

Povodí Vltavy, státní podnik
Český přehradní výbor, z. s.

XXXIX. PD 2026



XXXIX. PŘEHRADNÍ DNY 2026	22.-24. ZÁŘÍ 2026 PRAHA
------------------------------	----------------------------

SBORNÍK PŘÍSPĚVKŮ

SWAZEK 2

MEZINÁRODNÍ KONFERENCE XXXIX. PŘEHRADNÍ DNY 2026 PRAHA, 22.–24. ZÁŘÍ 2026

Odborná témata konference:

1. Technologická zařízení přehrad – návrh, provozní zkušenosti, opravy a rekonstrukce
2. Aktuální otázky navrhování a realizace vodních staveb z masivních betonů
3. Sypané hráze z místních materiálů – zkušenosti s přípravou a realizací projektů
4. Vývoj v oblasti bezpečnosti přehrad – TBD, kritické situace, hydrologické extrém, stárnutí a adaptace
5. Netechnické aspekty výstavby, provozu a rekonstrukcí vodních děl a digitalizace ve vodním stavitelství

Publikace XXIX. Přehradní dny 2026 je rozdělena do tří svazků:

- Svazek 1 – příspěvky k tématům 1, 2 a 3
- Svazek 2 – příspěvky k tématům 4 a 5
- Svazek 3 – příspěvky z 28. kongresu ICOLD 2025, Čína, Chengdu

Editor: Milan Zukal
Název díla: XXXIX. Přehradní dny 2026
Tel.: 224 354 643
Tisk: Tomos Praha a.s.
Adresa tiskárny: Ohradní 59, 140 00 Praha 4
Počet stran: 256
Náklad: 80 výtisků
Pořadí vydání: 1.

Vydalo České vysoké učení technické v Praze, zpracovala Fakulta stavební

Kontaktní adresa: **Fakulta stavební ČVUT v Praze**
Katedra hydrotechniky
Thákurova 2077/7
166 29 Praha 6 – Dejvice



ISBN 978-80-01-07583-8

ISBN 978-80-01-07581-4 (soubor)

ISBN 978-80-01-07582-1 (1. sv.)

ISBN 978-80-01-07584-5 (3. sv.)

ORGANIZÁTOŘI KONFERENCE

Povodí Vltavy, státní podnik



Český přehradní výbor, z. s.



ZÁŠTITA

Konference je pořádána pod záštitou ministra zemědělství Martina Šebestyána.



Ministerstvo
zemědělství

PARTNEŘI KONFERENCE

Generální partner



Partneři



Mediační partneři



Partner na vodě





OBSAH – SVAZEK 2

TÉMA 4

Vývoj v oblasti bezpečnosti přehrad – TBD, kritické situace, hydrologické extrémy, stárnutí a adaptace

„VD ORLÍK – ZABEZPEČENÍ VD PŘED ÚČINKY VELKÝCH VOD“ – GEOTECHNICKÉ POZNATKY ZÍSKANÉ BĚHEM PŘÍPRAVY A DOSAVADNÍ REALIZACE STAVBY	6
Kateřina Arnetová, Pavel Vižda, Tomáš Ebermann, Jaroslav Beňo	
DESTRUKCE PŘEHRADE DERNA A MONSOUR V LIBYI	14
Pavel Balvín	
GEODÉZIE NA STAVBĚ: POZNATKY ZE SKANDINÁVSKÉ PRAXE NA VD ORLÍK	22
Pavel Josefus, Petr Douša, Marek Přikryl	
DLHODOBÉ ETAPOVÉ MERANIE PRIESTOROVÝCH POSUNOV NA VN TURČEK	29
Juraj Kalivoda, Peter Lužák, Martin Hamrák	
STANOVENÍ HYDROGRAMU PROTRŽENÍ PŘEHRADE BÍLÁ DESNÁ	38
Stanislav Kotaška, Miroslav Špano, Jaromír Říha	
STARNUTIE VODNÝCH STAVIEB A JEHO DOPAD NA BEZPEČNOSŤ PRIEHRADE – VÝZNAM PREVENTÍVNYCH INVESTÍCIÍ	46
Michaela Kyseláková, Daniel Haraba	
METODIKA MĚŘENÍ POSUNŮ PŘESNOU TOTÁLNÍ STANICÍ A JEJÍ APLIKACE PŘI VÝKONU TBD	56
Tomáš Macháček	
VD SLAPY – GENERÁLNÍ OPRAVA MOSTNÍ KONSTRUKCE NA HRÁZI	64
Pavel Maňák	
ULTRAZVUKOVÉ MERANIE HRÚBKY V TBD NAD VODNÝMI STAVBAMI: PRÍPADOVÉ ŠTÚDIE	72
Jakub Porubčan, Michal Novoveský, Boris Petříček, Matej Bokor, Alena Šoltisová, Tomáš Lajoš	
PROVÁDĚNÍ TBD A GTM PŘI VÝSTAVBĚ LEVOBŘEŽNÍHO VSTUPU DO GRAVITAČNÍ ČÁSTI HRÁZE VD LIPNO I	80
David Richtr	
PROVÁDĚNÍ TBD PŘI VÝSTAVBĚ NOVÉHO DOPLŇKOVÉHO BEZPEČNOSTNÍHO PŘELIVU NA VD ORLÍK	88
David Richtr	
VS ŽILINA – MONITORING ZOSUVNÝCH ÚZEMÍ	96
Róbert Stanček, Dušana Berezňaninová, Zuzana Žuffová, Horst Antol	
ZÁVERY VÝKONU TBD NA MALÝCH VODNÝCH NÁDRŽÍCH A DOPAD NA ICH PREVÁDZKOVANIE	102
Martina Stančíková, Božena Písečná	
TBD DOHLED PŘI ZMĚNĚ VD KLECANY – ROZTOKY STAVBOU „MVE KLECANY II“	110
Štěpánka Turnová	
POSÚDENIE BEZPEČNOSTI VS LIPTOVSKÁ MARA POČAS POVODŇOVÉHO ZATAŽENIA, SLOVENSKO	118
Roman Výleta, Juraj Škvarka, Martin Orfánus, Anna Liová, Peter Valent, Tomáš Bacigál, Kamila Hlavčová, Silvia Kohnová, Michaela Danáčová, Ján Szolgay	



