako homogenní a obsahující pouze běžnou vlhkost, pro sedimenty v praxi očekáváme značné odlišnosti, minimálně v obsahu vody (cca 40 – 50 % pro sedimenty hlubších vrstev v rostlém stavu) ovlivněném i způsobem těžby, což bude mít vliv i na výsledné receptury. Pro kompenzaci rozdílů ve složení sedimentů z jedné nádrže (lépe z jednoho místa v nádrži) předpokládáme spíše úpravu množství plniva, nikoli pojiva.

Na pretvárení sedimentů je možné pohlízet i jako na geotechnickou úpravu zemin. Samotný sediment svými vlastnostmi podmínkám pro použití ve stavitelství nevyhoví, jeho pretvořená verze už ano (snížení plasticity, snížení stlačitelnosti nebo zvýšení smykové pevnosti; nepublikovaná data hlavního řešitele).

Projektový cíl B – Sběr údajů a návrh a vyhodnocení opatření

Ekosystémy i stavby jsou ovlivňovány vnějšími podmínkami, nejvíce pak jejich extrémy, a to dlouhodobými nebo nárazovými výkyvy. Chování ekosystému nebo stavby v průběhu nárazového extrému se zpravidla obtížně sleduje, neboť probíhá krátce a člověk není na místě nebo jsou podmínky natolik nebezpečné, že je přítomnost na místě vyloučená. Tato skutečnost je v praxi řešena zpravidla nepřímou, tj. důsledky a projevy jsou vztaženy k nějakému parametru, který monitorovat lze, například rychlost a směr větru. Toho, společně s morfologií nádrže a četností výskytu větrných extrémů, je využito při návrhu výběhu vlny dle ČSN 75 0255 „Výpočet účinků vln na stavby na vodních nádržích a zdržích“. Metoda je jednoduchá, rychlá a osvědčená, ale stanovuje mezní hranice, kterým má daná konstrukce odolat.

Z pohledu ekosystému jsou disturbance důležité pro zachování jeho diverzity. Mezi nejcennější vodní biotopy patří obnažená dna (např. stanoviště 3260 nebo 3270 soustavy NATURA 2000). Pro zachování různorodosti stanovišť je vyloučení/odclonění efektu extrémních epizod nežádoucí. Ocitáme se tedy v situaci, kdy biolog tuší, co chce z hlediska stanovišť, nik a organismů, ale neumí svůj požadavek převést do rychlostí, sil nebo energií abiotického prostředí, a projektant/stavař umí spočítat pouze teoretický extrém.

Východiskem z nastíněné situace může být využití pokročilého 3D modelování, založeného na detailní sběru dat v místě lokality a jejich použitím po kalibraci zvoleného modelu. Model následně umožní provádět zobecnit a pochopit procesy na zájmové lokalitě a provádět simulace zvolených scénářů extrémů nebo částečně i odpovědi na budoucí vývoj klimatu.

Projektový cíl C – Technologie na pretváření sedimentů a jejich ukládání do vody

Jak je uvedeno výše v textu, na výrobek lze pohlízet jako na „beton“ velmi malých pevností nebo z jiného hlediska jako na geotechnicky upravenou zeminu. Přes rozdíly mezi „betonem“ a „zeminou“ lze na základě literatury a předběžných testů konstatovat, že nebude možné jednoduše přizpůsobit žádnou ze zavedených technologií. Záměsí se nechovají jako beton (netečou ani se nesypou, pouze se lepí), a pro geotechnickou úpravu zemin je vhodná jejich vlhkost kolem 10 %, ale sedimenty budou mít vlhkost vyšší.

Z hlediska vývoje bude nutné se zaměřit na způsob míchání a ukládání. Kromě technické proveditelnosti jsou z environmetálního hlediska důležité i rozdíly v mechanických a tvarových vlastnostech produktu. Zatímco například zploštělý válec v geotextilii je relativně homogenní, pevný a stabilní, má ke svému objemu malý povrch. Naopak pro „volně ložený“ výrobek, pravděpodobně zhotovený z tužšího materiálu, by mohl být poměr povrchu a objemu výrazně vyšší ve prospěch povrchu.

S ohledem na některé části koloběhu uhlíku, vytvoření potravních nebo úkrytových možností a celkovou diverzifikaci v zásadě plochého dna a prázdného vodního sloupce se zdá varianta heterogenního opatření s větším povrchem jako výhodnější. Důležitými skutečnostmi bude i proveditelnost, stabilita a ekonomika postupu (včetně realizačního času).

V příspěvku budou prezentovány postupy a výsledky aktuálně řešeného výzkumného projektu optimalizace návrhu tvaru a umístění ponořených vlnolamů jako nástroje pro

ochranu pobreží s doplnkovými funkciami podpory diverzity stanovišť a následně biodiverzity přírodní rezervace. Výsledné řešení přinese úspory na objemu materiálu, sníží zatížení ekosystému v průběhu realizace stavby a díky detailnímu 3D modelu zvýší pravděpodobnost úspěšného umístění konstrukčních prvků vlnolamu.

AUTOŘI

Autor 1: Ing. Jaroslav Vrzák, HG partner s.r.o., Smetanova 200, 250 82 Úvaly, ČR, vrzak@hgpartner.cz

Autor 2: Ing. Martin Hladík, HG partner s.r.o., Smetanova 200, 250 82 Úvaly, ČR, hladik@hgpartner.cz

Autor 3: RNDr. Jakub Borovec, Ph.D., Biologické centrum AVČR, v.v.i., Branišovská 31, 370 05 České Budějovice, ČR, jakub.borovec@bc.cas.cz

Autor 4: Felipe Bretón, MSc., Biologické centrum AVČR, v.v.i., Branišovská 31, 370 05 České Budějovice, ČR, felipe.breton@bc.cas.cz

Autor 5: Mgr. Jan Pixa, Ph.D., Biologické centrum AVČR, v.v.i., Branišovská 31, 370 05 České Budějovice, ČR, jan.pixa@bc.cas.cz

Autor 6: Ing. Jaroslav Zvánovec, Zvánovec a.s., Rudolfovská tř. 597, 370 01 České Budějovice, zvanovec@zvanovec.cz

Autor 7: Pavel Krejcar, Zvánovec a.s., Rudolfovská tř. 597, 370 01 České Budějovice, krejcar@zvanovec.cz

ONLINE KALKULAČKA PRO NAVRHOVÁNÍ VODNÍCH NÁDRŽÍ

ONLINE CALCULATOR FOR DESIGNING WATER RESERVOIRS

Adam Hromada¹, Martin Horský²

Abstrakt: Příspěvek představuje počítačový program – online kalkulačku pro navrhování vodních nádrží na území České republiky, který vznikl jako diplomová práce Adama Hromady na Katedře hydrotechniky Stavební fakulty ČVUT v Praze. Program, který se spouští přes webový prohlížeč, umožňuje jednoduchým zadáním profilu hráze nádrže přes mapové rozhraní provést kompletní zjednodušený návrh nádrže, tedy stanoví hydrologické parametry pro zvolený profil na základě dat ČHMÚ, čáry zatopených objemů, kubaturu hráze, vykreslí příčné řezy hráží, podélný profil nádrže, provede hydraulický návrh spodních výpusť a přelivů. Součástí je i vodohospodářské řešení zásobního objemu pro možnosti odběru vody nebo nadlepšení a transformace zvolené povodňové vlny na základě vlastního srážkoodtokového modelu. Vytvořený projekt nádrže je prezentován přímo v okně prohlížeče, nebo je možné ho kompletně exportovat do PDF včetně všech grafických příloh, případně uložit pro použití v budoucnu. Grafickým výstupem je i interaktivní 3D vizualizace hráze zasazená do terénu, zobrazení geologické mapy, mapy využití území (LANDUSE) nebo katastrální mapy. Program je dostupný široké veřejnosti (<http://hydrotechnika.fsv.cvut.cz/mvn/>) a slouží jako vhodný nástroj rychlé předprojektové přípravy pro výběr vhodné lokality pro umístění nádrže, čímž umožní výrazné zkrácení některých přípravných etap.

Abstract: The paper presents a computer program - an online calculator for designing water reservoirs in the Czech Republic, which was developed as a master thesis by Adam Hromada at the Department of Hydraulic Structures, Faculty of Civil Engineering, Czech Technical University in Prague. The program, which is launched via a web browser, allows to make a complete simplified design of the reservoir by simply entering the profile of the reservoir dam via a map interface. It determines hydrological parameters for the selected profile on the basis of data from the Czech Hydrological Institute, lines of flooded volumes, cubature of the dam, draws cross-sections of dams, longitudinal profile of the reservoir, it makes a hydraulic design of bottom outlets and spillways. It also includes the hydraulic design of the storage volume for water abstraction options or overtopping and transformation of the selected flood wave based on the custom rainfall-runoff model. The created reservoir design is presented directly in the browser window or can be completely exported to PDF including all graphical attachments or saved for future use. The graphical output is also an interactive 3D visualization of the dam set in the terrain, a display of a geological map, a land use map or a cadastral map. The program is available to the general public (<http://hydrotechnika.fsv.cvut.cz/mvn/>) and serves as a convenient tool for quick pre-project preparation for the selection of a suitable site for the reservoir location, thus enabling a significant reduction of some preparatory stages.

1 ÚVOD

Příspěvek popisuje online kalkulačku pro navrhování vodních nádrží na území České republiky, která vznikla jako diplomová práce Adama Hromady na Katedře hydrotechniky Stavební fakulty ČVUT v Praze. Cílem diplomové práce bylo vytvoření programu, který umožní vypočítat základní údaje o zamýšlené vodní nádrži na území České republiky. Vytvořený program je zacílen zejména na malé vodní nádrže se zemními homogenními hrázemi, ale většinu funkcí lze principiálně použít i pro návrhy jakékoliv údolní nádrže. Základním výstupem programu je výpočet potencionálního odběru či nadlepšení, které by navrhovaná

nádrž umožnila, a výpočet transformace povodně. Dalšími výstupy jsou základní údaje o geometrii hráze, nádrži a povodí. Program je vybaven funkcemi pro základní dimenzování spodních výpustí a bezpečnostního přelivu. Předností programu je, že mnoho vstupů zvládne odhadnout či zjistit sám. Uživatel nepotřebuje pro základní odhad žádná hydrologická ani terénní data, postačí mu pomocí dvou kliknutí myši vybrat profil hráze na mapě. Toto umožňuje využívat program pro rychlé prověřování různých variant nádrže a její umístění. Tím si uživatel ušetří repetitivně práci a čas, který následně může věnovat podrobnému návrhu vybrané varianty.

Program má uplatnění zejména v předprojektové fázi. Dalším možným využitím je osvěta široké veřejnosti ve vodohospodářských záležitostech. Veřejnost si může interaktivní formou zkoušet navrhovat různé nádrže dle libosti. Uživatel třeba zjistí, že jím navržená nádrž není reálná, protože by jí vodní tok nikdy nedokázal napustit, nebo kdyby bývala byla nad obcí vybudována nádrž, tak by mohla transformovat právě proběhlou povodeň např. do neškodného průtoku. Program volně dostupný online je napsán v programovacím jazyku JavaScript ve formě webové aplikace, kterou lze spustit v běžném internetovém prohlížeči a samotný výpočet běží na počítači klienta. Pro chod programu je ale nutné mít stále internetové připojení. Součástí je i uživatelský manuál, ve kterém je vysvětleno ovládání programu.

2 PODKLADY

Veškeré podklady použité pro práci a jako předpřipravená data pocházejí z veřejně dostupných zdrojů a není tedy potřeba žádný další autorizovaný přístup do databází. V následujícím soupise jsou popsány nejdůležitější zdroje geografických a hydrologických dat.

2.1 Linie vodních toků a rozvodnice

V České republice existují celkem tři databáze vodních toků – Centrální evidence vodních toků (CEVT), Digitální báze vodohospodářských dat (DIBAVOD) a vodní linie ZABAGED. Tyto databáze se navzájem liší především u malých toků, ale postupně dochází k jejich sjednocování [1]. Program primárně využívá CEVT, ve které ale bylo třeba doladit chybovost záznamů. Podkladem pro určování rozvodnic byla datová sada „Rozvodnice povodí 4. řádu rozšířené“ [2], která obsahuje 9880 povodí 4. řádu nacházející se v České republice a příhraničí sousedních států. Pro lepší fungování programu bylo nutné ještě rozdělit větší povodí (cca nad 25-30 km²) na menší celky, což se týkalo 406 povodí.

2.2 Vodoměrné stanice

Program využívá hydrologická data z portálu „ISVS – Evidence množství povrchových vod“ [3] a z evidenčních listů profilů vodoměrných stanic od ČHMÚ [4]. Byla využita následující data z vodoměrných stanic:

1. průměrné denní průtoky,
2. plocha povodí stanice,
3. přirozené průměrné měsíční průtoky,
4. N-leté průtoky (Q_1 , Q_5 , Q_{10} , Q_{50} , Q_{100}),
5. m-denní průtoky.

2.3 Dlouhodobá průměrná roční výška odtoku a výparné výšky nádrže

Hodnoty dlouhodobých průměrných ročních výšek byly získané z mapy ČHMÚ [5]. Velikost roční výparné výšky byla vypočtena podle přílohy B normy ČSN 75 2410 dle nadmořské výšky nádrže. Následně byla velikost roční výparné výšky rozdělena dle tabulky z normy do jednotlivých měsíců.

2.4 Použité WMS služby

Pro přípravu dat nebo online výpočet byly použity následující WMS služby:

1. WMS – DMR 5G (stínovaný model) – podkladová mapa, pro lepší pochopení terénu,
2. WMS – KN (Katastrální mapy) – podkladová mapa k získání povědomí o majetkoprávních vztazích,
3. WMS - ZABAGED® - polohopis – podkladová mapa
4. INSPIRE prohlížeč WMS pro téma Vodstvo (HY) – podkladová mapa pro zobrazení vodních toků,
5. CORINE Land Cover – data o krajinném využití zátopy a povodí (např. zalesnění),
6. WMS - Inženýrskogeologické rajony v České republice – podkladová mapa k získání přehledu o geologických poměrech v oblasti,
7. WMS - ZTM 5, WMS - ZTM 10, WMS - ZTM 25 – základní topografické mapy různých měřítek, využívány k vykreslení situace,
8. WMS - MČR 500 – orientační mapa polohy vodního díla v exportovaném souboru pdf,
9. WMS – Ortofoto – využití jako textura terénu v 3D modelu.

2.5 Terénní data

Terénní data jako nejdůležitější zdroj pro určování čar zatopených ploch a objemů, geometrie hráze a povodí jsou získávána od společnosti Mapy.cz prostřednictvím služby API Mapy.cz, které využívají pro ČR svůj vlastní model terénu. Program byl vytvořen v době, kdy ještě nebyly veřejně dostupná data z DMR5G od ČÚZK, nicméně je modifikovatelný i na tato data. Díky své otevřenosti je pravděpodobné, že na ně přejdou i Mapy.cz a tím budou automaticky zahrnuty i do programu.

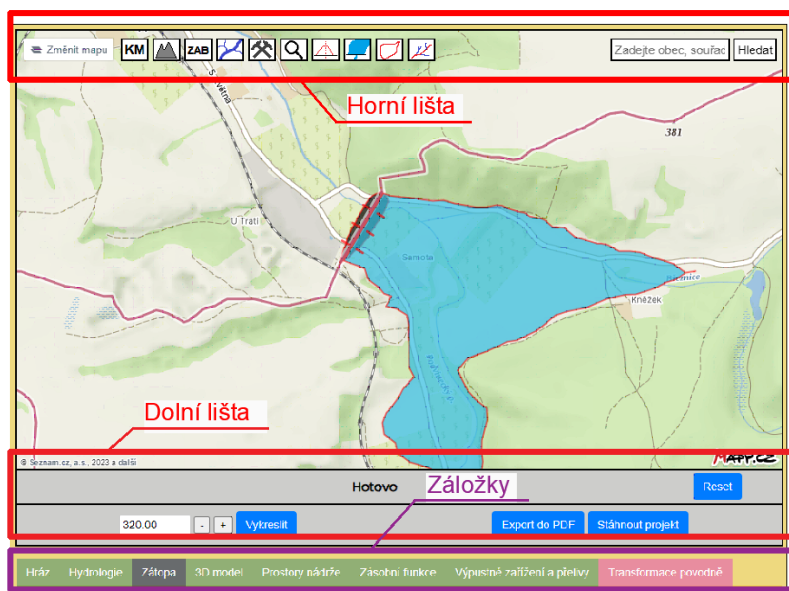
3 POPIS PROGRAMU

Program je koncipován jako webová aplikace, jejíž základní rozhraní je zobrazeno na Obr. 1. Hlavní částí okna je interaktivní mapa pro prohlížení výsledků a současně pro vkládání zvoleného profilu hráze, který se po zazoomování v mapě zadá 2 předpokládanými body představující osu hráze v místě zavázání koruny do terénu. To je v podstatě nejdůležitější část vstupních údajů pro výpočet. V horní části lze přepínat jednotlivé vrstvy mapy a v dolní části jsou pak záložky s podstránkami jednotlivých částí návrhu nádrže.

Po zadání profilu hráze je uživatel vyzván k zadání základních parametrů hráze (šířka a předpokládaná kóta koruny a sklony návodního a vzdušního líce). Po stisku tlačítka pokračovat program zahájí výpočet, který se interaktivně zobrazuje i v mapě. Po jeho dokončení hned první záložka „**Hráz**“ zobrazuje spočtené parametry hráze včetně kubatury tělesa v závislosti na zadané hloubce založení. Dále zobrazuje výkres podélného profilu a sadu příčných řezů hráze, kterou lze modifikovat dle staničení. Na základě hydraulické vodivosti zeminy spočte i předpokládaný průsak hrází.

Záložka „**Hydrologie**“ zobrazuje odvozené základní hydrologické parametry pro zvolený profil (identifikaci toku, staničení, plochu povodí, m-denní a N-leté průtoky, průměrné měsíční průtoky). Tyto údaje lze i ručně změnit pro potřeby dalších výpočtů. Ve spodní části je pak

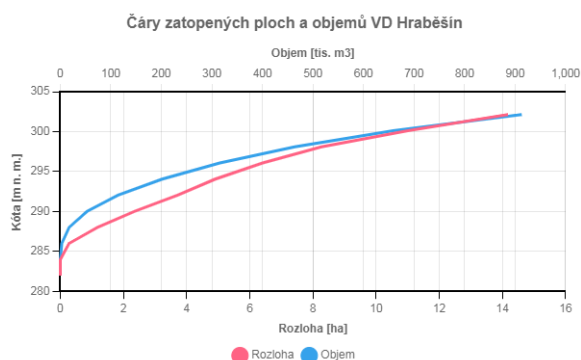
charakteristika povodí a krajinný pokryv v plošném a procentuálním zastoupení na základě dat CORINE Land Cover včetně mapy celého povodí.



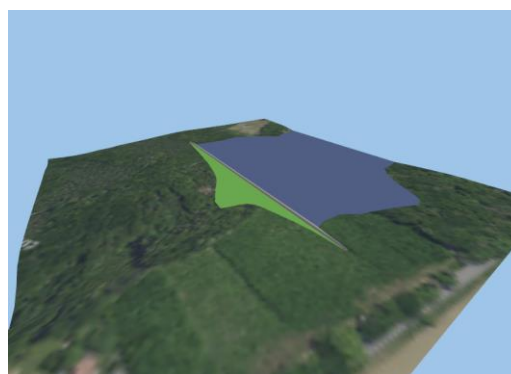
Obr. 1 Základní uživatelské rozhraní programu

Záložka „Zátopa“ zobrazuje graficky čáru zatopených ploch a objemů (Obr. 2) v celém profilu nádrže a dále měsíční výparné výšky a obdobný krajinný pokryv v rozsahu plochy nádrže.

Další záložka „3D model“ na požádání vykreslí interaktivní 3D model tělesa hráze zasazený do terénu se zobrazením maximální hladiny (Obr. 3).



Obr. 2. Čáry zatopených objemů a ploch



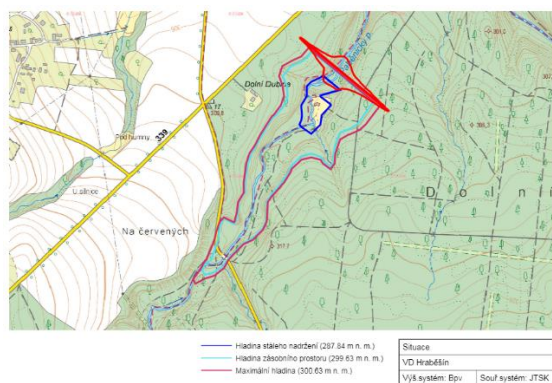
Obr. 3 Vizualizace 3D modelu hráze

Záložka „Prostory nádrže“ slouží k zobrazení podélného profilu nádrže a zadání objemového rozdělení prostoru nádrže na části stálého, zásobního a retenčního objemu. Maximální kóta hladiny je dána zadaným bezpečnostním převýšením koruny hráze a současně se započtením výběhu větrové vlny, kterou program interaktivně také počítá pro nejhorší možnou variantu jejího rozběhu na základě geografie nádrže. Obr. 4 znázorňuje půdorys nádrže se zakreslením max. a zásobní hladiny a hladiny stálého nadržení.

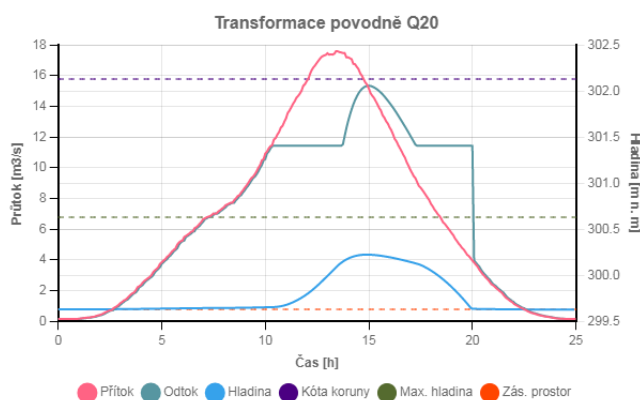
Pro stanovení „Zásobní funkce“, jak se shodně jmenuje i další záložka, program provede simulaci syntetické průtokové řady se zadanou délkou v počtech let a vygeneruje průměrnou dobu plnění s uvedením časového rozmezí plnění nádrže s pravděpodobností 90%. Dále na základě řady a zvoleného zásobního objemu spočte nadlepení průtoku podle třídy významnosti zabezpečení (A – 99,5% až D 95%).

Další záložka „Výpustná zařízení“ se věnuje technickým záležitostem vybavení nádrže a to návrhu spodních výpustí a bezpečnostního přelivu. U spodních výpustí stanoví počet a průměr na zadaný průtok, nebo kapacitu na zadaný průměr. Součástí zobrazení je i měrná křivka výpusti a grafické znázornění doby vypouštění nádrže. Obdobně je to s návrhem a zobrazením měrné křivky bezpečnostního přelivu s volbou kapacity nebo délky přelivné hrany.

Zadaná data výpustných zařízení pak slouží výpočtu transformace povodňové vlny na poslední záložce „Transformace povodně“. Tam je nejprve třeba zadat návrhovou povodeň v podobě kulminačního průtoku. Hydrogram povodně (červeně na Obr. 5) spočte program automaticky na základě zjednodušeného srážkoodtokového modelu dle dříve spočtené morfologie terénu, krajinného pokryvu a dalších dat, nebo je možné hydrogram povodně zadat i ručně, pokud využijeme například známý průběh povodně nebo jinak namodelovaný. Výsledkem je pak tabelární a grafické zpracování transformace s vykreslením průtoku, odtoku a hladiny vody.



Obr. 4 Příklad půdorysu nádrže s hladinami



Obr. 5 Grafické zpracování transformace

Program umožňuje projekt navržené nádrže ukládat pro pozdější použití a formou výstupu do PDF souboru ho dále exportovat v podobě uceleného dokumentu zjednodušené studie nádrže včetně grafických výstupů pro další využití.

4 ZPRACOVÁNÍ GEOGRAFICKÝCH A HYDROLOGICKÝCH DAT

Pro samotné fungování programu je nejdůležitější správné zpracování geografických a hydrologických dat. Geografická data v podobě sítě vodních toků, povodí 4. řádu a rozvodnic jsou již součástí programu jako předpřipravená data. Při samotném zadání musí zvolený profil křížit některou z definovaných os vodních toků. Od spočteného průřezu program identifikuje výškové souřadnice ve zvoleném rastru v ploše celé nádrže dané navrženou kótou maximální hladiny ve vazbě na nalezenou břehovou linii, tedy maximální zátopy. Z toho odvodí i čáry zatopených objemů a ploch. Tento postup uživatel vidí online v mapě a v případě nesouhlasu s běžícím vytýčením (např. zátopa do intravilánu obcí, malá nebo velká nádrž mimo meze údolí atd.) může výpočet zastavit a použít nové zadání profilu, nebo jiné kóty max. hladiny. Stejný postup identifikace terénu je pak proveden i pro celé povodí s ohraničením plochy pomocí vrstvy rozvodnic povodí 4. řádu pro stanovení parametrů povodí.

Po geografickém zjištění povodí a přiřazení dílčích povodí 4. řádu program stanoví průměrný sklon (Herbertův), zalesnění povodí z CORINE Land Cover a tvar povodí. Dále je spočten roční průměrný průtok, ze kterého vychází m-denní a průměrné měsíční průtoky. K jeho stanovení byla použita předpřipravená sada dat ČHMÚ z dlouhodobých odtoků z povodí 4. řádu. Při kalibraci dat bylo třeba zohlednit časovou délku měření ze stanic ve vazbě na počet daných stanic. Konečná volba zahrnovala 448 stanic v časové délce 15 let (2007-2021). M-denní průtoky jsou stanoveny odvozením z nejbližších stanic s m-denními průtoky přes poměry

průměrných průtoků, z čehož pak dále vychází minimální zůstatkový průtok dle Metodického pokynu č. 9/1998 odboru ochrany vod MŽP. N-leté průtoky, potažmo primárně 100-letý je odvozen buď podle podobnosti s nejbližší stanicí, tedy v lokalitě s pozorováním, a v případě její absence pak v povodích bez pozorování do 100 km² metodou dle Čermáka (zvolena cca ze 4 možných) a v povodích nad 100 km² podle oblastního vzorce se započtením zalesnění. Posledním hydrologickým podkladem je stanovení hydrogramu návrhové povodně. Ten je možné zadat ručně nebo nechat program spočítat na základě zjednodušeného srážkoodtokového modelu podle příčinné srážky, která je shodná na celém povodí. Při stanovení hydrogramu se volí doba opakování kulminačního průtoku. Pro výpočet transformace je použita numerická metoda Runge-Kuta 4. řádu se započtením zadaného neškodného průtoku, funkce a kapacity spodních výpustí a bezpečnostního přelivu, které program také umí dimenzovat.

5 ZÁVĚR

Výsledný program vytvořený v rámci diplomové práce vysoce předčil počáteční očekávání a již dnes je v hojně míře využíván mezi studenty i ve vodohospodářské praxi. Výstupy z programu umožňují rapidně zefektivnit předprojektovou přípravu v podobě rychlé volby vhodného profilu pro další stupně zpracování. Další jeho devízou je bezplatná dostupnost, aplikace zahrnuje v sobě obsáhlou řadu hydrologických, hydraulických a hydrotechnických výpočtů, čímž posouvá i digitalizaci státní správy a robotizaci v zásadní a široké oblasti vodního hospodářství a vodních zdrojů ve vazbě na klimatickou změnu. Diplomová práce, potažmo vytvořený program, získala Cenu prof. Bechyně 2024 jako nejlepší diplomová práce Fakulty stavební v kategorii vodohospodářské a ekologické inženýrství.

Program je dostupný na adrese: <https://hydrotechnika.fsv.cvut.cz/mvn/>

SEZNAM LITERATURY

- [1] ISVS: Osy vodních linií [online][cit. 02.09.2023]. Dostupné z: <https://www.voda.gov.cz/?page=osy-vodnich-linii>
- [2] ČHMÚ: Rozvodnice povodí 4. řádu včetně rozvodnic k vodoměrným stanicím [online][cit. 02.09.2023]. Dostupné z: <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=c7d7f4661a8c482bb51df1636c79257c#overview>
- [3] ISVS: Evidence množství povrchových vod - Vodoměrné stanice [online][cit. 02.09.2023]. Dostupné z: [https://isvs.chmi.cz/ords/f?p=11002:1:16233929536374:::~](https://isvs.chmi.cz/ords/f?p=11002:1:16233929536374:::)
- [4] ČHMÚ: HPPS – Evidenční listy objektů povrchových vod [online][cit. 02.09.2023]. Dostupné z: <https://hydro.chmi.cz/hppsevlist/>
- [5] ČHMÚ: Odvození základních hydrologických údajů za referenční období 1981-2010 [online][cit. 05.09.2023]. Dostupné z: <https://eagri.cz/public/web/file>

AUTOŘI

Autor 1: Ing. Adam Hromada, Stavební fakulta ČVUT v Praze, Thákurova 7, 16629 Praha, Česká republika, horsky@fsv.cvut.cz

Autor 2: Ing. Martin Horský, Ph.D. Stavební fakulta ČVUT v Praze, Thákurova 7, 16629 Praha, Česká republika, horsky@fsv.cvut.cz

POVODEŇ NA MORAVE Z ROKU 1941, PROBLÉMY SO STANOVENÍM VÝŠKY HRÁDZE A PRIPOMIENKY K HYDRAULICKÉMU VÝPOČTU Z GENERÁLNEHO PROJEKTU

THE FLOOD ON RIVER MORAVIA FROM 1941, PROBLEMS WITH DETERMINING THE HEIGHT OF THE DAM AND COMMENTS ON THE HYDRAULIC CALCULATION FROM THE GENERAL PROJECT

Vladimír Slaninka

Abstrakt: Pri projektovaní ochranných hrádzí je dôležité určiť bezpečnostnú prevýšku hrádze. V Generálnom projekte úpravy rieky Moravy z roku 1935 bola určená hodnota prevýšky hrádze 1 meter pri $Q_{100} = 1250 \text{ m}^3/\text{s}$ v profile limnigrafu Moravský Svätý Ján rkm 67,15. Povodne na rieke Morave v roku 1941, 1997 a 2006 preukázali, že predpokladaný storočný prietok aj hydraulický výpočet priebehu hladín bol nižší ako skutočný priebeh hladín pri povodňovej vlne. Podobne ako aj výpočet podľa Korbela po roku 1941 a výpočet VÚVH v spolupráci s Viedenskou univerzitou z roku 1996. Pri skúmaní technického archívu Slovenského dolnomoravského družstva sa našiel zaujímavý dokument „Poznámky k stanoveniu výšky dolnomoravských ochranných hrádzí“. Dokument je pravdepodobne spracovaný medzi rokmi 1942–43 bez podpisu jeho autora a v článku je uvedený v čiastočne upravenom znení. V týchto poznámkach bol hydraulický výpočet z generálneho projektu po povodni v roku 1941 pripomienkovaný a boli špecifikované problémy so stanovením výšky hrádze.

Abstract: When designing protective dams, it is important to determine the safety height of the dam. In the General Project for the Improvement of the Moravian River from 1935, the value of the height of the dam was determined to be 1 meter at $Q_{100} = 1250 \text{ m}^3/\text{s}$ in the profile Liminigraph Moravský Svätý Ján rkm 67,15. The floods on river Moravia in 1941, in 1997 and in 2006 showed that the predicted hundred-year flow and the hydraulic calculation of the course of the river levels were lower than the actual course during the flood wave. In a similar way, the calculation according to Korbel after 1941 and the VÚVH calculation in cooperation with the University of Vienna from 1996 also held up. An interesting document was found when studying the technical archive of the Slovenské dolnomoravské družstvo called “Poznámky k stanoveniu výšky dolnomoravských ochranných hrádzí” („Comments on determining the heights of protective dams“). The document was probably made between 1942-1943 without a description of its author. It is presented in the article in a partially corrected version.

1 ÚVOD

Pri celkovom hodnotení povodní je potrebné preskúmať aj povodne z minulých období. Rakúsko-uhorskí inžinieri skúmali povodne na začiatku 19. storočia tak, že zafixovali hladinu najvyššej povodne a zakreslili ju do máp, ale hodnotili povodeň aj z hľadiska poznatkov hydrológie a hydrauliky. Povodeň na rieke Morave v roku 1941 bola tesne po ukončení výstavby ochrannej hrádze rieky Moravy od Zohoru po Rudavu. Povodeň bola umelo vyvolaná prekopením hrádze v Gajaroch v rkm 46 a v hrádzovom km 28,85 s miestnym názvom „Zámarská struha“, s politickým zdôvodnením krajnej možnosti pred rozpadom hrádzí. O povodni sa zachovalo málo písomných správ a žiaľ, neexistujú oficiálne dokumenty. Pri povodni v roku 1997 dosiahla výška povodňovej vlny výšky projektovanej maximálnej hladiny podľa Korbela [2], ale prietok bol len $913 \text{ m}^3/\text{s}$ pri výške hladiny v profile Moravský

Sv. Ján 574 cm. Aj vo výpočte VÚVH Bratislava v spolupráci s Viedenskou univerzitou z roku 1996 [3] je výška hladiny nižšia než dosiahnuté hodnoty pri povodni z roku 1997 a najmä pri povodniach v rokoch 2002 a 2006. V roku 1997 SHMÚ radikálne upravil priebeh mernej krivky v stanici Moravský Sv. Ján aj ČHMÚ v profile Strážnica. Zatiaľ čo v oblasti povodňových prietokov sa v Moravskom Svätom Jáne zmenšila kapacita profilu o stovky m^3/s , v Strážnici tomu bolo naopak. Je otázka, či tieto zmeny sú dôsledkom zmien prietočného profilu (t. j. koryta aj inundácie) a vplyvu vegetácie na stupeň drsnosti v inundácii, alebo či sú tieto zmeny spôsobené len rôznym spôsobom extrapolácie mernej krivky pre extrémne prietoky, pri ktorých sa už nehydrometrovalo. Vyjasnenie stupňa spoľahlivosti používaných merných kriviek je zásadný problém. V stanici Moravský Svätý Ján ide aj o vyjasnenie vplyvu vegetácie na presnosť údajov. Najväčší výskyt povodní je na hraničnom úseku Moravy v marci, teda v období vegetačného pokoja. „Povodeň v roku 1997 však prišla v júli, teda vo vegetačnom období. Aké rozdiely hladín teda môžu nastať v závislosti na tom, kedy sa povodeň vyskytla? Nebolo by vhodné zohľadniť tento stav aj tým, že jedna krivka by platila pre vegetačné, druhá pre mimovegetačné obdobie?“ (Ing. Jiří Kališ, CSc.) [4] Podobné otázky rieši aj predložený dokument, spracovaný po povodni na rieke Morave v roku 1941. V nasledujúcej kapitole sú výpisky z tohto dokumentu.

2 „POZNÁMKY K STANOVENIU VÝŠKY DOLNOMORAVSKÝCH OCHRANNÝCH HRÁDZÍ“ [1]

Ploché poriečie dolnej Moravy bude chránené pred zátopami obojstrannými ochrannými (zátopovými) hrádzami, ktoré po svojom dokončení majú ochraňovať územie aj pred najväčšími, katastrofálnymi prietokmi. Pokiaľ ide o pôdorysné usporiadanie hrádzí, je otázka už v podstate rozriešená a výstavba hrádzí pokročila k dokončeniu. Tiež hodnota najväčšieho prietoku je už stanovená na základe katastrofálnej povodne z marca 1941, ktorej najväčší prietok bol zameraný hydrometrickým pozorovaním v profile Moravský Sv. Ján v nedávnej dobe a teda v pomeroch, ktoré sa budúcemu stavu zo všetkých povodní najviac blížila. Odtok bol zistený s hodnotou $1564 \text{ m}^3/\text{s}$ (Poznámka autora článku: podľa vtedajších rakúskych a českých hydroológov oficiálne len $1400 \text{ m}^3/\text{s}$). Pri tomto meraní bola síce vynechaná časť profilu nad ľavým pobrežím, ale ak sa uvaží, že plocha tejto časti meria sotva sedminu celej prietočnej plochy, a že stredná prietočná rýchlosť v nej bola odhadnutá s chybou menšou než 60 %, môže byť pri veľmi nepriaznivom odhade chyba sotva 7 %, čiže asi $100 \text{ m}^3/\text{s}$. To je chyba menšia než tá, ktorej sa môžeme dopustiť pri zložitých prietokových pomeroch vo výpočtoch prietoku pre budúci zmenený stav. Zameraná hodnota sa zaokrúhľuje na $1600 \text{ m}^3/\text{s}$ (Pozn. autora článku: podľa vtedajších rakúskych a českých hydroológov len $1400 \text{ m}^3/\text{s}$). Aj v tomto veľmi bezpečnom čísle môžu časom nastať pochybnosti a môže byť pri konečnom rozhodovaní o výške hrádzí ešte preskúšané. Ďalšia, a snáď najväčšia neistota, je v stanovení výškových pomerov hrádzami spútanéj Moravy. Aj keď povodeň z r. 1941 poskytla po tejto stránke najistejšie údaje, nezávislé na nespoľahlivých výpočtoch, nastali už od tej doby a v budúcnosti nastanú také zmeny, majúce vplyv na výšku vôd, že i hladina povodní s tým istým prietokom a priebehom bude odlišná od hladiny z r. 1941.

Hlavnými príčinami týchto zmien sú jednak úpravy koryta Moravy na malú a strednú vodu s priekopmi (pozn. autora článku - priepichmi meandrov), jednak odstraňovanie (odbagrovávanie) vyvýšení a snáď aj zmeny komunikačných rámp pretínajúcich priestor medzi hrádzami a zmeny v poraste, či už prirodzené alebo spôsobené ľudskou rukou. Stanovenie hladiny povodní pre vymedzenie výšky hrádzí bolo vykonávané v podstate jediným možným spôsobom: pre zvolené prietočné množstvo, pre zistené priečne rezy a ich vzájomný výškový vzťah, a pre zvolené súčinitele drsnosti sa počítalo za predpokladu rovnomerného pohybu, niekedy za predpokladu ideálneho dna, priebeh hladiny. Zložité profily boli delené

na časti s asi rovnakou hĺbkou a teda aj s rovnakou strednou rýchlosťou (ľavé a pravé pobrežie, koryto na stredné vody) a do nich boli rozdelené prietochné množstvá. Hladina v priečnom profile bola predpokladaná vodorovná. Súčinitele drsnosti boli zvolené rôzne podľa pomerov v uvažovanej časti, vplyv porastov bol zavedený do výpočtu tým, že boli v nimi zabratom území vzaté veľmi nepriaznivé koeficienty a odstupňované pre rôzne hustoty porastu.

Treba si poctivo priznať, že akokoľvek svedomité a presné výpočty nemôžu nikdy, ani pri najväčšom pokroku hydrauliky, v tak zložitých prípadoch ako je medzihrádzie Moravy široké aj niekoľko stoviek metrov, dať presné výsledky. Je tu veľa neistoty aj v objektívne zistených hodnotách a tým viac v hodnotách odhadovaných. Na prvom mieste je neistota v samotnom maximálnom odtoku. Potom nepresnosť používaných vzorcov, ktoré stanovujú fiktívny pojem strednej prietokovej rýchlosti. Ďalej je veľká neistota v stanovení priečných profilov, ktoré sa volia priame a kolmé k osi medzihrádzia, aj keď pozorovaním bolo potvrdené, že hladina vody v takýchto profiloch má niekedy veľký priečný spád (rádovo možno nie príliš odlišný od pozdĺžneho spádu), vodný prúd sa nepohybuje jednotne v smere osi, sú tu prúdy od nej odchýlené a priečne, ak aj nie protismerné, takže základné predpoklady o pohybe vody v prizmatických korytách nie sú splnené. Priečne profily by mali mať tvar trajektórií k prúdovým čiarom a to by viedlo k veľmi zložitým a nevystihnuteľným javom. Preto tiež zostáva neistou hodnota relatívneho sklonu, nejednotná i v tom istom úseku koryta. Veľmi neurčitý je odhad drsnosti stien koryta, čo sa týka vplyvu nerovností a zvlášť vplyvu porastu. Určité porasty sa môžu za povodní nesúcich seno, slamu ľad a iné hmoty upchať tak, že sa stanú skoro neúčinnými a voda v nich len stojí bez toho, aby prúdila. Tento jav nezáleží len na stave a veku porastu, ale aj na tom, aké hmoty a v akom množstve povodeň nesie. Pri širokej hladine sa môže uplatňovať aj vplyv vetra – odporom pri prietoku, aj výškou vln bijúcich do bokov hrádzí.