TÉMA 5

Netechnické aspekty výstavby, provozu a rekonstrukci vodních děl a digitalizace ve vodním stavitelství

GUDRÓNOVÉ JAMY PREDAJNÁ I A PREDAJNÁ II – VODNÉ STAVBY, ALEBO SKLÁDKY ODPADU?	126
Martin Bakeš, Katarína Furindová, Lenka Kőszeghy-Zlatinská, Lucia Prefertusová, Matej Winkler	
POTREBA OVEROVANIA SPOLAHLIVOSTI FUNKCIE NÁDRŽÍ V PODMIENKACH KLIMATICKEJ ZMENY	134
Emília Bednárová, Juraj Škvarka, Marian Minárik, Michaela Kyseláková	
VYUŽITIE MODERNÝCH METÓD ZBERU A ANALÝZY BATYMETRICKÝCH DÁT PRI MONITORINGU ZANÁŠANIA VODNÝCH NÁDRŽÍ	142
Igor Gacko, Martin Prvý	
NÁVRH A IMPLEMENTÁCIA NOVEJ DATABÁZOVEJ EVIDENCIE TECHNICKO-BEZPEČNOSTNÉHO DOHLADU	152
Branislav Hammel, Tibor Mészáros, Marian Minárik, Filip Brindza	
VODNÉ DIELO GABČÍKOVO – MODERNIZÁCIA DEFORMAČNÝCH MERANÍ	160
Andrej Kasana	
PŘÍPRAVA PŘEČERPÁVACÍ VODNÍ ELEKTRÁRNY PTEČ	167
Martin Král	
INOVATÍVNY PRÍSTUP PRI STANOVENÍ KATEGÓRIE VODNÝCH STAVIEB	169
Peter Mackovjak, Jakub Mydla, Ľubomír Uhorščák	
HYBRIDNÉ FORMY DATAWAREHOUSU V OBLASTI VODOHOSPODÁRSKEJ PREVÁDZKY	177
Pavel Paška	
VD NOVÉ HEŘMINOVY – PROJEDNÁVÁNÍ A POVOLOVÁNÍ STAVBY, VYUŽITÍ METODY BIM	181
Lucie Salingerová, Jiří Švancara, Jiří Konečný	
30. LET VÝVOJE AUTOMATICKÉHO MĚŘENÍ TBD	191
Jan Staš, Tomáš Skokan	
VYUŽITÍ PODVODNÍHO DRONU PŘI INSPEKCI TRVALE ZATOPENÝCH ČÁSTÍ VODNÍCH DĚL V ÚZEMNÍ PŮSOBNOSTI STÁTNÍHO PODNIKU POVODÍ LABE	195
Petr Svatoš	
HISTORICKÉ PODKLADY AKO FAKTOR BEZPEČNOSTI STARNÚCICH VODNÝCH STAVIEB	203
Patrik Václavík, Adrián Borák, Ivan Voštinár	
TECHNICKO-EKONOMICKÉ ASPEKTY ZAJIŠTĚNÍ BEZPEČNOSTI VODNÍCH DĚL PŘI POVODNÍCH NA PŘÍKLADU VD KAMÝK	210
Radek Veselý, Jan Šimůnek	
AUTOMATIZÁCIA MERNÝCH ZARIADENÍ NA SLEDOVANIE HPV NA VD GABČÍKOVO	220
Roman Veselý, Martin Kvetko	
DIGITÁLNÍ DVOJČE VD DALEŠICE	228
Petr Vymřátil, Vít Rainer, Jiří Hodák	