Niektoré hodnoty, napríklad súčiniteľ drsnosti sa síce dajú odpozorovať z vykonaných meraní, ale platia len pre daný profil a pre pozorovaný stav povodne a jej plavenín. Ich prenesenie do iných profilov je pochybné a len veľmi približné, preto by na stanovenie hladiny v budúcich pomeroch snád' bola sľubnejšia metóda, ktorá by vychádzala z najnovších pozorovaní najvyšších stavov a zaviedla by do výpočtu zmeny, ktoré sa od výskytu takej povodne stali, poprípade aj zmenu prietoku, spôsobenú rozdielom medzi hodnotou predpísanou a pozorovanou (v danom prípade je rozdiel bezvýznamný – len $1600-1584 = 16 \text{ m}^3/\text{s}$). Vyšlo by sa z hladiny pozorovanej v roku 1941 a zaviedli by sa do výpočtu prírastky alebo úbytky prietocnej plochy zriadením priekopov (pozn. autora článku - priepichov), odbagrovaním a pod., zmenou hladiny a stanovil by sa pokles (alebo aj prírastok) výšky hladiny (nie jej absolútna výška). O túto hodnotu by sa upravila výška pozorovanej hladiny. Pravdaže tento spôsob predpokladá zistenie stavu z r. 1941 (priečných profilov, porastu, priebehu hladiny v pozdĺžnom smere a pod.) a započítanie budúceho stavu. Tento spôsob sa zvyčajne používa pri riešení vplyvu koncentrácie tokov, alebo vplyvu prehrábok a pod., a všeobecne ho možno pre jednoduchý profil naznačiť takto:

Podľa Manninga je $Q = F \cdot v = F \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2}$

Q je prietochné množstvo v m^3/s ,

F je prietochná plocha v m^2 , pri širokých profiloch je približne rovná súčinu šírky b a strednej hĺbky R,

v je stredná prietochná rýchlosť v m/s,

n je súčiniteľ drsnosti podľa Canguillet-Kuttera,

I je relatívny sklon hladiny

R je hydraulický polomer rovný približne strednej hĺbke F/b

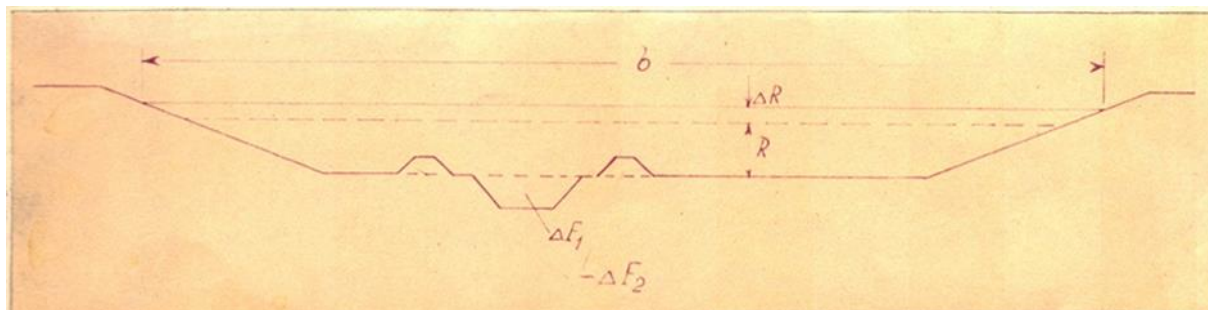
Za predpokladu, že sa n a I po vykonaní zmien v koryte nezmenia, a že zmeny hodnôt určujúcich prietok sú dosť malé voči starým hodnotám, možno podľa pravidiel infinitezimálneho počtu napísať, že

$$\Delta Q = \frac{1}{n} \frac{I^{1/2}}{R^{1/3}} \left[\frac{2}{3} F \cdot \Delta R + R \cdot \Delta F \right],$$

prípadne pre nezmenený prietok:

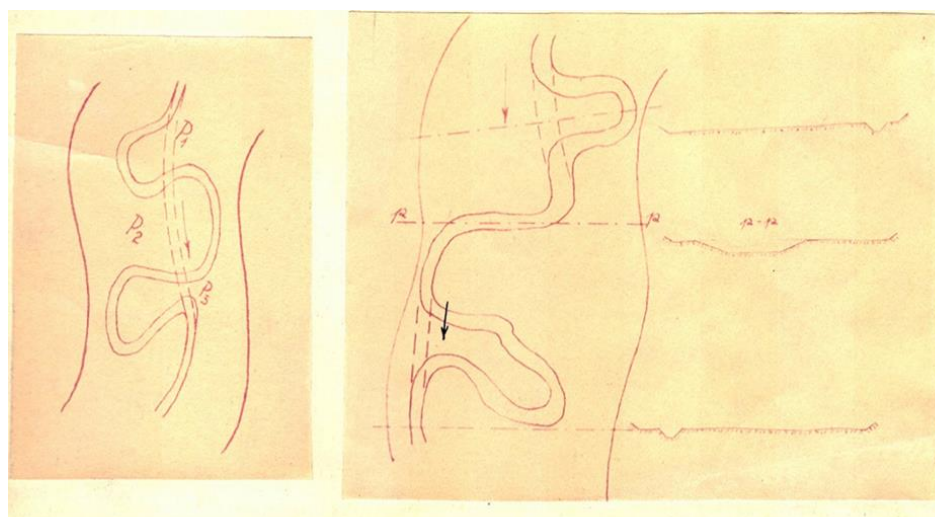
$$Q = \frac{1}{n} \frac{I^{1/2}}{R^{1/3}} \left[\frac{2}{3} F \cdot \Delta R + R \cdot \Delta F \right]$$

kde $\Delta F = \Delta F_1 - \Delta F_2 + b \cdot \Delta R$ je prírastok prietocnej plochy a ΔH hľadaný prírastok strednej hĺbky voči hĺbke pozorovanej (pozn. autora článku - Obr. 1)



Obr. 1 Príklad jednoduchého profilu

Použitím vzťahu, že $F = b \cdot R$, alebo použitím pomocného grafikonu možno uľahčiť výpočet hľadaného prírastku hĺbky. Tento jednoduchý prípad, naznačený len na objasnenie obvyklej metódy, sa však na dolnej Morave vyskytne len v sústredených tratiach, v „défilé“, inak sú pomery zložitejšie. Nedostatok času nedovoľuje, aby bola táto známa metóda rozšírená na zložené profily, lebo tu nastanú veľmi zložité vzťahy medzi hodnotami nezávislých a závislých premenných a bude treba hľadať zjednodušujúce predpoklady, aby sa riešenie vôbec stalo prakticky použiteľným. Aj potom bude výsledok len približný, ale predsa bude podopretý pozorovanými hodnotami, z ktorých sa pri ňom vychádza. Príslušné riešenie bude po odvodení jasné (pozn. autora článku - Obr. 2).



Obr. 2 Príklady zložených profilov

Keď vznikne v medzihrádzi rad za sebou nasledujúcich priekop sledujúcich súbežne ochranné hrádze, uplatní sa nové koryto plnou mierou ako účinné zväčšenie prietocnej plochy. Keď sú však priekopy blízko za sebou odsadené, a ak je medzi nimi priečne riečne koryto, nevytvorí sa súvislý prúd v koryte a v časti medzi priekopami nemožno s korytom na malé vody vôbec počítat'. Skôr možno v profile $p-p$ (Obr. 2) predpokladať plný prah, ktorý vzdúva vodu

do trate, ležiacej nad ním a počítať tu hladinu podľa vzorcov na vzdutie (proti vode) a na zníženie (po vode).

T a b u l k a 1

Prof. čís.	Upravený km	Profil na najvyššiu veľkou vodu /1280 m ³ /s u M. Sv. Jána/				Kapacita m ³ /s		Kóta najvyššej hladiny vodnej			
		Střední profil převýšený		Šířka ústí m	Předhraní		Vypočtená	Žádaná	budovný		s ledna r. 1920 resp. r. 1899
		F	h		F	h			sa volného odtoku	sa vzduť alebo snížení	
	69,150	F = 379 m ² J ₁ = 0.06075 V = 1.206 m/s	h = 4.799 m J = 0.1456 o/oo Q = 457 m ³ /s	1160	F = 1521 m ² h = 1.407 m J = 0.1456 o/oo V = 0.542 m/s Q = 624 m ³ /s	1261		152.60 /152.497/	152.60 -	152.21	
1	67,900	F = 362 m ² J ₁ = 0.06123 V = 1.326 m/s	h = 4.637 m J = 0.1807 o/oo Q = 507 m ³ /s	960	F = 1273 m ² h = 1.445 m J = 0.1807 o/oo V = 0.6109 m/s Q = 777 m ³ /s	1284	1280	/152.315/	152.486 -	152.00	
2	60,800	F = 361 m ² J ₁ = 0.06111 V = 1.196 m/s	h = 4.624 m J = 0.1417 o/oo Q = 453 m ³ /s	1200	F = 1065 m ² h = 1.432 m J = 0.1417 o/oo V = 0.5428 m/s Q = 671 m ³ /s	1327		151.032	-	150.68	
3	58,265	F = 389 m ² J ₁ = 0.06231 V = 1.142 m/s	h = 4.922 m J = 0.12406 o/oo Q = 444 m ³ /s	1160	F = 1654 m ² h = 1.653 m J = 0.12406 o/oo V = 0.5876 m/s Q = 689 m ³ /s	1333		150.67	-	150.29	
4	53,852	F = 408 m ² J ₁ = 0.06541 V = 1.187 m/s	h = 5.167 m J = 0.12826 o/oo Q = 484 m ³ /s	960	F = 1386 m ² h = 1.775 m J = 0.12826 o/oo V = 0.6125 m/s Q = 649 m ³ /s	1333	1330	150.126	-	149.64	

Obr. 3 Tabuľka 1 z Generálneho projektu úpravy Moravy z roku 1935 – hydraulický výpočet podľa vzorca Ganguillet-Kutter

Naznačené úvahy sú všetkým odborníkom dobre známe a tým lepšie ich ovládajú skúsení inžinieri, ktorí sa otázkou úpravy dolnej Moravy trvale zaoberajú. Ak je tu na ne znova poukázané, tak len preto, aby sa zdôraznila neistota v stanovení hladiny, a aby sa podľa toho uvážilo, aké prevýšenie sa má dať korune hrádzí nad hladinou najvyšších vôd. Prvá neistota je v stanovení najväčšieho prietoku, druhá v stanovení hladiny. Ďalšie nebezpečenstvo je v zmienených vlnách od vetra, od rozbúrenia vôd a od vodou nesených hmôt. Hrádze sa časom uľahnú, zošliapu a poškodia hľadavcami, dobytkom, chodením i neopatrnosťou. Týmto nedostatkom sa síce dá čeliť dozorom a udrzovaním, ale nemožno ich celkom vylúčiť. Koruna hrádzí je uvoľnená aj účinkami mrazu. Veľmi záleží na materiáli, z ktorého je nasypaná a na stave dreva (pozn. autora článku - trávnatého porastu). Všetky tieto možnosti vedú k úsudku, že je nutné dať hrádzam prevýšenie, na jednej strane primerané neistote v stanovení hladiny a v zaručení dobrého stavu hrádzce, na druhej strane nebezpečenstvu, ktoré by z poškodenia koruny a z pretrhnutia hrádzce mohlo vzniknúť. Ak sa uváži, že v niektorých miestach sa koruna hrádzce začne premáčať po priblížení hladiny asi na 2-3 dm ku korune, a že hrozí nebezpečenstvo vln, potom ostanú na neistoty v určení prietoku a hladiny pri metrovom prevýšení asi 3/4 metra (75 cm). Pod túto hodnotu by sa nemalo ísť. Pritom však zase možno predpokladať, že sa nebezpečenstvo z nedokonalého udrzovania hrádzí, pri tak rozsiahlom a organizovanom podniku ako je Slovenské Dolnomoravské družstvo, obmedzí na najnižšiu mieru, a že budú pohotovo pripravené opatrenia dovoľujúce včasnú záchranu ohrozených miest. Keby sa dovolilo menšie prevýšenie (napríklad zamýšľané prevýšenie 0,7 metra), bolo by dobré pamätať na krajnú možnosť otvorenia hrádzí tým, že sa na vhodnom mieste hrádzí zriadia priečne steny, dosť hlboko založené a vzdialené od seba na šírku očakávaného prielomu, aby sa umelá prietrž obmedzila na určitú dĺžku a na vhodné miesto, a aby nenastalo nebezpečenstvo zbytočného rozšírenia prietrže. O polohe takýchto miest by rozhodla možnosť menej škodlivého rozliatia vôd v miestach, kde nebudú ohrozené ľudské životy. Pritom by sa iste bral ohľad na budúcu kolonizáciu a krajinnú reguláciu plôch získanými hrádzami vodného družstva. Niet pochyb, že by bolo veľmi nepríjemné, keby sa hrádzce museli zvyšovať, aj keď o malú mieru, lebo by sa musela odstrániť už zatrávená koruna, zvýšená koruna znovu zahumusovať a osiať, a že by sa koruna (inak by bolo potrebné ju dosypať veľkým množstvom materiálu a

nákladne upraviť jej povrch). Pri menších zvýšeníach by možno stačila len užšia hrádzka, ak by nebola ohrozená prevrtaním hlodavcami. Možnože by ochranné múriky v miestach so vzdialenejšou dopravou zeminy vyšli lacnejšie. Tam, kde sú príčinou miestneho vzdutia porasty, by sa dala hladina znížiť zúžením zarastenej plochy bez toho, že by bolo treba medzihrádzie celkom zbavovať porastu.

3 ZÁVER

V Generálnom projekte bol hydrotechnický výpočet podľa vzorca Ganguillet-Kutter z roku 1869 [5]. Tento vzorec bol používaný do polovice 20. storočia. Výpočtové metódy používané na výpočty zložených korýt sú veľmi nedokonalé nielen u nás, ale v celom svete aj napriek tomu, že dnes sa už používajú počítače a výpočtové modely so satelitným resp. leteckým 3D zameraním terénu. Pri každom modeli významne ovplyvňujú výsledok použité vstupné údaje, pri ktorých môže byť chybovosť napríklad v stále ešte nedokonalom 3D zameraní, vrátane chybovosti (až 30 cm), v čase aj v priestore premenlivej viskozite záplavových vôd, v nepredvídateľnom vytváraní prekážok zo splavenín (seno, konáre, kmene stromov) a spätného prúdenia, a najmä v určení drsnosti. Overenie správnosti použitého hydraulického modelu, resp. jeho kalibrácie, je možné len správnym zdokumentovaním skutočnej povodne. K vytvoreniu modelov sa obyčajne pristupuje v tých prípadoch, keď je ťažké alebo nemožné skúmať jav v jeho prirodzenej forme. Stále však platí veta akademika Ota Duba: „Hodnoty súčiniteľa drsnosti možno najsprávnejšie stanoviť analýzou vykonaných meraní v skúmanej trati“ [6]. Je zaujímavé, že k podobným poznatkom prišiel aj Ing. Daniel Mattas CSc.: „Někoho možná překvapilo, že jsem čerpal i z literatury z počátku minulého století. Podle mého názoru je škoda, že odborníci většinou sledují jen literaturu současnou“ [7].

ZOZNAM LITERATÚRY

- [1] *Dokument z technického archívu SDVD bez podpisu autora (pravdepodobne 1942–43): Poznámky k stanoveniu výšky dolnomoravských ochranných hrádzí.*
- [2] *Korbel (1944): Vodné stavy Moravy na slovensko-rakúskom hraničnom úseku.*
- [3] *SVP Bratislava OZ (2000): Smerodajné vodné stavy Moravy na slovensko-rakúskom hraničnom úseku.*
- [4] *Kališ, J., VÚVH (1997): Úvodné riešenie k problematike revitalizácie rieky Moravy v úseku Tvrdonice – Devín., E01.11, s. 25-26.*
- [5] *Generálny projekt úpravy rieky Moravy, (vypracovaný pod vedením prof. Jana Smetanu, schválený v roku 1935)*
- [6] *Dub, O. (1957): Hydrológia hydrografia hydrometria. Slovenské vydavateľstvo technickej literatúry Bratislava, , s. 223.*
- [7] *Mattas, D. (2014): Výpočet prútok v otvorených korytech. Výskumný ústav vodohospodársky, https://www.vuv.cz/files/pdf/edicni_cinnost/publikace/mattas_vypocet_prutoku.pdf*

AUTOR

Ing. Vladimír Slaninka, t. č. dôchodca, bývalý riaditeľ Správy povodia Moravy v rokoch 1990 - 2007, Malacky 901 01, Pri Maline 2, SR, e-mail: vladimir.slaninka@airwave.sk

PŘÍSPĚVEK K HYDRAULICE PIANOVÝCH PŘELIVŮ

CONTRIBUTION TO THE HYDRAULICS OF PIANO KEY SPILLWAYS

Miroslav Brouček¹, Martin Králík²

Abstrakt: Změny v hydrologických podkladech, manipulačních pravidlech i zvýšené požadavky na zajištění bezpečnosti vodních děl při povodňových situacích představují dodatečné nároky na kapacity výpustných zařízení, zejména bezpečnostních přelivů. Požadavky na převedení vyšších průtoků při shodné „šířce“ a přepadové výšce nebo shodných průtoků při nižší přepadové výšce, tj. zvýšené kótě přelivné hrany, mohou na poli nehrazených přelivů splnit některé z moderních typů labyrintových přelivů, do jejichž podmnožiny lze zahrnout i přelivy pianové. Díky výhodnému poměru délky skutečně přelévající hrany vůči „šířce“ přelivu nabízí moderní varianty pianových přelivů za vhodných hydraulických podmínek až pětinasobnou kapacitu oproti přímým přelivům. Tato vlastnost je zařazuje do užšího výběru při volbě vhodných úprav stávajících nehrazených přelivů nebo realizaci doplňkových případně nouzových přelivů s nedostatkem prostoru na lokalitě. Navzdory množství publikovaných zahraničních odborných příspěvků z oblasti hydraulického chování pianových přelivů, se teoretický návrh vždy opírá o parametrickou analogii experimentálních výsledků. Příspěvek přináší shrnutí návrhových postupů pianových přelivů, doplnění sady experimentálních výstupů pro konkrétní parametry z fyzikálního modelování a rozbor často opomíjené problematiky bočních kontrakcí, které mohou u labyrintových přelivů obecně představovat významnější ovlivnění než u přelivů přímých.

Abstract: Changes in hydrological conditions, operation rules and increased requirements for dam safety during floods present additional demands on the capacity of outlet structures, especially spillways. Among the family of ungated spillways, some of the modern types of labyrinth spillways, where piano key spillways are considered a subset of them, can meet the requirements for higher discharges at the same 'width' and the head, or the same discharges at a lower head, i.e. higher spillway crest. Due to the favourable ratio of the length of the actual overflow edge to the 'width' of the spillway, modern variants of the piano key spillways offer up to five times the capacity of straight spillways under appropriate hydraulic conditions. This attribute places the piano key spillways on the shortlist when selecting suitable modifications to existing ungated spillways or implementing additional or auxiliary spillways with limited site space. Despite the number of published papers focusing on the hydraulic behaviour of piano key spillways, the theoretical design is always based on the parametric analogy of experimental results. This paper presents a summary of design procedures for piano key spillways, a complementary set of experimental results for specific parameters from physical modelling, and an analysis of the often-neglected issue of lateral contractions, which can generally be of a more significant influence on labyrinth spillways than on straight spillways.

1 ÚVOD

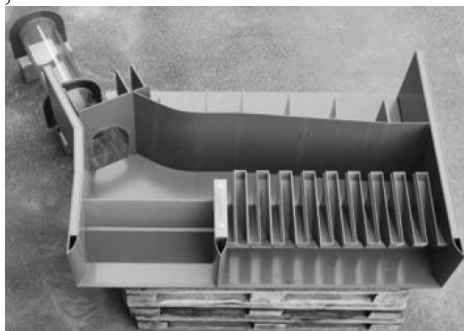
Zvýšené požadavky na bezpečnost přehrad při povodních, stejně jako změny nároků na zásobní a retenční funkci nádrží spolu a aktualizace hydrologických podkladů kladou zvýšené požadavky na kapacity výpustných zařízení již realizovaných vodních děl. V řadě případů dochází ke zkapacitnění přelivů, které si často vyžádá kompletní rekonstrukci nejen samotného přelivu, ale i navazujícího skluzu a vývaru. V případech, kdy je limitujícím prvkem zkapacitnění pouze samotný přeliv, lze využít moderních konstrukcí s nepřímou přelivnou hranou, tj. obecně labyrintových přelivů, které se vyznačují vysokou kapacitou s malými náklady na rekonstrukci, neboť původní nosná část konstrukce může být zachována. Pianové a

obecně labyrintové přelivy se dobře uplatňují i v podobě dodatečných výpustných zařízení, například ve formě postranních přelivů, viz Obr. 1, kde krátká celková šířka přelivu významně omezuje celkové náklady na zabezpečení díla.



Obr. 1 Doplnkový bezpečnostní pianový přeliv na přehradě Goulours ve Francii [1]

Pianový přeliv umožňuje zvětšit celkovou efektivní délku přelivu při omezené šířce prostoru daného stávajícími konstrukcemi i mimo původní půdorys, neboť „klapky“ přeliv přesahují do prostoru nádrže. V porovnání se standartními typy přelivů mohou pianové přelivy převést zhruba dvou až třináásobek povodňových průtoků, při zachování stejné šířky přelivu. Tato efektivita se může vyjádřit také jako snížení výšky přepadového paprsku až o 50 %. Pianové přelivy mohou být použity také jako nouzové přelivy i spojené se stávajícím nebo novým přelivem, viz Obr. 2.



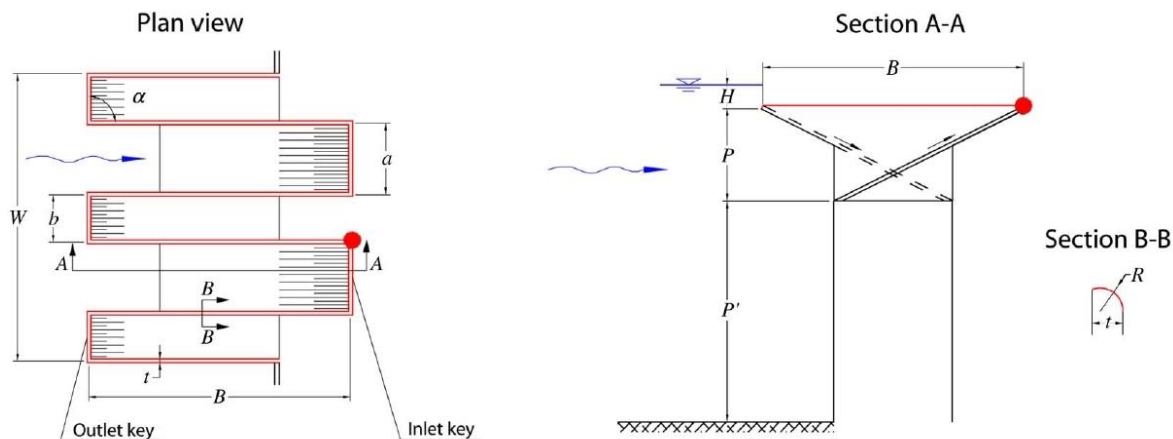
Obr. 2 Fyzikální model kombinovaného hrazeného a pianového doplňkového přelivu (vlevo), který byl realizován 2014-2018 v pravém zavázání klenbové přehrady Gage II (vpravo) [2]

2 PIANOÉ PŘELIVY – ZÁKLADNÍ NÁVRH

Hydraulické podmínky při přepadu vody přes pianové přelivy jsou závislé jak na geometrických parametrech samotného přelivu, případně jejich poměru k přepadová výšce, tak i na dalších charakteristikách proudění v nádrži, zejména v prostorově složitých případech, a případně ve spadišti, dochází-li ke zpětnému ovlivnění. Výsledná kombinace tak prakticky vylučuje jednoduchou aplikaci základních rovnic přepadu či jejich upravenou podobu a finální ověření funkce přelivů zůstává doménou modelování fyzikálního i matematického. Fyzikální hydraulické modely se tak běžně využívají nejen pro základní parametrické studie, ale ve fázi projekčního návrhu k optimalizaci konstrukce a k zajištění bezpečného provozu stavby z hlediska dynamických jevů.

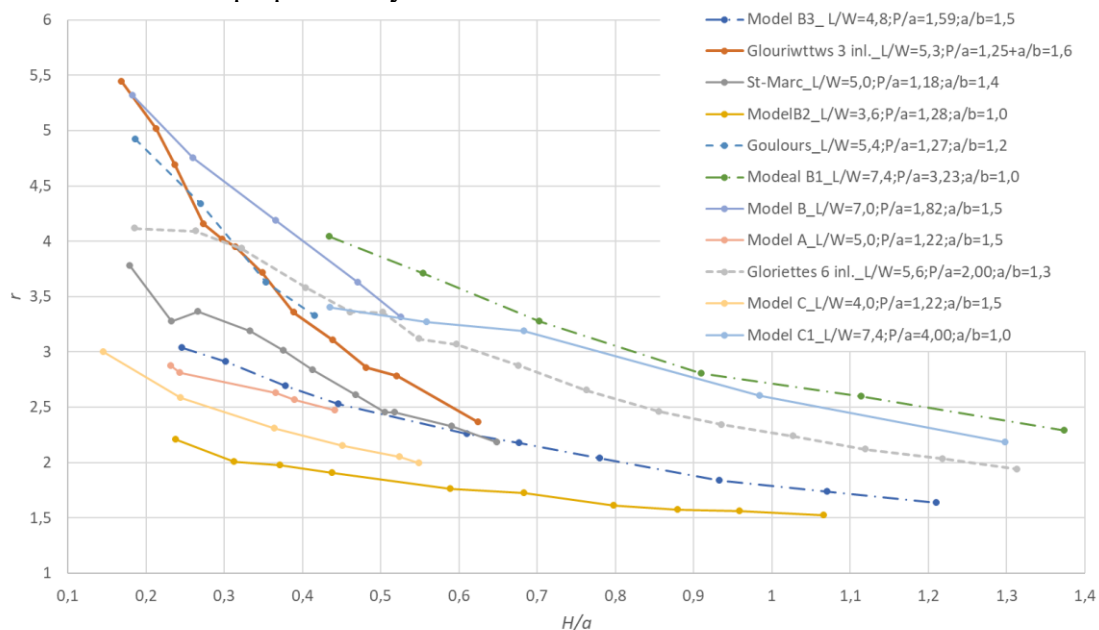
2.1 Základní návrh tvaru přelivu

Základní návrh pianového přelivu vychází z požadovaného poměru převáděných průtoků vůči hypotetické variantě s přímou přelivnou hranou značený r . Pro vhodně zvolený poměr šířky jednotlivých klapek a přepadové výšky a dalších charakteristik přelivu, může tento poměr, někdy označovaný jako účinnost pianového přelivu, přesahovat hodnotu 5. Označení základní charakteristik přelivu při prvotním návrhu představuje Obr. 3.



Obr. 3 Geometrie pianového přelivu [3]

Základním parametrem ovlivňujícím kapacitu, a tedy účinnost pianového přelivu, je poměr celkové délky přelivné hrany a šířky prostoru, kde je přeliv umístěn (L/W). Dalšími parametry ovlivňujícími kapacitu přelivu, kterými se předchozí výzkumy plně zabývaly, jsou poměr šířek návodní a vzdušní hrany pianového přelivu (a/b) a délka hrany spojující obě hrany (B). Jakkoliv dřívější publikace opírající se o hydraulický modelový výzkum precizně dokumentovaly výsledky měření nezohledňují vliv tloušťky stěn (t) přelivu, z čehož vyplývá mírná geometrická nepřesnost ve vztahu výsledků výzkumu ke konsumpční křivce. Největší nepřesnost ovšem do návrhu vnáší efekt boční kontrakce, která se na rozdíl od přímé přelivné hrany neprojevuje lineární závislostí na přepadové výšce.



Obr. 4 Závislost parametru r na poměru H/a pro různé parametry L/W a a/b použitelné pro základní návrh parametrů přelivu bez boční kontrakce [3]

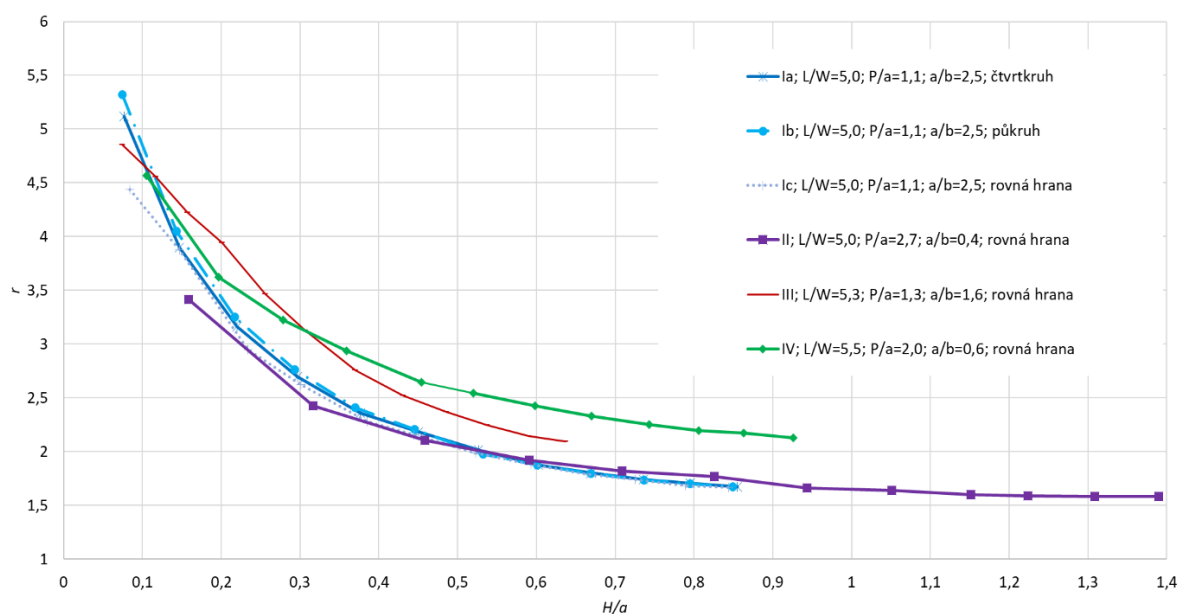
3 FYZIKÁLNÍ MODELOVÁNÍ

Ve žlabu laboratoře Vodohospodářského experimentálního centra byly realizovány celkem 4 základní varianty pianového přelivu. Jedna z variant byla rozpracována do tří podvarinát pro ověření vlivu tvaru přelivné hrany. U modelu nedochází k ovlivnění jevu dolní vodou v celé škále testovaných průtoků. Základní parametry variant a jejich označení shrnuje Tab. 1. Tloušťka stěn konstrukce (t) je 0,025 m, což při modelovém měřítku délek 1:10 odpovídá stěně 250 mm, kterou lze v daných rozměrech realizovat například z železobetonu. V případě testování ocelových konstrukcí přelivů pak úprava přelivné hrany není obvykle studována.

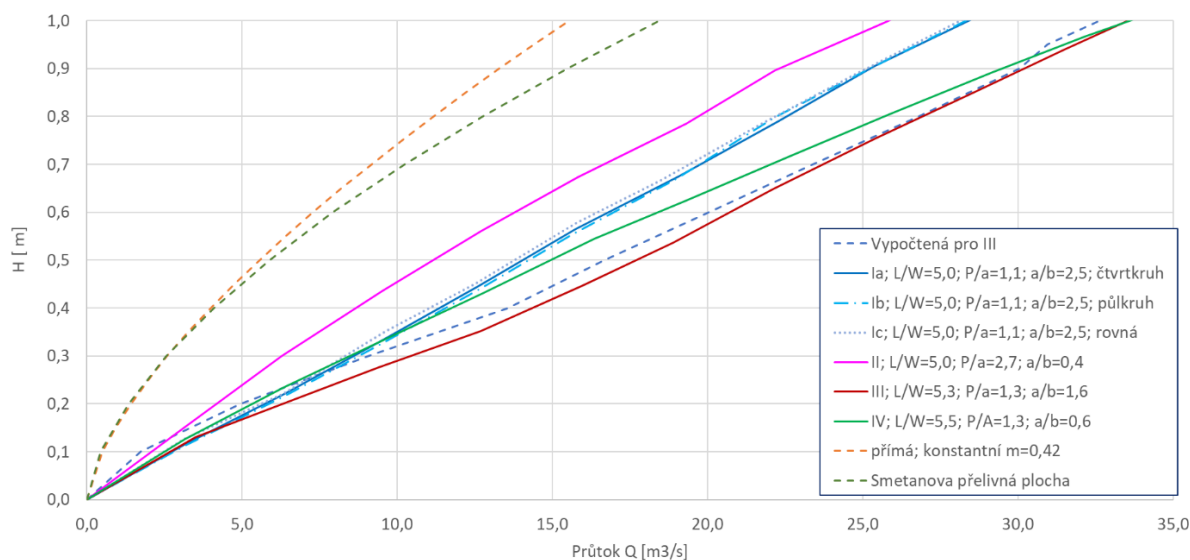
Tab. 1 Parametry testovaných variant

Označení	L/W	P/a	a/b	tvar přelivné hrany
Ia	5,0	1,1	2,5	čtvrtkruh ($\varnothing = 25$ mm)
Ib	5,0	1,1	2,5	půlkruh ($\varnothing = 12,5$ mm)
Ic	5,0	1,1	2,5	rovná hrana ($t = 25$ mm)
II	5,0	2,7	0,4	rovná hrana ($t = 25$ mm)
III	5,3	1,3	1,6	rovná hrana ($t = 25$ mm)
IV	5,5	2,0	0,6	rovná hrana ($t = 25$ mm)

Na modelu ověřovány kapacity jednotlivých variant a shoda měřených a pomocí základních přístupu vypočtených konsumpčních křivek a dále byly měřeny a vyhodnoceny působící hydrodynamické tlaky. Výsledky jsou prezentovány jednak v bezrozměrných veličinách, viz Obr. 5, které umožní rozšíření stávající báze znalostí pro základní návrh. Dále jsou prezentovány měrné křivky pro prototyp za předpokladu modelového měřítku délek 1:10 a dodržení Froudova zákona podobnosti, viz Obr. 6. Pro srovnání je graf doplněn o vypočtenou konsumpční křivku pro přeliv s přímou přelivnou hranou a konstantním součinitelem přepadu $m = 0,42$, který se používá při výpočtu součinitele r , konsumpční křivku Smetanovy proudnicové plochy s návrhovou výškou přepadového paprsku $h_n = 1,0$ m a dále o vypočtenou konsumpční křivku pianového přelivu s parametry varianty III a využitím základních vztahů před realizací fyzikálního modelu. U měrných křivek Ia-Ic je zjevný zanedbatelný vliv úpravy tvaru přelivné hrany na celkovou kapacitu přelivu.



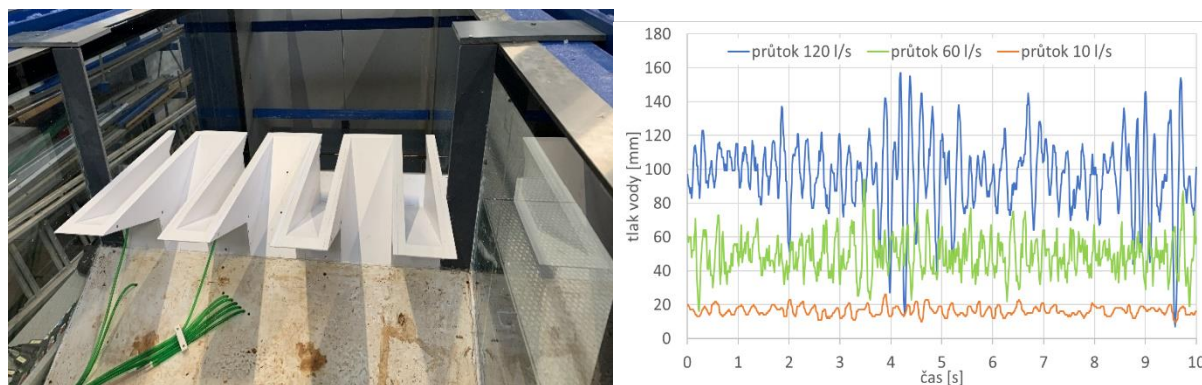
Obr. 5 Závislost parametru r na poměru H/a pro modely zkoumané v laboratoři



Obr. 6 Měrné křivky jednotlivých variant přelivu přepočtené na prototyp pro $M_1 = 10$

3.1 Tlakové pulzace – dynamické namáhání konstrukce přelivu a spodní stavby

S ohledem na prostorově složitý tvar přelivu bylo dále ověřováno hydrodynamické namáhání se zvláštním ohledem na rizika vyplývající z periodického zatížení. Na modelech všech variant pianového přelivu byly zvoleno osm míst měření tlaků a tlakových pulzací. Frekvence záznamů tlaků byla 1 kHz, viz Obr 7, přičemž část měření proběhla v rámci práce [4].



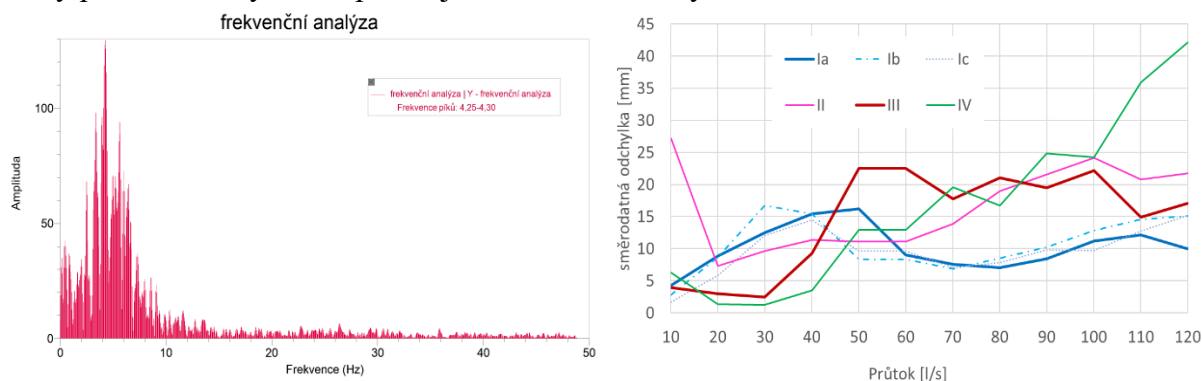
Obr. 7 Model varianty III a ukázka záznamu tlakové sondy na povodní straně za „úzkou“ klávesou pro tři hodnoty průtoků

Vyhodnocení tlakových pulzací bylo zvoleno pomocí statistických metod – převážně je srovnávána statistická veličina směrodatná odchylka, která poskytuje informaci o hodnotách tlakových pulzací předmětné části přelivu. Porovnáním směrodatných odchylek lze jednat volit mezi variantami uspořádání přelivu, ale i provést návrh úpravy přelivu pro jejich snížení. Rizika vzniku periodického namáhání jsou posuzována pomocí frekvenční analýzy záznamů sond. Obr. 8 nabízí příklad výsledné frekvenční analýzy pro jednu sondu a jeden průtok.

3.2 Boční kontrakce

Otázce efektivní šířky přelivu vlivem bočních kontrakcí je u pianových přelivů zapotřebí věnovat zvýšenou pozornost. Jednou z možností, jak zavést vliv snížení kapacity je provést standardní redukci celkové šířky prostoru přelivu W . Na tento přístup však nelze označit za

konzervatívni, neboť při větších přepadových výškách, které způsobí omezení kapacity celé klávesy, produkuje početně kapacitnější přelivy. Zde se jako vhodnější jeví i redukce skutečné délky přelivné hrany L o odpovídající část celé klávesy.



Obr. 8 Příklad FFT pro vybranou sondu varianty II (vlevo) a srovnání směrodatných odchylek všech variant v jednom místě konstrukce přelivu

4 ZÁVĚR

Základní návrh rozměrů pianových přelivů je s ohledem na prostorovou složitost proudění a postupné zahlcování jednotlivých částí prováděn s využitím bezrozměrných veličin odvozených na fyzikálních modelech. Článek představuje příspěvek pro dosud neověřované poměry šířky klapky a poměrů šířek klapky k výšce konstrukce, čímž podstatně zpřesňuje návrhu přelivů s těmito parametry. Vliv úpravy přelivné hrany u konkrétní varianty přeliv se ukázal jako zanedbatelný na rozdíl od zásadního vlivu bočních kontrakcí, které odborné i vědecké články z oblasti pianových přelivů mají tendenci zanedbávat. Dále je v článku diskutován vliv tlakových pulzací a možnosti jejich měření a vyhodnocení na fyzikálních modelech, které v současné době stále představují nejvhodnější způsob ověření hydraulických podmínek u prostorově složitě konstrukce a ověření rizik periodického dynamického namáhání.

SEZNAM LITERATURY

- [1] Delorme, F., Faramond, L, (2022): *Barrage de Goulours, Comité Français des Barrages et Réservoirs*, 3 s.
- [2] Dugué, V., Pfister, M., Hachem, F., Boillat, J-L., Nagel, V., Laugier, F. (2016): *Étude sur modèle physique du nouvel évacuateur de crue du barrage de Gage II: La Houille Blanche*, (2), pp. 31-38.
- [3] Ribeiro, M. L. a kol. (2012): *Discharge Capacity of Piano Key Weirs: Journal of hydraulic engineering, ASCE*, 5 s.
- [4] Kozáková, M., (2024): *Ověření hydraulických podmínek pianového přelivu navrženého pro VD Finklův rybník na fyzikálním modelu: diplomová práce. Praha*, 74 s.

AUTOŘI

Autor 1: Ing. Miroslav Brouček, Ph.D., České vysoké učení technické v Praze – Fakulta stavební, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, Česká republika, miroslav.broucek@fsv.cvut.cz

Autor 2: Ing. Martin Králík, Ph.D., České vysoké učení technické v Praze – Fakulta stavební, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, Česká republika, martin.kralik@fsv.cvut.cz

RIZIKOVÁ ANALÝZA ČÁSTÍ POVODÍ - ÚČINNÝ NÁSTROJ PRO CÍLENĚJŠÍ OCHRANU ZDROJŮ PITNÉ VODY

RISK ANALYSIS OF THE CATCHMENT AREAS - AN EFFECTIVE TOOL FOR MORE TARGETED PROTECTION OF DRINKING WATER SOURCES

Lucie Jašíková¹, Hana Prchalová², Zbyněk Hrkal³, Petr Vyskoč⁴, Tomáš Fojtík⁵,
Hana Nováková⁶, Jiří Dlabal⁷, Aleš Zbořil⁸, Silvie Semerádová⁹,
Václava Matěšová¹⁰, Jiří Píček¹¹

Abstrakt: V prosinci 2020 byla vydána nová evropská směrnice EU 2020/2184 o jakosti vody určené k lidské spotřebě. Tato směrnice klade velký důraz na komplexní ochranu vodních zdrojů a zavádí oproti původní směrnici z roku 1998 povinnost vypracovat posouzení a řízení rizik částí povodí souvisejících s místy odběru vody určené k lidské spotřebě. Hlavním cílem projektu "Nástroje pro posouzení rizik částí povodí souvisejících s místy odběru vody určené k lidské spotřebě" (podpořené Technologickou agenturou ČR) je vytvoření metodiky pro vypracování této rizikové analýzy částí povodí. Odběr surové vody z povrchových zdrojů převážně z nádrží představuje v České republice asi 55 % z celkového odebíraného množství surové vody. Abychom všechny zdroje pitné vody mohli lépe a cíleněji chránit, je kvalitní vypracování rizikové analýzy částí povodí zásadní.

Abstract: In December 2020, the new EU Directive 2020/2184 on the quality of water intended for human consumption was published. This Directive places a strong emphasis on comprehensive protection of water resources and introduces an obligation to carry out risk assessment and risk management of the catchment areas for abstraction points of water intended for human consumption, compared to the previous Directive from 1998. The main aim of the project "Tools for risk assessment of catchment areas for abstraction points of water intended for human consumption" (supported by the Technology Agency of the Czech Republic) is to develop a methodology for the preparation of this risk analysis of the catchment areas. Raw water abstraction from surface sources, mainly from reservoirs, accounts for about 55 % of the total amount of raw water abstracted in the Czech Republic. In order to better and more targeted protection of all drinking water sources, a proper risk analysis of the catchment areas is essential.

1 ÚVOD

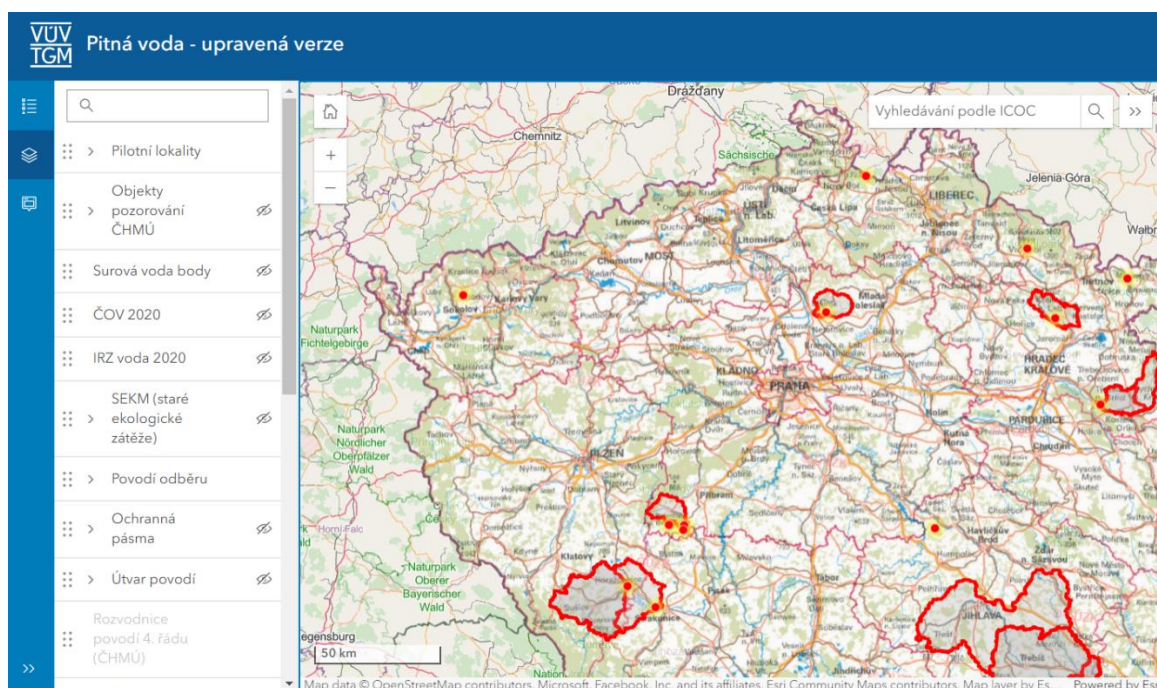
Ochrana vodních zdrojů je klíčová pro udržení ekologické rovnováhy a zajištění dostatečného množství kvalitní pitné vody pro lidskou spotřebu. Tuto skutečnost si uvědomuje i Evropská unie, která v roce 2020 vydala novou evropskou směrnici EU 2020/2184 o jakosti vody určené k lidské spotřebě^[1]. Jednou z podstatných změn oproti původní směrnici z roku 1998^[2] je článek 8, který se zabývá posouzením a řízením rizik částí povodí souvisejících s místy odběru vody určené k lidské spotřebě (riziková analýza částí povodí). Cílem řešeného projektu TA ČR SS05010210 – „Nástroje pro posouzení rizik částí povodí souvisejících s místy odběru vody určené k lidské spotřebě“ je vytvoření metodického postupu pro vypracování rizikové analýzy částí povodí.

2 PRŮBĚH ŘEŠENÍ

Evropská směrnice o jakosti pitné vody^[1] popisuje pouze základní body a cíle rizikové analýzy částí povodí. Každý členský stát si do roku 2023 transponoval požadavky nové směrnice do své legislativy podle národních specifik. Nicméně hlavní cíl celého konceptu rizikových analýz, kterým je ochrana vodních zdrojů a kvalitní pitná voda, musí být dodržen. V České republice bylo rozhodnuto, že povinnost zpracovat rizikovou analýzu částí povodí budou mít státní podniky Povodí. Na tuto rizikovou analýzu poté bude navazovat riziková analýza systému zásobování vodou, kterou budou zpracovávat dodavatelé vody.

Řešený projekt je zaměřen na rizikovou analýzu částí povodí, která se zabývá identifikováním rizik v okolí vodního zdroje (v povodí odběru). Největší počet odběrů vody pro pitné účely v České republice tvoří odběry podzemních vod, kterých je asi 3 600. Odběrů z povrchových vod je asi okolo 150, i když pokud bychom porovnávali množství odebírané surové vody, představují odběry z povrchových vod asi 55 %.

V celostátním měřítku byla provedena kategorizace odběrů surové vody. Kromě základního rozdělení na odběry podzemní a povrchové vody byly odběry podzemní vody dále kategorizovány podle přírodních hydrogeologických charakteristik do tří základních skupin. Jedná se o odběry z fluvialního kvartéru, odběry z hlubších struktur a odběry z přípovrchové zóny. Do odběrů z fluvialního kvartéru byly zařazeny odběry z kvartérních útvarů podzemních vod a odběry z niv určené na základě geologické mapy. Do odběrů z hlubokých struktur byly přiřazeny odběry z křídových a terciérních pánví, odběry z krasu a odběry z glaciálních kvartérů. Poslední skupinou jsou přípovrchové odběry z krystalinika. Pro každou kategorii bylo určeno, jak se má stanovit povodí odběru neboli oblast, ve které se určují potenciální rizika po vodní zdroj. Pro jednotlivé kategorie byly zpracovány rizikové analýzy částí povodí pro pilotní lokality. Pro každou pilotní lokalitu byly zpracovány základní charakteristiky odběru (typ odběru, georeferenční údaje o odběru, informace o ochranném pásmu vodního zdroje, informace o velikosti odběru atd.) a bylo identifikováno povodí odběru. Poté byla určena potenciální rizika a ověřeno, jestli dochází k náležitému monitorování relevantní ukazatelů v surové vodě. Nakonec bylo v závěrečné části shrnuto, jestli je nutná úprava monitorovacího programu, jaké jsou nevyhovující ukazatelé a případně byla sepsána další doporučení a komentáře. Všechny podstatné informace ohledně pilotních lokalit jsou veřejně dostupné formou webové mapové aplikace (Obr. 1), které je přístupná na adrese geoportal.vuv.cz/aplikace/pitna-voda. Nyní bude dokončena metodika pro zpracování rizikové analýzy částí povodí, která by měla být vypracovaná do konce roku 2024. Pro více informací o projektu můžete navštívit stránky projektu na adrese pitnavoda.vuv.cz.



Obr. 1 Webová mapová aplikace projektu TA ČR SS05010210 – „Nástroje pro posouzení rizik částí povodí souvisejících s místy odběru vody určené k lidské spotřebě“.

3 ZÁVĚR

Mezi hlavní cíle rizikové analýzy částí povodí patří kontrola monitoringu surové vody a případně návrh vhodného monitorovacího programu. Dále by mělo dojít k ověření, jestli k vodnímu zdroji existuje ochranné pásmo vodního zdroje, a pokud existuje, tak jestli je dostatečné nebo nedostatečné. Nakonec mohou být navržena preventivní opatření v částech povodí souvisejících s místy odběru vody určené k lidské spotřebě, pokud budou nalezeny zdroje znečištění. Zároveň je důležité, aby se při zpracování rizikové analýze částí povodí vycházelo ze získaných znalostí a zkušeností s opatřeními provedenými v souladu s rámcovou směrnicí o vodách^[3]. Díky tomuto propojení můžeme lépe chránit nejen vodní zdroje, ale i životní prostředí jako celek.

PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek byl vytvořen v rámci projektu TA ČR SS05010210 - Nástroje pro posouzení rizik částí povodí souvisejících s místy odběru vody určené k lidské spotřebě.

SEZNAM LITERATURY

- [1] Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2020/2184 o jakosti vody určené k lidské spotřebě (přepracované znění).
- [2] Směrnice Rady 98/83/ES o jakosti vody určené k lidské spotřebě.
- [3] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/60/EC ustavující rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky.

AUTOŘI

Autor 1: Mgr. Lucie Jašíková, Ph.D., Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., Podbabská 30, 160 00 Praha, Česká republika, lucie.jasikova@vuv.cz

Autor 2: RNDr. Hana Prchalová, Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., Podbabská 30, 160 00 Praha, Česká republika, hana.prchalova@vuv.cz

Autor 3: Doc. RNDr. Zbyněk Hrkal, CSc., Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., Podbabská 30, 160 00 Praha, Česká republika, zbynek.hrkal@vuv.cz

Autor 4: Ing. Petr Vyskoč, Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., Podbabská 30, 160 00 Praha, Česká republika, petr.vyskoc@vuv.cz

Autor 5: Ing. Tomáš Fojtík, Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., Podbabská 30, 160 00 Praha, Česká republika, tomas.fojtik@vuv.cz

Autor 6: Ing. Hana Nováková, Ph.D., Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., Podbabská 30, 160 00 Praha, Česká republika, hana.novakova@vuv.cz

Autor 7: Ing. Jiří Dlabal, Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., Podbabská 30, 160 00 Praha, Česká republika, jiri.dlabal@vuv.cz

Autor 8: Mgr. Aleš Zbořil, Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., Podbabská 30, 160 00 Praha, Česká republika, ales.zboril@vuv.cz

Autor 9: Mgr. Silvie Semerádová, Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., Podbabská 30, 160 00 Praha, Česká republika, silvie.semeradova@vuv.cz

Autor 10: Ing. Václava Matášovská, Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., Podbabská 30, 160 00 Praha, Česká republika, vaclava.matasovska@vuv.cz

Autor 11: Ing. Jiří Píček, Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., Podbabská 30, 160 00 Praha, Česká republika, jiri.picek@vuv.cz

VODOHOSPODÁRSKE RIEŠENIE ZLEPŠENIA STAVU MOKRADE NPR KLÁTOVSKÉ RAMENO

WATER MANAGEMENT SOLUTION FOR THE IMPROVEMENT OF THE WETLAND KLÁTOV BRANCH NNR

Andrej Šoltész¹, Martin Orfánus², Dana Baroková³, Jakub Mydla⁴, Roman Mikuš⁵,
Juraj Kľučinec⁶, Monika Supeková⁷

Abstrakt: V rámci projektu „Zlepšenie stavu mokrade Národnej prírodnej rezervácie (NPR) Klátovské rameno“ financovaného z Nórskeho finančného mechanizmu bolo úlohou Katedry hydrotechniky ako spoluriešiteľského partnera nájsť riešenie novej revitalizácie vodného režimu viac ako 30 km dlhého Klátovského ramena. Klátovské rameno bolo začiatkom 20. storočia prehradené a tým odrezané od povrchového zdroja vody - Malého Dunaja. Stalo sa tak po katastrofálnych povodniach v roku 1897 a najmä v roku 1899. Odvtedy sa jediným zdrojom pre Klátovské rameno stala podzemná voda.

Príspevok sa zaoberá hydraulickým riešením nepriameho prítoku povrchovej vody z Malého Dunaja s možnou infiltráciou do Klátovského ramena. Základom riešenia bola analýza hydrologických, hydrogeologických a morfológických charakteristík územia v NPR Klátovské rameno, ktoré boli doplnené vlastnými meraniami hydraulických parametrov na toku Klátovského ramena a jeho prítokov. Vzhľadom na navrhované technické riešenie dopĺňovania Klátovského ramena z Malého Dunaja filtráciou cez „priesakové nádrže“ v hornom úseku Klátovského ramena boli tieto podklady doplnené infiltračnými experimentmi merajúcimi intenzitu vsaku povrchovej vody do podlažia, na základe ktorých bol navrhnutý systém procesu infiltrácie malodunajskej vody do Klátovského ramena.

Abstract: In frame of the project “Status improvement of wetland of Klátov branch National Nature Reserve (NNR)” financed from the Norwegian financial mechanism was the task of the Department of Hydraulic Engineering as co-researcher partner to find a solution for possible revitalisation of the water regime of the more than 30 km long Klátov branch. The Klátov branch was in the beginning of the 20th century dammed and thus cut off from the surface water source – the Little Danube. It happened after disastrous floods in 1897, and especially in 1899. Since then the only source for the Klátov branch has become the groundwater.

The paper deals with the hydraulic solution of indirect inflow of surface water from the Little Danube with possible infiltration into the Klátov branch. The basis for the solution was the analysis of hydrological, hydrogeological and morphological characteristics of the area in Klátov branch NNR, which were complemented by own measurements of hydraulic parameters in the flow of the Klátov branch and its tributaries. Considering the proposed technical solution of the recharge of the Klátov branch from the Little Danube by filtration through the "seepage tanks" in the upper section of the Klátov branch, these documents were supplemented by infiltration experiments measuring the intensity of the infiltration into the bedrock, on the basis of which the system of the infiltration process of the Little Danube water into the Klátov branch was designed.

1 ÚVOD

V rámci riešenia projektu **Zlepšenie stavu mokrade NPR Klátovské rameno na území SKUEV0075** (Kód projektu ACC04P05) mala – Stavebná fakulta STU v Bratislave ako spoluriešiteľské pracovisko za úlohu vypracovať Vodohospodársko – environmentálnu štúdiu, ktorej cieľom je zlepšenie prietokového a hladinového režimu vody v Klátovskom ramene

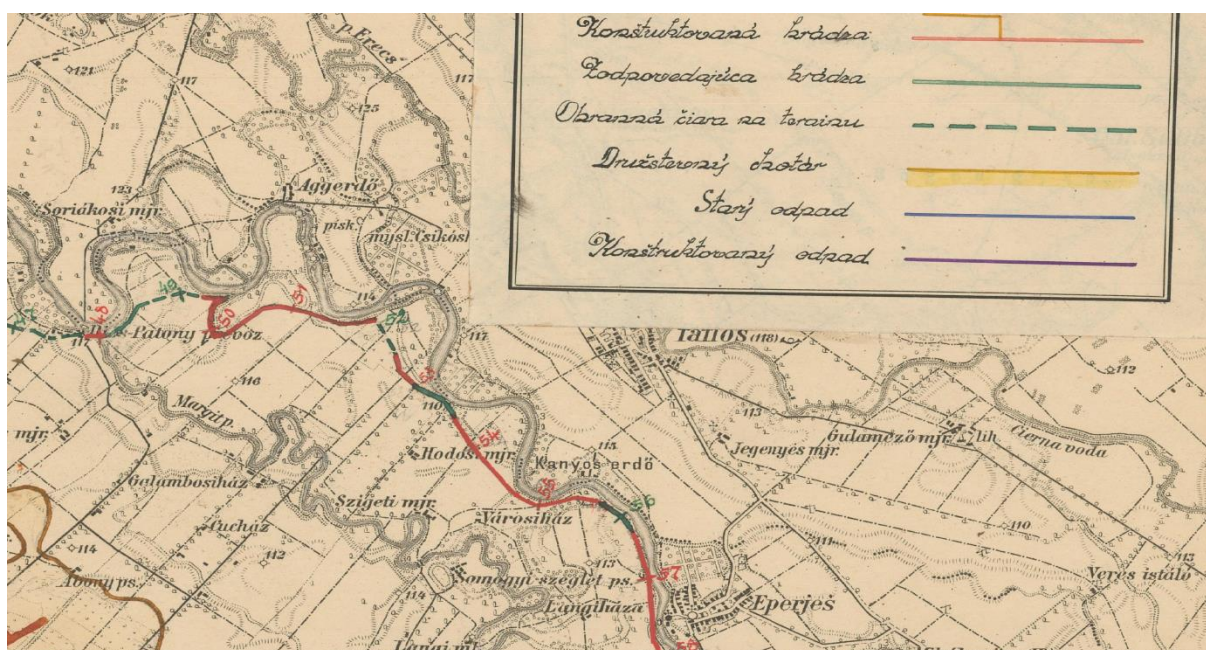
a jeho okolí za účelom celkového zlepšenia stavu mokradných biotopov stojatých vôd, mokradi a lužných lesov v Národnej prírodnej rezervácii (NPR) Klátovské rameno.

Podkladom pre samotné riešenie bola analýza hydrologických, hydropedologických, hydrogeologických, morfológických a biologických charakteristík územia v NPR Klátovské rameno, ktoré boli doplnené o vlastné merania hydraulických parametrov v samotnom toku Klátovského ramena a jeho prítokoch. Vzhľadom na navrhované technické riešenie dotácie Klátovského ramena z Malého Dunaja filtráciou cez „vsakovacie nádrže“ v hornom úseku ramena, boli tieto podklady doplnené o infiltračné pokusy merania intenzity vsakovania povrchovej vody do podložia koryta Klátovského ramena, na základe ktorých bol navrhnutý samotný systém procesu vsakovania malodunajskej vody do Klátovského ramena.

2 HISTORICKÝ VÝVOJ KLÁTOVSKÉHO RAMENA

Klátovské rameno je pravostranný prítok Malého Dunaja. Často sa uvádza, že nemá prameň a ani sa neodčleňuje od iného toku, vyviera z podzemných vôd za obcou Orechová Potôň – Lúky, vďaka čomu sa vyznačuje vysokým stupňom čistoty vody. Toto tvrdenie je len sčasti pravdivé. Pôvodné Klátovské rameno (po maď. kedysi Tökési Kis Duna, neskôr Tökési ág) bolo priamo prepojené a napájané z Malého Dunaja. O samotnom odrezaní Klátovského ramena od Malého Dunaja bolo rozhodnuté po katastrofálnej povodni na Dunaji v roku 1899 a neskôr po povodni z roku 1903. Vtedy bolo územie „Tökésskeho ostrova“ ohrozené výstavbou hrádzi pozdĺž Váhu, následkom čoho vzdutá voda „Váhodunaja“ (označenie úseku Váhu medzi Kolárovom a Komárom) zapríčinila spätné vzdutie Malého Dunaja, preliala sa cez nedostatočné hrádze Klátovského ramena a zaplavila dolnú časť územia „Tökésskeho ostrova“. Realizácia uzavretia Klátovského ramena síce bola vykonaná ešte pred I. svetovou vojnou, ale nie v uspokojivej miere. Počas vojny bola činnosť na protipovodňovej ochrane príľahlého územia úplne zastavená a k pokračovaniu došlo až po roku 1918.

Na Obr.1 je uvedená mapa hornej časti Klátovského ramena od Orechovej Potône – Lúky po Jahodnú z roku 1931, kde je znázornená vybudovaná ochranná hrádza Malého Dunaja, ktorej bol venovaný kolaudačný protokol z roku 1925 a ktorej súčasťou bolo uzavretie Klátovského ramena [1].



Obr. 5 Mapa Klátovského ramena po kolaudácii stavebných prác z roku 1931 (Varga, 2022)

Od tohto obdobia sa zdrojom vody do Klátovského ramena v jeho hornej časti stal priesak z podzemnej vody, resp. zrážky. Počas 20.storočia sa dotácia priesakom znižovala kvôli postupnému zakolmatovaniu koryta Malého Dunaja, do ktorého dlhodobo nie sú prepúšťané niekdajšie korytotvorné prietoky, len regulovaný stabilný prietok. Po výstavbe vodného diela (VD) Gabčíkovo a jeho uvedení do prevádzky v roku 1992 sa táto dotácia postupne znižovala najmä dôsledkom zakolmatovania Hrušovskej zdrže. Samotné napájanie Klátovského ramena povrchovou vodou je realizované pravostranným prítokom Klátovského kanála, ktorý je dotovaný vodami Malého Dunaja, sčasti zbiera priesakové vody zo severovýchodného územia horného Žitného ostrova a ústi do Klátovského ramena v Dunajskom Klátove pod mlynom (rkm 14,020). Najvýznamnejším prítokom do dolnej časti Klátovského ramena je pravostranný prítok primárneho odvodňovacieho kanála odvodňovacej sústavy SVII (podľa [2]), Gabčíkovo – Topoľníky (podľa vodohospodárskej mapy, SVP). Zároveň ho možno označiť aj za najspoľahlivejší, pretože je stále dotovaný vodou z prívodného kanála VD Gabčíkovo a zároveň do neho ústia sekundárne odvodňovacie kanály AVII, BVII a CVII, ktoré sú dotované z ľavostranného priesakového kanála VD Gabčíkovo.

3 PRÍRODNÉ POMERY ZÁUJMOVÉHO ÚZEMIA

Klimatické pomery Žitného ostrova sú určované predovšetkým geografickými činiteľmi, t. j. zemepisnou šírkou a dĺžkou a nadmorskou výškou. Územie patrí k najteplejším oblastiam Slovenska s priemernou ročnou teplotou 9°C – 11°C, kde priemerná ročná teplota v januári je vyššia ako -2 °C a priemerná ročná teplota v júli je vyššia ako 20 °C. V tomto území je počet dní so snehovou pokrývkou menej ako 40 dní [3].

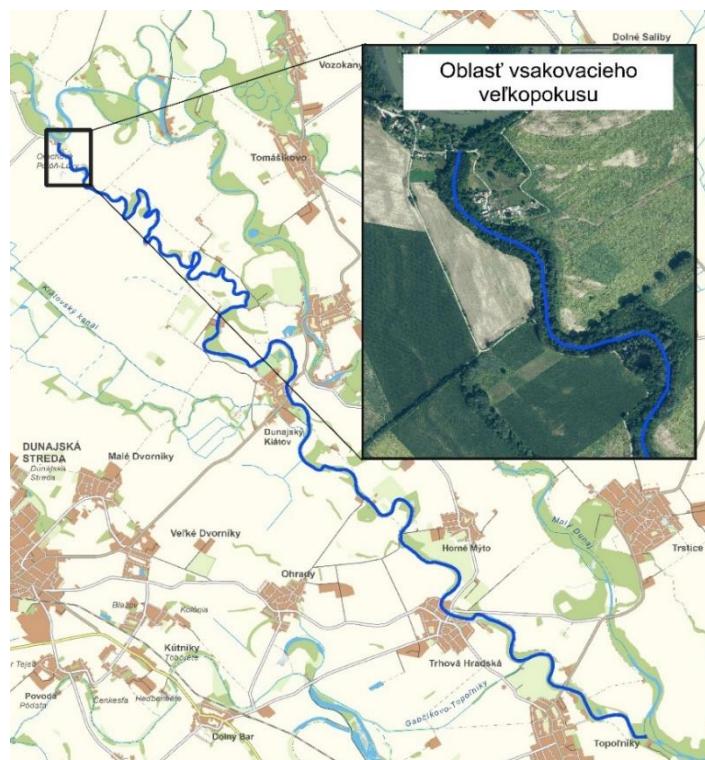
V dlhodobom pozorovaní (obdobie rokov 1961-1990) sa priemerný ročný úhrn zrážok pohybuje v rozmedzí 500 – 550 mm. V júli v dlhodobom priemere (1961-1990) padne 50-60 mm a v januári 30-40 mm zrážok [3].

Územie Žitného ostrova patrí do povodia Dunaja a povodia Váhu. Územie medzi Dunajom a Malým Dunajom je popretkávané zbernými, zavlažovacími a odvodňovacími kanálmi. Pôvodne bola v časti priľahlej k Dunaju vyvinutá bohatá sieť ramien, ktorá zanikala v dôsledku výstavby VD Gabčíkovo. Priemerný ročný špecifický odtok v podstatnej časti územia je menej ako 1,0 l.s⁻¹.km⁻² (Lešková et al., Atlas krajiny SR 2002). Na základe dlhodobého pozorovania (obdobie rokov 1931-1980) sa v hodnotenom území vyskytujú maximálne prietoky v mesiaci marec a minimálne v mesiaci september. Vysoká vodnatosť v území je viazaná na obdobie február až apríl [3].

Priemerný ročný prietok Dunaja v Bratislave v období od 1931 do 2000 bol 2 044 m³.s⁻¹. Malý Dunaj je najdlhším (posledným) ľavostranným ramenom Dunaja, ktorý má dĺžku toku 128 km. Jeho priemerný ročný prietok sa za posledné roky pohyboval na stanici Nová Dedinka 32,60 m³.s⁻¹ a na stanici Trstice 35,10 m³.s⁻¹. Malý Dunaj odvádza okrem dunajských aj vody z juhovýchodných svahov Malých Karpát. Jeho najväčším prítokom je Čierna Voda. Do povodia Malého Dunaja parí aj Klátovské rameno, ktoré do neho ústi pri Topoľníkoch [4].

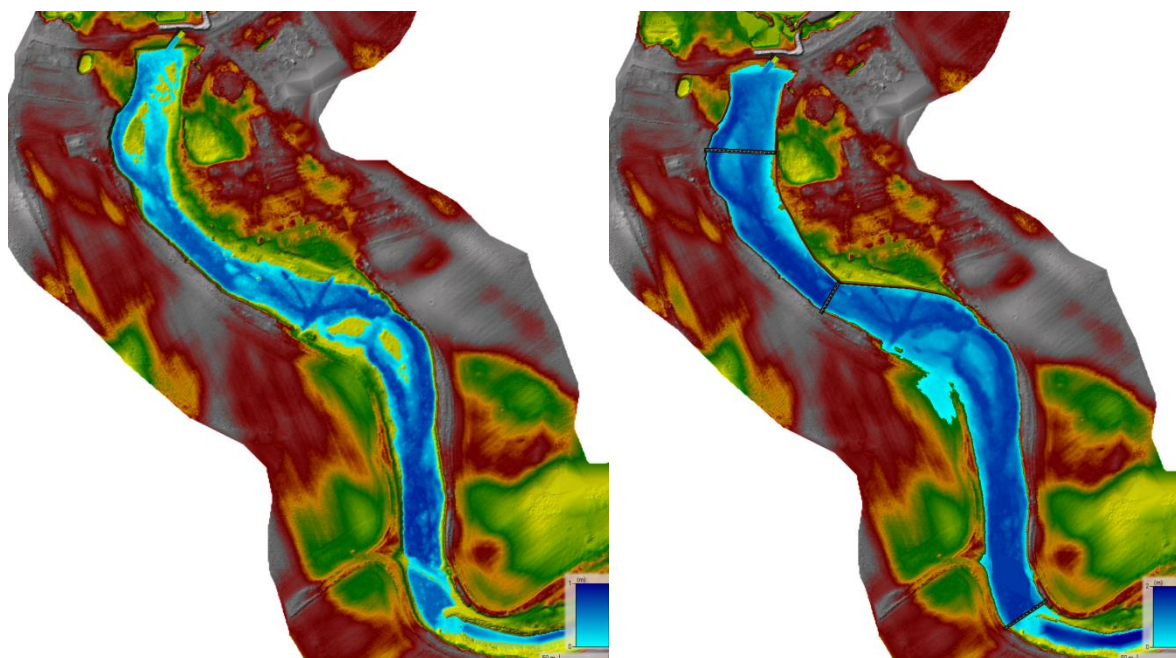
4 IDEOVÝ NÁVRH NAPÚŠŤANIA KLÁTOVSKÉHO RAMENA

Čerpanie vody z Malého Dunaja a jej vypúšťanie v najvrchnejšej časti Klátovského ramena bolo pracovne nazvané - **Vsakovací veľkopokus** [5]. Takýmto pokusom by sa mala preveriť možnosť napúšťania Klátovského ramena nepriamym spôsobom (dotovaním podzemných vôd s následným vyvieraním v Klátovskom ramene). Úlohou vsakovacieho veľkopokusu, by nebolo iba doplnenie a overenie vykonaných „malých (bodových)“ vsakovacích pokusov, ktoré nám prinášajú informáciu o infiltračnej schopnosti skúmaného územia, ale aj určenie presného smeru prúdenia podzemných vôd v relatívne malej oblasti a taktiež kvantifikácie výverových množstiev. Prehľadná situácia umiestnenia vsakovacieho veľkopokusu je na Obr. 2.



Obr. 2 Prehľadná situácia umiestnenie vsakovacieho veľkopokusu

Pre lepšiu preskúmateľnosť najvrchnejšej časti Klátovského ramena bol vytvorený lokálny matematický model prúdenia povrchových vôd zameraný iba na túto oblasť. Na modeli boli skúmané riziká spojené s napájaním Klátovského ramena vodou z Malého Dunaja. Na Obr. 3 vľavo je znázornená mapa hĺbok pri dotačnom prietoku $Q = 1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ v aktuálnom teréne[5].



Obr. 3 Mapa hĺbok pri prietoku $Q=1,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, aktuálny terén (vľavo), s prehrádzkami (vpravo)
Pre podporu infiltrácie povrchových vôd a zníženie rýchlosti prúdenia, čo zasa prinesie podporu sedimentačných procesov nevyhnutných na čo najväčšie prečistenie/odsedimentovanie

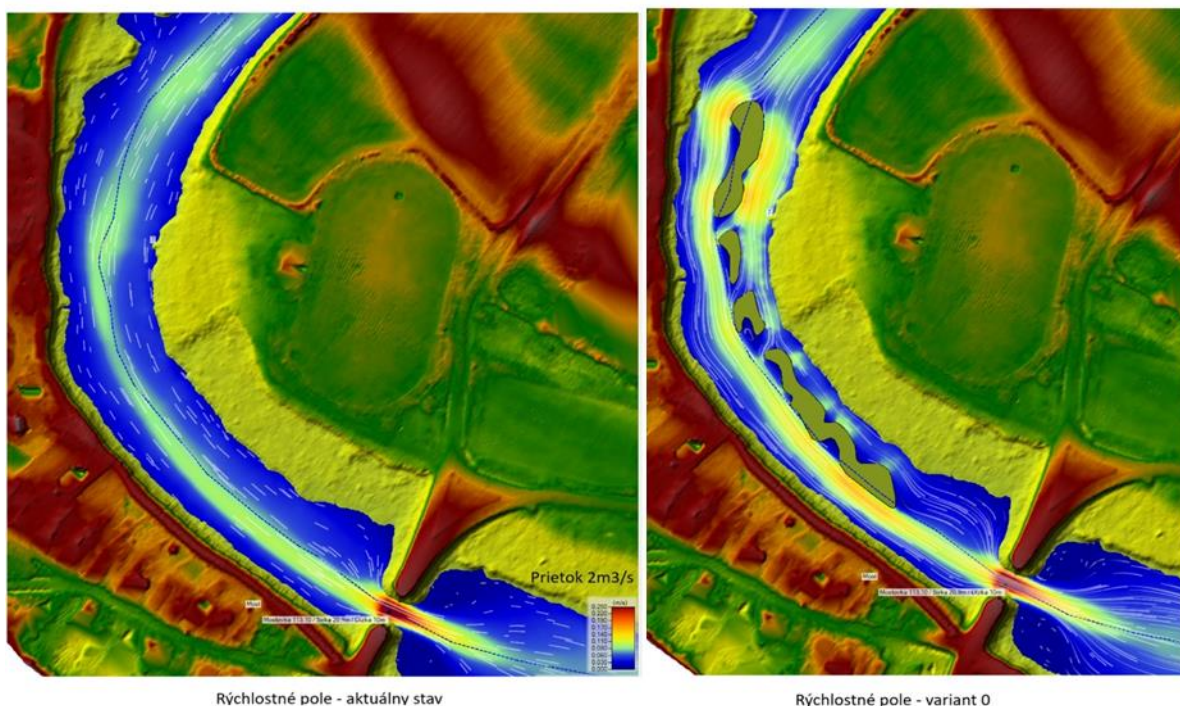
malodunajskej vody, boli koncepčne navrhnuté 3 prehrádzky v tejto časti Klátovského ramena (Obr. 3 vpravo).

5 HLADINOVÝ A RÝCHLOSTNÝ REŽIM KLÁTOVSKÉHO RAMENA

Na určenie hladinového režimu záujmového úseku Klátovského ramena bol použitý dvojdimenzionálny matematický model HEC-RAS 2-D v.6.3, ktorý bol vyvinutý hlavne za účelom využitia ako základný technologický nástroj pre plánovanie a analýzu v oblasti povodňových škôd riečnych systémov. Základom dobre zostaveného matematického modelu sú okrem digitálneho modelu terénu a batymetrie (merania hĺbok koryta pod hladinou povrchovej vody) potrebné terénne merania prietokov a hladiny povrchovej vody v Klátovskom ramene a na jeho prítokoch, vďaka ktorým bola vykonaná kalibrácia samotného modelu. Tieto boli vykonané kolektívom katedry hydrotechniky SvF STU počas riešenia projektu.

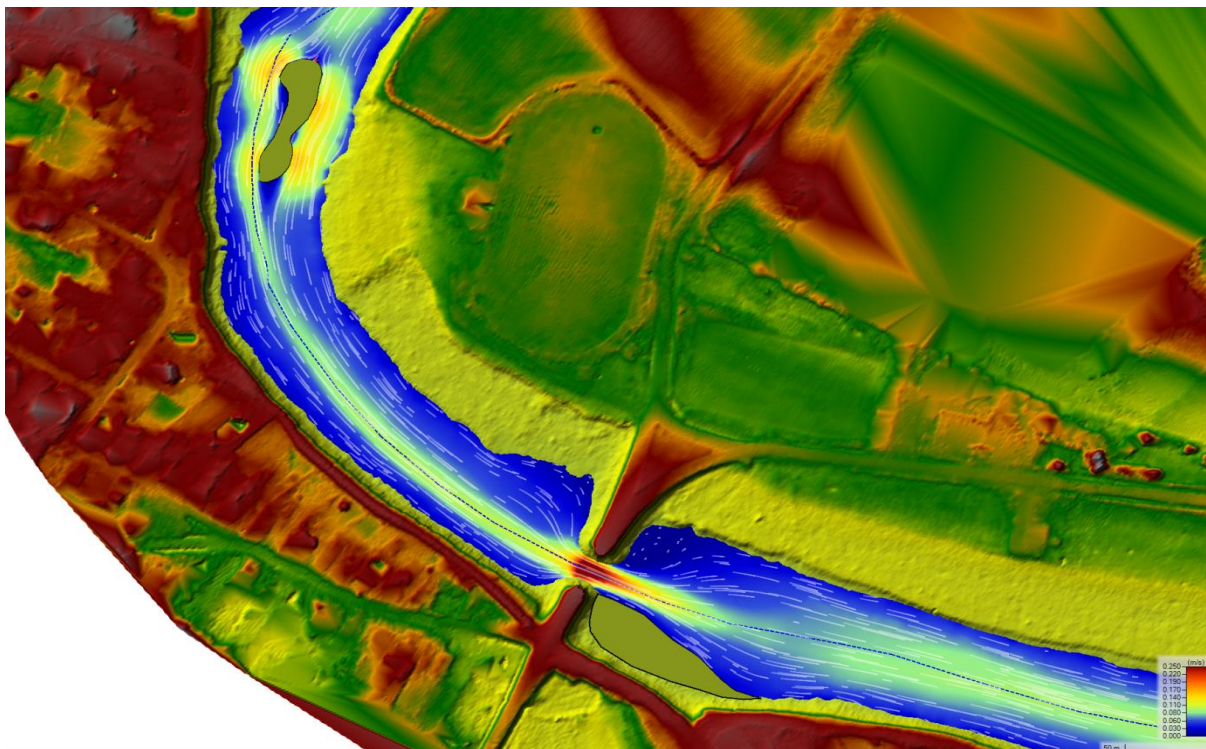
Po kalibrácii zostaveného matematického modelu boli skúmané v spolupráci so ŠOP viaceré scenáre možnosti nadlepšovania prietokového a hladinového režimu, ako aj scenár možného preplachu Klátovského ramena hydraulickým spôsobom vzhľadom k tomu, že dané územie je NPR a bagrovanie sedimentov v koryte nie je prípustné.

Pre nedostatok priestoru uvádzame z procesu modelovania len výsledok modelovania, ktorý bol v spolupráci s pracovníkmi SVP aj v rámci riešeného projektu zrealizovaný. Týmto výsledkom je znázornenie zmeny rýchlostného poľa vďaka návrhu deliacich ostrovov v toku Klátovského ramena nad cestným mostom v Trhovej Hradskej (Obr. 4) [5].



Obr. 4 Porovnanie vplyvu návrhu ostrovov na rýchlostné pole a delenie prietoku pred výstavbou (aktuálny stav, vľavo) a po návrhu sústavy ostrovov

Žiaľ, finančné prostriedky v projekte stačili len na realizáciu jedného ostrova, ktorý je znázornený na Obr. 5.



Obr. 5 Znáznornenie výsledku 2-D modelovania rýchlostného poľa po výstavbe ostrova v Klátovskom ramene v Trhovej Hradскеj

6 ZÁVER

Hlavnou úlohou riešiteľského kolektívu bolo zostavenie 2-D matematického modelu prúdenia vody v Klátovskom ramene v GIS prostredí, ktorý bol postupne nakalibrovaný vďaka ďalším terénnym meraniam zameraným na prietokový a hladinový režim v jednotlivých profiloch na Klátovskom ramene a jeho prítokoch. Na základe modelovania bolo možné vytvoriť potrebné scenáre dotácie vody do Klátovského ramena a s tým súvisiace možné morfológické úpravy koryta za účelom zlepšenia rýchlostného režimu toku s cieľom uvedenia dnových sedimentov v toku do pohybu. Pri ich zostavení riešitelia úzko spolupracovali so ŠOP.

Výsledky namodelovaných scenárov zlepšenia prietokového a hladinového režimu boli doplnené o možnosti stanovenia vplyvu realizácie lokálnych usmerňovacích stavieb, resp. umelých ostrovov, ktorých úlohou bolo zvýšenie rýchlosti vodného prúdu a s ňou spojenej unášacej schopnosti splavenín a sedimentov v koryte Klátovského ramena. Najlepším dôkazom je samotná realizácia pilotného ostrova a pilotnej štrkovej lavice v obci Trhová Hradská.

POĎAKOVANIE

Príspevok bol vypracovaný podľa metodiky vypracovanej v rámci projektu APVV-19-383 „Prírodné a technické opatrenia zamerané na retenciu vody v podhorských povodiach Slovenska“.

ZOZNAM LITERATÚRY

- 7 Varga, P. (2022) Klátovské rameno – minulosť, prítomnosť a budúcnosť. Power pointová prezentácia, SVP, Bratislava, 37 s.
- 8 Gyalokay, M. (1960): Odvodnenie Žitného ostrova, Práce a štúdie 11, VÚVH Bratislava, 217 s.
- 9 ATLAS KRAJINY SR (2002): 1. vydanie, Bratislava – MŽP SR, Banská Bystrica – SAŽP, 344 s.
- 10 Benková, K. a kol. (2005): Základná hydrogeologická mapa Podunajskej roviny – Žitného ostrova a pravobrežia Dunaja v mierke 1:50 000, ŠGÚDŠ, 267 s.
- 11 Šoltész, A. a kol. (2024): Zlepšenie stavu mokrade NPR Klátovské rameno na území SKUEV0075, Vodohospodársko – environmentálna štúdia, SvF STU v Bratislave, 91 s.

AUTORI

Autor 1: prof. Ing. Andrej Šoltész, PhD., Slovenská technická univerzita v Bratislave, Stavebná fakulta, Katedra hydrotechniky, Radlinského 11, 810 05 Bratislava, andrej.soltesz@stuba.sk

Autor 2: doc. Ing. Martin Orfánus, PhD., Slovenská technická univerzita v Bratislave, Stavebná fakulta, Katedra hydrotechniky, Radlinského 11, 810 05 Bratislava, martin.orfanus@stuba.sk

Autor 3: doc. Ing. Dana Baroková, PhD., Slovenská technická univerzita v Bratislave, Stavebná fakulta, Katedra hydrotechniky, Radlinského 11, 810 05 Bratislava, dana.barokova@stuba.sk

Autor 4: Ing. Jakub Mydla, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Stavebná fakulta, Katedra hydrotechniky, Radlinského 11, 810 05 Bratislava, jakub.mydla@stuba.sk

Autor 5: Ing. Roman Mikuš, Slovenský vodohospodársky podnik, štátny podnik, Karloveská 2, 841 04 Bratislava, roman.mikus@svp.sk

Autor 6: Ing. Juraj Kľučinec, Slovenský vodohospodársky podnik, štátny podnik, Karloveská 2, 841 04 Bratislava, juraj.klucinec@svp.sk

Autor 7: Ing. Monika Supeková, Slovenský vodohospodársky podnik, štátny podnik, Karloveská 2, 841 04 Bratislava, monika.supekova@svp.sk

VYUŽITÍ CFD PRO TRANSFORMACI VODNÍ ELEKTRÁRNY ORLÍK NA PŘEČERPÁVACÍ VODNÍ ELEKTRÁRNU

CFD FOR ORLÍK HPP: PAVING THE WAY FOR TRANSFORMATION TO PSP

Jiří Souček¹, Petr Nowak²

Abstrakt: Zvýšené požadavky na flexibilitu energetických zdrojů si vyžádaly transformaci vodní elektrárny Orlik na přečerpávací vodní elektrárnu se dvěma reverzibilními soustrojími. Samotná transformace je velmi náročnou a komplexní technickou výzvou vyžadující důkladnou přípravu. Přesné měření průtoku v obou provozních režimech je klíčové nejen z hlediska ověření parametrů, ale i pro dlouhodobý, bezpečný a bezporuchový provoz strojů s vysokou účinností a dlouhou životností. Článek dokumentuje využití numerického modelování proudění tekutin (CFD) pro vyčíslení nejistoty měření průtoku v přivaděči při použití různých metod měření (měření hydrometrickými vrtulemi, ultrazvuková metoda „time to travel“ a Gibsonova metoda). Společně s vyhodnocenými hydraulickými charakteristikami spojenými s výsledky z vědecké literatury jsme byli schopni doporučit nejistoty a umístění profilů pro měření. Pro oba směry proudění v přivaděči byla ultrazvuková metoda vyhodnocena jako nejvhodnější. Další CFD posouzení se týká proudění vody ve vývaru (odpadního kanálu) vodní elektrárny při různých režimech provozu a kombinací umístění reverzibilních Francisových turbín nebo také posouzení tvorby vtokových vírů. Využití CFD snižuje nejistoty hydraulických problémů a umožňuje vhodný výběr typu měření průtoku pro ověření parametrů dodaných vodních turbín.

Abstract: Increased requirements for the flexibility of energy sources resulted in transforming the Orlik hydropower power plant into a pumped storage hydropower plant with two reversible sets. The transformation is a demanding and complex technical challenge requiring thorough preparation. Accurate flow measurement in both operating modes is critical in terms of turbine parameter verification and long-term, trouble-free operation of machines with high efficiency and long service life. The article documents the use of CFD to quantify the uncertainty of the flow measurement in the penstock when using different measurement methods (measurement with current meters, ultrasonic "time to travel" method, and Gibson method). Together with the evaluated hydraulic characteristics and the results from the scientific literature, we can recommend uncertainties and measurement locations. The ultrasonic method was evaluated as the most suitable for both flow directions in the penstock. Another CFD assessment concerns the flow behaviour in a hydropower plant's stilling basin under different operating modes and combinations of the location of reversible Francis turbines or the assessment of the formation of inlet vortices. The use of CFD reduces the uncertainties of hydraulic problems and allows the appropriate type of flow measurement selection to verify the parameters of the supplied water turbines.

1 ÚVOD

Vltavská kaskáda je soustava devíti vodních děl na řece Vltavě vybudovaná v letech 1930 až 1992. Tato soustava plní mnoho funkcí – ochrannou před povodněmi, rekreační, vodárenskou a zejména energetickou. Celkový instalovaný výkon vodních elektráren na kaskádě je 750 MW, z čehož 364 MW je instalováno právě na VE Orlik. Díky velmi zahloubeným savkám VE Orlik (cca 12 metrů pod minimální dolní hladinou) je možné přeměnit stávající VE na PVE s dolní nádrží Kamýk. Plánem je náhrada všech Kaplanových turbín za Francisovy turbíny a dvě turbíny reverzibilní. V ČR jsou nyní celkem 3 velké přečerpávací elektrárny – konkrétně Dlouhé Stráně (650 MW), Dalešice (480 MW) a Štěchovice II (45 MW) s celkovým

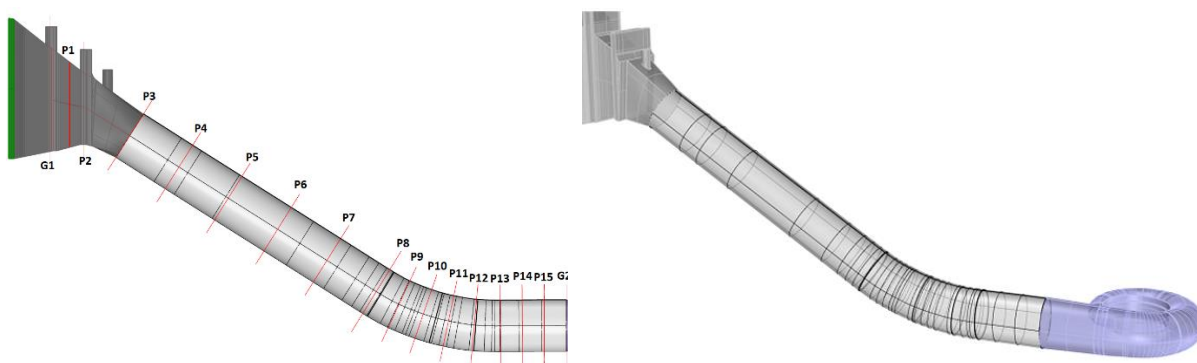
instalovaným výkon 1175 MW, částečnou přeměnou VE Orlik na PVE dojde ke zvýšení o dalších cca 200 MW. Změna stávajícího využití na PVE výměnou turbín je sice oproti stavbě nové PVE výrazně jednodušší záležitostí, ale zároveň s sebou nese řadu problémů a rizik. Například se jedná o rizika tvorby vtokových vírů na vstupu do savky v čerpadlovém režimu, chování podjezí při současném provozu turbíny a čerpadla (tzv. hydraulickém zkratu) a také problematiku měření průtoku v přivaděči. Pro tyto tři jmenované problémy byly využity numerické CFD simulace.

2 VÝBĚR NEJVHODNĚJŠÍ METODY MĚŘENÍ PRŮTOKU

Vzhledem k velice krátkému přivaděči (délka přivaděče cca devítinásobkem průměru) a změně využití (kromě turbínového i čerpadlový režim) je provedení CFD simulace nezbytné z důvodu ověření chování přivaděče, umístění měření průtoků a hrubou identifikaci nejistot tří metod měření průtoku – vodoměrnými vrtulemi, metodou tlak – čas a ultrazvukem. Zejména v čerpadlovém režimu jsou očekávány zásadní problémy s přesností měření průtoku a tím i vysoké hodnoty ověření účinností dodané turbínové technologie.

2.1 Geometrie

Z dostupných výkresových podkladů byl vytvořen 3D model (**Obr. 1**) v rozsahu od výseku části objemu nádrže Orlik až po přechod rozvaděče do komory oběžného kola. Model zahrnuje i takové detaily jako jsou drážky provizorního hrazení a havarijního uzávěru či zavzdušnění. Velký důraz byl kladen na správnou rekonstrukci tvaru přechodového kusu mezi obdélníkovým profilem a kruhovým profilem přivaděče. Model obsahuje dvě česlicové stěny opírající se o boční drážky a střední pilíř. Vzhledem k velkým rozměrům (zhruba 5x17 metrů) a malé velikosti česlicových prutů bylo rozhodnuto o nahrazení česlicových stěn v numerickém modelu pórovitou doménou. Podobně postupoval například Teitel et al. [1].



Obr. 1 Přivaděč s vyznačenými příčnými profily (vlevo) a axonometrický pohled (vpravo)

2.2 Výpočetní síť a numerické nastavení

Celá geometrie byla rozdělena na pět částí, ve kterých byla vytvořena výpočetních sítí. Konkrétně se jednalo o předpolí vtoku, česlicové stěny (reprezentované pórovitými doménami), vtokový objekt (s detaily drážek a přechodovým kusem), potrubní přivaděč DN6250 a spirálu. Samotná tvorba výpočetní sítě probíhala v program ICEM CFD 2021 R1. U zásadní části modelu (potrubní přivaděč) byla vytvořena vysoce kvalitní strukturovaná síť. U zbylých objektů byla vytvořena nestrukturovaná síť s prizmatickými elementy u stěn s plynulým

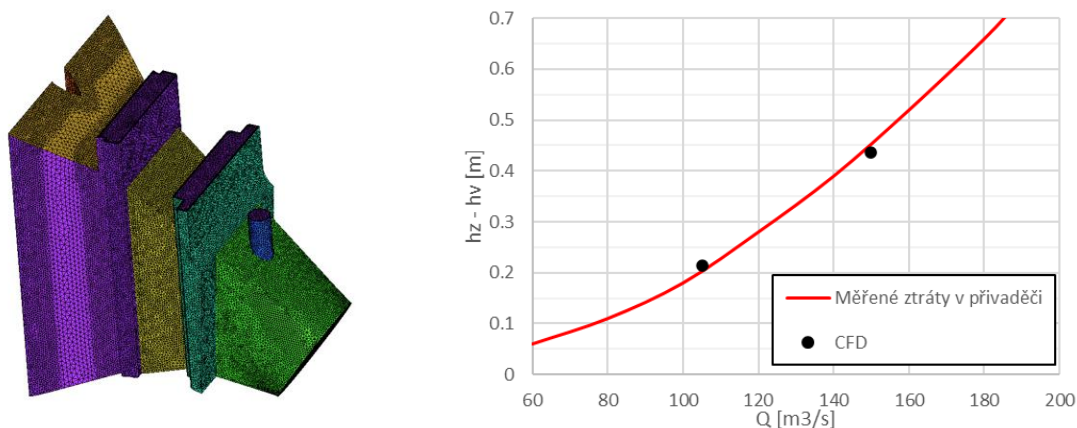
přechodem v čtyřstěny. Výška prizmatických elementů u stěn byla volena tak, aby pro návrhový průtok v turbínovém režimu ($150 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) byla hodnota y^+ v rozmezí 100 až 200. Byly provedeny testy počtu prvků výpočetní sítě s využitím metody *Grid convergence index* (GCI) [2] a nakonec byly použity sítě s celkovým počtem 7,3 milionů prvků.

Samotný výpočet byl proveden v programu ANSYS CFX 2021 R1. Výpočet byl nastaven jako kvazi-ustálený (*Steady-state*) s využitím RANS rovnic. Bylo použito advektivní schéma *High-resolution* a model turbulence *Shear Stress Transport* (SST) $k-\omega$ model s automatickou stěnovou funkcí, původně představený Menterem [3]. Použitý model turbulence lépe predikoval rozvoj sekundárního proudění než klasický model turbulence $k-\varepsilon$.

Vzhledem k charakteru úlohy byla zvolena dolní okrajová podmínka (rovina přechodu rozvaděče do komory oběžného kola) jako průtok. Jako horní okrajová podmínka (fiktivní plocha v nádrži) byl zvolen *Opening* simulující pomyslnou rovinu v nádrži. Tato možnost nejlépe odpovídá reálnému chování nátoky do přivaděče. U částí domén reprezentující stěny se jednalo o okrajovou podmínku *No slip wall*. U ocelových částí jako je potrubí D6250 a spirály (ocel) byla zvolena ekvivalentní písková drsnost o hodnotě 0.5 mm, u betonových stěn pak 4 mm. Veškeré zde uvedené nastavení vyplynulo z validace numerického modelu, prezentované v následující kapitole.

2.3 Validace

Validace numerického modelu byla provedena z pohledu tvaru rychlostních polí a hodnot hydraulických ztrát mezi profily. Porovnání rychlostních polí je ukázáno v článku Souček a kol [4]. V tomto článku je prezentováno porovnání hydraulických ztrát. Pro stávající turbínový provoz a hodnoty průtoků 105 a $150 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ bylo provedeno porovnání s naměřenými hodnotami hydraulických ztrát celého přivaděče až po profil G2. Měřené hodnoty průtoků (červeně v **Obr. 2**) představují křivku naměřených průměrných hodnot z měření účinnosti TG3 z roku 1994.



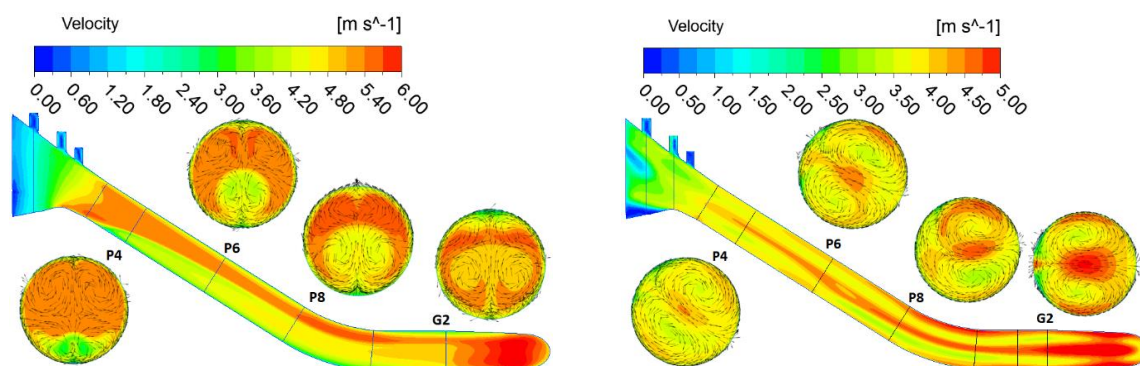
Obr. 2 Ukázka výpočetní sítě (vlevo) a validace hydraulických ztrát (vpravo)

2.4 Vyhodnocení a rozbor numerické analýzy pro turbínový i čerpadlový režim

Byly provedeny numerické výpočty pro turbínový režim s průtokem $150 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a budoucí čerpadlový režim s průtokem $110 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. V případě čerpadlového režimu je vstupem do modelu rozhraní spirály a komory oběžného kola. Zde byla definována předpokládaná podoba rychlostního profilu opouštějící oběžné kolo budoucího reverzibilního soustrojí.

Následovalo zhodnocení nejistot vybraných tří měření průtoků – vodoměrnými vrtulemi, metoda tlak – čas, měření průtoky ultrazvukem („time to travel“) - vychází zejména z norem, a

to jmenovitě IEC 60041 [5], ASME PTV 18–2020 [6], ISO 3354 [7] či ISO 7194 [8]. “Hlavní normy” jako je IEC 60041 či ASME PTV 18 jsou poměrně konzervativní co se geometrických požadavků týče a z tohoto důvodu byly pro vyčíslení nejistot dále používány normy zohledňující charakter proudění jako je ISO 3354, ISO 7194 a vědecká literatura jako například disertační práce A.Vosera [9] pro vyhodnocení nejistot měřením průtoku ultrazvukem. Z hlediska nejistoty měření je jednoznačně nejvhodnější měření ultrazvukem, nejlépe v profilu P4 až P6, kde očekáváme nejnížší nejistoty měření (podrobnosti možno nalézt ve článku Souček a kol. [4]).



Obr.3 Rychlostní pole pro turbínový režim s $Q=150 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (vlevo)
a čerpadlový režim s $Q=110 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (vpravo)

3 VYHODNOCENÍ PROUDĚNÍ V PODJEZÍ

Další numerické CFD posouzení bylo provedeno pro oblast podjezí. Hlavní důvody byly dva. Prvním z nich byla nejistota v chování proudění v podjezí při různé kombinaci umístění Francisových a reverzibilních soustrojí po transformaci stávající VE na PVE. Druhým z nich byla nejistota ohledně rizika tvorby vtokových vírů při čerpadlovém režimu reverzibilní turbíny. Již při prvotních výpočtech dle Knausse [10] a Müllera [11] bylo konstatováno, že riziko tvorby je prakticky nulové, zejména díky velkému zanoření savek a relativně malým rychlostem natékání na soustrojí v čerpadlovém režimu. Následně byly provedeny CFD simulace, jejichž nastavení bylo velice obtížné a které potvrdili jednoduché analytické výpočty. Následně byla veškerá pozornost zaměřena na CFD simulace proudění v podjezí.

3.1 Geometrie, výpočetní síť a numerické nastavení

Z pohledu proudění v podjezí vodní elektrárny je důležité rozložení hloubek ve 3D modelu, největší hloubka je za vyústěním savek, poté dno pozvolna stoupá, v půlce délky střední dělicí stěny (pravá stěna v **Obr. 4**) dno vystoupá do úrovně navazující části širokého odpadního kanálu. Samotný model je poměrně velký (cca 100 na 100 metrů), po obou stranách je kanál omezen svislými stěnami, střední dělicí stěna mezi odpadním kanálem vodní elektrárny a vývarem pod přelivy vodního díla je nepřelévána. Model je ukončen kolmicí na konci dělicí stěny, protože proudění za touto linií již v malé hloubce proudění výrazně neovlivňuje charakter proudění v hlubokých částech odpadního kanálu vodní elektrárny.

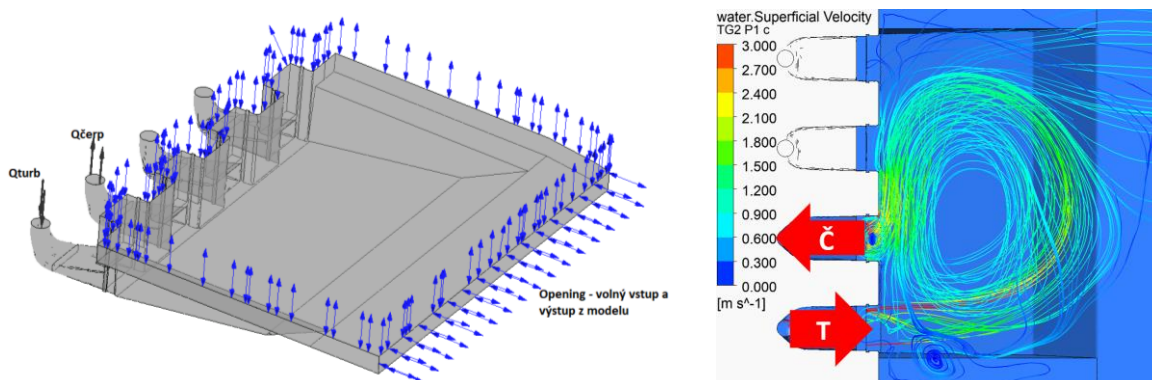
Z důvodu členitosti geometrie musela být výpočetní síť vytvořena jako nestrukturovaná s prizmatickými elementy u stěn. Síť byla výrazně zahuštěna v oblastech blízko hran stěn a v úrovni nastavené hladiny. Výpočetní model obsahuje cca 3 miliony výpočetních elementů. Výpočet probíhal v programu ANSYS CFX 2021 R1. Nastavení modelu je víceméně obdobné jako u numerického modelu přivaděče. Výjimkou je nutnost modelování nestačitého

proudění dvou fází – vody a vzduchu. Pro rychlejší výpočet byl zvolen Homogenní model – fáze sdílejí rychlostní a tlakové pole. Většinu okrajových podmínek dokumentuje **Obr. 4**. Jako horní okrajová podmínka (vstup do modelu) je vždy průtok turbínou (zadáno odpovídající rychlostní pole pro Francisovu turbínu a nominální bod). Jako dolní okrajová podmínka (výstup z modelu) je průtok v čerpadlovém režimu. Další okrajovou podmínkou je *Opening* umožňují vstup nebo výstup vzduchu nebo vody do modelu. U částí reprezentující stěny se jednalo o okrajovou podmínku *No slip wall* se zvolenou ekvivalentní pískovou drsností odpovídající charakteru jednotlivých částí povrchu konstrukce.

3.2 Výsledky pro různé provozní kombinace

Bylo provedeno celkem 10 kombinací různých provozních stavů soustrojí při hydraulickém zkratu (souběžného provozu čerpadla i turbíny). Cílem vyhodnocení bylo sledování nerovnoměrnosti natékání na soustrojí v čerpadlovém režimu. Tato nerovnoměrnost byla kvantifikována Coriolisovým koeficientem α vyhodnoceným v řezu na konci kolenové savky. Čím menší hodnota α , tím rovnoměrnější natékání.

Z vyhodnocených simulací bylo usouzeno, že vzhledem k rozměrům a zejména hloubce vývařiče není z hydraulického hlediska žádná kombinace provozních stavů problematická. Nejlepšího proudění v podjezí je dosaženo, pokud jsou od sebe turbína a čerpadlo co nejvíce vzdálené, případně pokud turbína je provozována s menším průtokem.



Obr. 4 Nastavení okrajových podmínek (vlevo); výsledek pro jeden provozní stav (vpravo)

4 ZÁVĚR

Nejdůležitějšího výsledku bylo dosaženo při vyhodnocení vhodnosti způsobu měření průtoku na přivaděči budoucí PVE Orlík. Provázáním výsledků numerických simulací, norem a vědecké literatury jsme byli schopni doporučit umístění měřicího úseku a nejistot tří hlavních metod měření průtoku – vodoměrnými vrtulemi, metodou tlak – čas (Gibson) a měření ultrazvukem. Nejnižších nejistot měření jednoznačně dosahuje měření průtoku ultrazvukem. S dosaženými výsledky bylo osloveno několik firem specializujících se na měření průtoku ultrazvukem. Jejich odezvy potvrdili naše poznatky, že při použití většího počtu měřicích rovin a drah lze při umístění mezi profily P4 až P6 dosáhnout nejistoty i jen 0.5 % v turbínovém režimu a do 2 % v čerpadlovém režimu (více v článku Souček a kol [4]).

Výsledky numerické analýza proudění v podjezí pro různé kombinace provozu soustrojí neukazují na výraznější problémy. Analýzy rizika tvorby vtokových vírů ukazují na prakticky nulové riziko, a to i při teoretickém poklesu až na práh stávajícího vývaru vodní elektrárny.

SEZNAM LITERATURY

- [1] TEITEL, M., D. DVORKIN, Y. HAIM, J. TANNY a I. SEGINER. *Comparison of measured and simulated flow through screens: Effects of screen inclination and porosity*. *Biosystems Engineering*. 2009, **104**(3), 404-416. ISSN 15375110. Dostupné z: doi:10.1016/j.biosystemseng.2009.07.006
- [2] CELIK, Ismail B. *Procedure for Estimation and Reporting of Uncertainty Due to Discretization in CFD Applications*. *Journal of Fluids Engineering*. 2008, **130**(7), 4. ISSN 00982202. Dostupné z: doi:10.1115/1.2960953
- [3] MENTER, F. R. *Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications*. *AIAA Journal*. 1994, **32**(8), 1598-1605. ISSN 0001-1452. Dostupné z: doi:10.2514/3.12149
- [4] SOUČEK, Jiří, Petr NOWAK, Martin KANTOR a Radek VESELÝ. *CFD as a Decision Tool for Pumped Storage Hydropower Plant Flow Measurement Method*. *Water* [online]. 2023, **15**(4) [cit. 2024-01-12]. ISSN 2073-4441. Dostupné z: doi:10.3390/w15040779
- [5] IEC 60041:1991. *Field acceptance tests to determine the hydraulic performance of hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines*. 3. -: International Electrotechnical Commission, 1996.
- [6] ASME PTC 18-2020. *Hydraulic Turbines and Pump-Turbines: Performance Test Codes*. 1. -: The American Society of Mechanical Engineers, 2020.
- [7] ISO 3354. *Measurement of clean water flow in closed conduit - Velocity-area method using current-meters in full conduits and under regular flow condition*. 3. -: International Organization for Standardization, 2008.
- [8] ISO 7194:2008. *Measurement of clean water flow in closed conduit - Velocity-area methods of flow measurement in swirling or asymmetric flow conditions in circular ducts by means of current-meters or Pitot static tubes*. 2. -: International Organization for Standardization, 2008.
- [9] VOSER, Alexandre. *Analyse und Fehleroptimierung der mehrpfadigen akustischen Durchflussmessung in Wasserkraftanlagen*. Zürich, 1999. Doctoral Thesis. ETH Zürich. Vedoucí práce Thomas Staubli.
- [10] *Swirling Flow Problems at Intakes*. 1st Edition. London: Routledge, 1987, 180 s. ISBN 9780203737552. Dostupné z: doi:10.1201/9780203737552
- [11] MÜLLER, Georg. *Vortex-Induced Air Entrainment Rate at Intakes*. Zürich, 2013, 223 s. 10.3929/ethz-a-009932182. Doktorská práce. ETH Zürich. Vedoucí práce Prof. Dr. Robert Boes.
- [12] ADAMKOWSKI, Adam, Waldemar JANICKI a Mariusz LEWANDOWSKI. *Measurements of Discharge through a Pump-Turbine in Both Flow Directions Using Volumetric Gauging and Pressure-Time Methods*. *Energies*. 2020, **13**(18), 26. ISSN 1996-1073. Dostupné z: doi:10.3390/en13184706

AUTOŘI

Autor 1: Ing. Jiří Souček, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, katedra hydrotechniky, Thákurova 2077/7, 166 29, Praha 6, Česká republika, jiri.soucek.2@fsv.cvut.cz

Autor 2: Dr. Ing. Petr Nowak, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, katedra hydrotechniky, Thákurova 2077/7, 166 29, Praha 6, Česká republika, petr.nowak@fsv.cvut.cz

VYUŽITÍ HYDRODEMOLICE PŘI REKONSTRUKCÍCH V PŘEHRADNÍM STAVITELSTVÍ

THE USE OF HYDRODEMOLITION IN DAM RECONSTRUCTION

Radek Veselý¹, Petra Suchopárková², Jakub Neděla³

Abstrakt: Při rekonstrukci vodních děl se setkáváme s problematikou rekonstrukce betonových částí vodních děl s potřebou částečného, nebo úplného odbourání betonových konstrukcí. Často zásahy do betonových konstrukcí mohou být značného rozsahu a s ohledem na bezpečnost vodního díla je potřeba minimalizovat dynamické účinky demolic na okolí, ať tělesa sypané hráze, nebo technologických zařízení. Hydrodemolice, neboli bourání vysokotlakým vodním paprskem je moderní způsob demolice betonových konstrukcí, který požadavky na minimální dynamické zatížení okolí splňuje. Tato technologie má řady výhod, zejména vyloučení otřesů bez narušení statiky okolních struktur, kdy nedochází k poškození armatury a ke vzniku mikrotrhlin. Samotná armatura je při bourání vodním paprskem zachována a očištěna pro další použití na stavbě. Každá technologie má však svá aplikační specifika, která mohou její použití značně limitovat. Článek má za cíl seznámit s technologií bourání vysokotlakým vodním paprskem, s aspekty, jež limitují návrh a použití této technologie v prostřední přehradního stavitelství, a předat zkušenosti z konkrétních realizací.

Abstract: In the process of hydraulic structure refurbishment, professionals frequently address the challenges associated with the restoration of concrete parts. This often necessitates partial or complete demolition of existing concrete structures. Such interventions in concrete structures can be extensive and, to ensure the integrity and safety of the waterwork, it is crucial to minimize the dynamic impacts of demolition on proximal environments, including embankment dams or technological parts. One advanced method that is employed to meet the stringent requirements of minimal dynamic loading on adjacent areas is hydrodemolition—demolition utilizing a high-pressure water jet. This technique offers numerous benefits: it eliminates the risk of vibration-induced damage, thereby preserving the static stability of nearby structures. It ensures that the concrete's reinforcement is not compromised and that microcracking is avoided. Moreover, the reinforcement bars are not only retained but also cleaned by the water jet, making them suitable for immediate reuse in the ongoing construction process. Despite its advantages, hydrodemolition is not without its application-specific constraints that may significantly restrict its deployment. The presented article seeks to acquaint the reader with the hydrodemolition technology, focusing on the limiting factors in design and application within the dam engineering context, and experiences from particular construction implementations.

1 ÚVOD

Při rekonstrukci vodních děl se setkáváme často s problematikou rekonstrukce betonových konstrukcí, které z různých důvodů je třeba částečně nebo úplně demolovat ať již z důvodu náhrady těchto konstrukcí jinou, nebo jen opravy konstrukce stávající.

Často zásahy do betonových konstrukcí mohou být značného rozsahu a s ohledem na bezpečnost vodního díla je potřeba minimalizovat dynamické účinky demolic na okolí, ať tělesa sypané hráze, nebo technologických zařízení. Při těchto zásazích do stávajících betonových konstrukcí pak pro minimalizaci dynamických účinků je zpravidla používáno řezání nebo, pokud to rozsah demolic a kvalita konstrukce dovolí, ruční bourání.

Jsou však případy, kdy těchto technologií nelze použít a pak je nutné poohlédnout se po jiné technologii, kterou by potřebné demoliční práce bylo možné provést, a jednou z možností je technologie bourání vysokotlakým vodním paprskem – hydrodemolice.

2 POPIS TECHNOLOGIE

Používání vodního paprsku není ve vodním hospodářství žádnou novinkou, byť se používá při čištění stávajících betonových i ocelových konstrukcí, případně otryskávání degradovaného betonu tlakovou vodou.

Hydrodemolice využívá vysoký tlak vody 1300 až 2500 bar a speciální trysku, která je zaměřena na betonovou plochu, kterou chceme demolovat. Vysokotlaký vodní paprsek v blízkosti trysky vniká do struktury betonu a rozrušuje cementové pojivo a následně ho eroduje a postupně tak rozrušuje betonovou konstrukci. Díky přesně definované pozici trysky je hydrodemolice velmi přesná technologie zejména s ohledem na hloubkový dosah demolice.

Hydrodemolice má velkou řadu výhod, mezi které patří zejména:

1. Šetrnost k bourané konstrukci při provádění
2. Přesnost odstraňování materiálu
3. Snížení prašnosti, hluku a vibrací
4. Při demolicích na malou hloubku lze zachovat stávající výztuž
5. Rychlost demolice
6. Provádění demolice na obtížně dostupných místech

Šetrnost k bourané konstrukci je dána samotnou technologií, neboť je maximální demoliční účinek směrován bodově vodním paprskem. Vysokotlaký vodní paprsek tak nevytváří trhlinky v bourané konstrukci, nevniká do konstrukce významné dynamické rázy a nevystavuje povrch teplotním šokům. Výhodou použití vody je, že se jedná o tzv. studenou technologii rozpojování bez přídavného tepelného namáhání opracovaného materiálu.

Aspekt nevnikání významných dynamických rázů je zajímavý zejména při rekonstrukci betonových konstrukcí v zemních hrázích, kde jsou jakékoli dynamické vlivy nežádoucí.

Při demolici je tak výrazně sníženo narušení statiky okolních struktur. Armatura v místě demolice je při bourání vodním paprskem zachována a očištěna pro případné použití v rámci rekonstrukce. Drsný, nepravidelný povrch opracovaného betonu poskytuje vynikající přilnavost pro nový beton. Zvětralý či jinak narušený beton se popisovanou metodou snadno odstraňuje.

Kromě minimalizace zatížení stávající konstrukce vibracemi je nespornou výhodou hydrodemolice i výrazné omezení prašnosti, jelikož tento způsob odstraňování betonu neprodukuje suchý křemičitý prach, což ho nakonec dělá mnohem bezpečnějším než odstraňování betonu pomocí klasického strojního bourání.

Robot navíc šetří pracovní sílu a minimalizuje pravděpodobnost zranění ve srovnání s jinými metodami, jako například sbíjecí kladiva a ruční zařízení pro řezání vodním paprskem.

Hydrodemolice je prováděna místně – ruční tryskou, nebo plošně pomocí bouracího robotamonitoru (Obr.1). Zejména použití robotického bourání pak umožňuje strojní bourání i v obtížně dostupných plochách, a to i zakřivených, což dokládá řada aplikací při bourání povrchu betonových konstrukcí při rekonstrukci povrchů konstrukcí přehrad a skluzů v USA. Byly již publikovány i příspěvky se zkušenostmi s prováděním hydrodemolice pod vodou [1].

Každá technologie má své výhody, ale i nevýhody, které její použití limituje. V případě hydrodemolice se jedná o omezení provádění prací ve venkovním prostředí na období kladných teplot, a to s ohledem na použité médium, vodu. Voda je zároveň jedním z odpadních produktů, a to jak ve formě vodní tříště a páry, tak odpadní vody. Při nízkých teplotách pak dochází k namrzání na všechny dostupné povrchy v okolí a možnému zámrazu technologické vody. I přesto jsou již známy úspěšné aplikace v klimaticky velmi nepříznivých podmínkách.

Dalším limitem pro použití technologie hydrodemolice je voda, a to jako nezbytné vstupní médium a zároveň jako jeden z odpadních produktů. Pro použití hydrodemolice je nutné zajistit dostatečný zdroj vody, a to buď z vodovodního řádu, nebo odběrem z povrchových vod, kdy je

však nutné tuto vodu pře použitím předčistit. V lokalitách, kde je vody nedostatek je nutné vodu dovážet, což při spotřebě vody v jednotkách stovek litrů za minutu provozu může být pro rozhodování o použití této technologie velice limitující faktor.

Voda je následně i produktem bourání. Voda odtékající z prostoru bourání obsahuje většinu cementových částic z demolované betonové matrice. Tuto vodu je třeba jímat, čistit a případně upravit tak, aby bylo možné ji dále vypouštět do povrchových vod v souladu s požadavky dané legislativou, případně s ní dále nakládat jako s odpadní vodou.

Z hlediska chemismu vody je hlavním problémem vyšší pH odpadní vody dosahující hodnot obvykle 11 až 12,5, z hlediska obsahu nerozpuštěných látek to pak jsou mikročástice cementového tmelu [3]. Odpadní vodu je tak nutné jímat, vodu usadit a neutralizovat. Jímání a úprava odpadní vody je tak nedílnou součástí zařízení pro hydrodemolici, což má i významný vliv na cenu bouracích prací. V běžné praxi se již využívají mobilní sedimentační linky, ze kterých vodu lze následně znovu využít jako zdroj vody pro demolici, případně ji vypustit do recipientu .

Neméně limitujícím faktorem je velikost technologického zařízení a reálný bourací výkon této technologie. Dle zahraničních podkladů lze konstatovat, že jedna jednotka je schopna odstranit 9 až 14 m³ betonu za den [3], v našich podmínkách dle podkladů realizačních firem lze maximální denní výkon očekávat 4 až 6 m³[4]. Celkový výkon je ovlivněn zejména pevností betonu, hustotou výztuže v bourané konstrukci, zrnitostí kameniva betonu, zejména podílem jeho větších frakcí a prováděnou hloubkou bourání. Vzhledem k velikosti zařízení je technologie vhodná spíše pro větší objemy bourání, kde fixní provozní náklady spojené s nutnou logistikou jsou poměrově nižší.

3 ZKUŠENOSTI Z APLIKACE NA PŘEHRADÁCH V ČR

V přehradním stavitelství byla hydrodemolice navržena poprvé v České republice při rekonstrukci krajních polí bezpečnostního přelivu VD Nechranice v roce 2017. V menší míře následně i pro rekonstrukci pravého zavázání návodního líce VD Stanovice.

V případě VD Nechranice byla technologie určena k bourání líců pilířů krajních přelivů, které byly jednak obtížně dostupné, jednak relativně subtilní a při líci poměrně vysoce vyztužené. Jelikož zkušenosti s touto technologií nebyly v České republice výrazné a technologie pro všechny účastníky výstavby nová, neobešla se aplikace technologie hydrodemolice z počátku bez problémů.

Z dnešního pohledu lze konstatovat, že předpoklady použití této technologie byly vzhledem k následné realitě poměrně velmi optimistické až romanticky naivní.

Prvním úskalím bylo pro generálního zhotovitele najít vhodnou firmu, která tyto práce provádí, jelikož ne všechny firmy, které nabízí bourání vodním paprskem opravdu tuto technologii ovládají a jsou na ni personálně a zejména materiálně vybaveny, což vedlo i ke změně dodavatele těchto prací v průběhu, kdy původní realizátor betonovou konstrukci z počátku spíše povrchově omyl a bourací práce následně prováděla na obou polích firma HDR Servis, s.r.o. Dalším problémem, který bylo nutné řešit je, jak již bylo naznačeno výše, voda a to jako zdroj i jako odpad.

Jako zdroj byla původně uvažována voda z nádrže Nechranice, ale v průběhu realizace byl zdroj změněn napojením na obecní vodovod. Důvodem byla jednak nutnost čištění na vodu na vstupu, spolu s vyšším nebezpečím poškození technologického zařízení, a rovněž nebezpečí záklesu hladiny v nádrži spojené s ústupem břehové čáry od místa stavby.

Odpadní voda z demolic byla také poměrně složitým problémem, jelikož i nakládání s touto vodou v prostředí vodního díla byla pro všechny zúčastněné nová problematika. Hlavním problémem a základním kritériem úspěšnosti bylo zamezit úniku nečištěné vody dále do skluzu a následně do Ohře, která je v této lokalitě pruhovou vodou.

Zásadní byla také problematika BOZP, jelikož pro provádění bouracích prací bylo používáno tlaku vodního paprsku až 2 500 bar, kdy docházelo k odlétávání kusů betonové konstrukce do vzdálenosti až 25 m (Obr.2). Byly prováděny pokusy o oddělení nejbližších okolních prostor mechanickými

zástěnami, nicméně bylo nezbytné vydat zákaz vstupu a provádění jakékoliv činnosti v ohroženém prostoru. Dalším opatřením pak bylo vybavit používanou techniku dostatečnou ochranou proti odlétávajícím částem betonové konstrukce. Z hlediska dodržení požadavků BOZP byl souběh jakýkoliv prováděných prací je vyloučen, mimo jiné i proto, že na základě orientačních měření hlukové zátěže v prostoru probíhající hydrodemolice bylo až 109 dB.



Obr. 1 *Dodatečně upravený manipulátor pro obsluhu bouracího robota*



Obr. 2 *Pohled na pracoviště při probíhající hydrodemolici*

Denní výkony se pohybovaly místo v harmonogramu předpokládaných 4,5 m³ pouze okolo 1 m³, mimo jiné i proto, že do prací bylo nutné zahrnout provádění dalších činností nutných pro pokračování hydrodemolice, jako je opakovaný přesun, naložení a odvoz vybourané betonové sutě, opakované odstranění ocelové výztuže v částech, kde bylo prováděné bourání na větší hloubku, průběžné opakované vytyčování a opakované zaměřování provedených demolic, kdy bylo vždy nutné přerušit demoliční práce.

K nižším výkonům přispěla i občasná poruchovost jednotlivých komponent čerpadel a trysek, přičemž kritická byla zejména odstávka z důvodu dodání náhradních dílů ze zahraničí. V průběhu demolic pak došlo také v místech subtilnějších zdí v kombinaci s lokálně nižší pevností betonu k průstřelu do vnitřních prostor, které tak byly dočasně zaplaveny vodou. I tento problém byl však operativně řešen a demolice v místech náchylných k průstřelu byla v době provádění kontrolována, případně z vnitřní strany opevněna (Obr.3).

I přes tato úskalí se ukázala technologie hydrodemolice jako jediná technologie bourání použitelná v daných podmínkách, kdy její použití bylo v rámci provádění rozšířeno i na bourání v blízkosti dosedacího prahu provizorního hrazení z důvodu vysokého vyztužení a zejména minimalizace vnosu dynamických rázů do relativně subtilní konstrukce. Dodatečný průzkum konstrukcí ukázal na vysokou kvalitu materiálu betonové konstrukce (Obr.4.), která dosahovala pevnosti v tlaku hodnot v průměru 46,5 MPa ojediněle až téměř 60 MPa [2].

Realizace pravého pole bezpečnostního přelivu byla zahájena v roce 2021 a lze říci, že se nám podařilo z výše uvedených zkušeností poučit. V zadávací dokumentaci byl upraven harmonogram dle reálného výkonu demolice a v technických požadavcích na zhotovitele byla doplněna smluvní povinnost na zajištění záložní soupravy pro hydrodemolice tak, aby v případě poruchy nedocházelo ke zbytečným prodloužením. Při realizaci bylo provedeno ze strany zhotovitele hydrodemolice vyšší nasazení robotů a zefektivněn postup bourání ve svislých pásech. Technologický pokrok byl zaznamenán i na straně vyhodnocování objemu bouraných konstrukcí, kdy bylo využito laserscanu a následného porovnání s 3D modelem konstrukce (Obr. 5 a 6).



Obr. 3 Pohled na průstřel subtilnější konstrukce v místě oslabení



Obr. 4 Detail velikosti použitého kameniva a výztuže přelivu VD Nechranice



Obr. 5 Příklad vyhodnocení bourání kombinací 3D modelu a laser scanu – zřejmá zelená místa lokalit s nedostatečnou hloubkou bourání



Obr. 6 Snímek skutečného rozsahu bourání v přibližně stejné období



Obr. 7 Realizace na VD Stanovice, pohled z koruny hráze



Obr. 8 Realizace na VD Stanovice, pohled z bezpečnostního přelivu

Lze konstatovat, že v případě realizace na pravém poli probíhala hydrodemolice na základě získaných zkušeností již plynule bez dalších překvapení a dle předpokládaného harmonogramu. Práce na hydrodemolicích byly na levém poli prováděny v letech 2018 až 2019, na pravém poli pak 2021 až 2022. Celkový objem bourání železobetonových konstrukcí technologií hydrodemolice byl 266 m³. Druhou realizací v podmínkách ČR byla rekonstrukce VD Stanovice „VD Stanovice - oprava AB pláště a sanace betonu v pravobřežním zavázání“, jejíž realizace proběhla na podzim roku 2018 (Obr. 7 a 8). Tato realizace probíhala již na základě dílčích zkušeností ze započaté realizace na VD Nechranice a měla výrazně hladší průběh, a to zejména s ohledem na nižší kvalitu bouraného betonu spojené s nižšími požadavky na výkon technologie. Práce tak probíhaly bez prodlení dle harmonogramu. V případě prací na VD Stanovice lze konstatovat, že obecná data o rychlosti a výkonu bourání byly dosaženy.

4 ZÁVĚR

Zkušenosti z realizace ukazují, že technologie hydrodemolice může být velmi přínosná pro specifické potřeby rekonstrukce významných betonových konstrukcí, kde je nutné minimalizovat dynamické účinky bourání na rekonstruovanou konstrukci. V případě VD Nechranice jsme jen stěží mohli zvolit pro první použití této technologie v oboru přehradního stavitelství v ČR obtížnější aplikaci, ale jak se posléze ukázalo, jiný způsob demolice v daných podmínkách by byl téměř nemožný. Z výše uvedených skutečností je zřejmé, že se nejedná o běžnou stavební technologii a pro její úspěšné použití je nezbytná odpovídající projektová, předvýrobní i výrobní příprava, včetně stavebně technologického projektu. Nemenší péči je také věnovat přípravě zadávací dokumentace na straně investora, a to jak upozorněním v zadávací dokumentaci, že se nejedná o běžnou technologii za obvyklou cenu bourání, tak i doplněním požadavků na zkušenost a personální a materiální vybavenost potenciálního zhotovitele. V neposlední řadě je pak nutné, aby nepodcenil výběr dodavatele bouracích prací sám generální dodavatel, který ve výsledku nese většinu rizik plynoucí z podcenění přípravy.

SEZNAM LITERATURY

- [1] *Immel, F. (2016): Underwater hydrodemolition at the Canyon Ferry dam stilling basin floor repair project, Concrete repair bulletin, may/june 2016*
- [2] *Vacek, E (2018): Posouzení technologie sanace betonových konstrukcí pro stavbu „VD Nechránice, rekonstrukce krajních polí bezpečnostního přelivu“, ČVUT Kloknerův ústav, Praha*
- [3] *Winkler, P. (2014): Introduction To Icri Technical Guideline No. 310.3r-2014, Guide for the preparation of concrete surfaces for repair using hydrodemolition methods, Concrete repair bulletin september/october 2014*
- [4] *Firemní materiály společnosti HDR servis*

AUTOŘI

Autor 1: Ing. Radek Veselý, Sweco Hydroprojekt, Táborská 31, 140 16 Praha 4, Česká republika, radek.vesely@sweco.cz

Autor 2: Ing. Petra Suchopárková, Povodí Ohře, státní podnik, Bezručova 4219, 430 03 Chomutov, Česká republika, suchoparkova@poh.cz

Autor 3: Jakub Neděla, HDR Servis, s.r.o., Ocelářská 1354/35, 190 00 Praha 9 - Libeň, Česká republika, nedela@hdrservis.cz