„VD ORLÍK – ZABEZPEČENÍ VD PŘED ÚČINKY VELKÝCH VOD“ - GEOTECHNICKÉ POZNATKY ZÍSKANÉ BĚHEM PŘÍPRAVY A DOSAVADNÍ REALIZACE STAVBY

K. Arnetová, P. Vižďa & T. Ebermann

PUDIS a.s., Praha, Česká republika

J. Beňo

Metrostav a.s., Praha, Česká republika

ABSTRAKT: Příspěvek popisuje přípravu a dosavadní zkušenosti z realizace stavby z pohledu geotechniky a inženýrské geologie. Představuje provedené etapy inženýrskogeologického průzkumu a popisuje geologické poměry lokality a okolí. Ve složitých geologických poměrech bylo nutné operativně reagovat na zastižené anomálie ve stavební jámě a základových spárách. Práce popisuje specifika zakládání otevřené části skluzu a vtokového objektu, včetně řešení průsaků do stavební jámy pomocí kombinace tryskové a tlakové horninové injektáže. Článek ilustruje nezbytnost úzkého propojení geotechnických činností s operativním projektováním při výstavbě vodních děl ve složitém horninovém prostředí.

1. INŽENÝRSKOGEOLOGICKÉ PRŮZKUMY

V rámci projekční přípravy stavby „VD Orlík – zabezpečení VD před účinky velkých vod“ byly v letech 2016 až 2018 realizovány tři etapy inženýrskogeologického (IG) průzkumu.

První etapa IG průzkumu sloužila jako podklad pro zpracování dokumentace pro územní rozhodnutí (DÚR) a zahrnovala realizaci 7 jádrových průzkumných vrtů a 2 kopaných sond.

Druhá etapa (realizovaná v roce 2016) se zaměřila na ověření hloubky a charakteru skalního podloží pro návrh založení bezpečnostního přelivu a skluzu, včetně souvisejících výlomových prací. Vrtné práce sestávaly z 16 jádrových vrtů situovaných podél levé i pravé strany budoucího díla. Ve vrtech byla určena pevnost skalního masivu v tlaku, deformační vlastnosti, index RQD a index GSI.

Vzhledem ke strmé morfologii svahu (sklon 25°–30°) v místě budoucího objektu SO 03 bylo nutné v části profilu nasadit přenosné vrtné soupravy. Průzkumné vrty pro nátokový objekt SO 01 probíhaly na rozhraní vodní hladiny a opevněného břehu, což vyžadovalo vybudování dočasných pracovních plošin a násypů.

Ačkoliv tato etapa splnila hlavní cíle, indikovala zároveň závažné geotechnické anomálie. V základové spáře nátokového objektu byla zastižena 3,0 m mocná jílová vrstva a další nejistotu představovala značná variabilita v hloubce zvětrání horninového masivu v trase bezpečnostního skluzu. Pro přesnou mocnost a plošný rozsah jílové polohy bylo nezbytné přistoupit k doplňkové etapě průzkumných prací.

Tato závěrečná etapa se soustředila na kritická místa definovaná projektantem. Vrty byly realizovány z vodní hladiny za využití pontonového soulodí a z pracovních plošin osazených ve svahu v ose otevřené části skluzu. Výsledky doplňkového průzkumu doplnily poznatky z předchozích fází průzkumných prací a zpřesnily podklady pro navazující projekční fázi přípravy stavby.

Na základě syntézy výsledků terénních a laboratorních prací byl sestaven inženýrskogeologický model, který byl s každou etapou sukcesivně zpřesňován. V rámci

masivu byly vyčleněny konkrétní geotechnické typy hornin a zemin a byly stanoveny jejich reprezentativní fyzikálně-mechanické vlastnosti. Komplexní zhodnocení geotechnických, tektonických a hydrogeologických poměrů pro jednotlivé úseky stavby vedlo k jejich klasifikaci jako složitá základové poměry.

S ohledem na charakter projektovaného díla, masivní rozsah zemních prací a predikované geotechnické chování masivu byl pro období výstavby navržen systém rozsáhlého geotechnického monitoringu zahrnujícího geodeticky sledované body, inklinometrické vrty a dynamometry pro sledování kotevnických sil.



Obrázek 1: Vrtné práce realizované z pontonového soulodí a pracovních plošin

2. GEOLOGICKÉ POMĚRY

Geologické poměry širšího okolí přehradního profilu jsou vysoce komplikované. Zájmové území jako celek náleží k moldanubiku, v jehož rámci se uplatňují dva hlavní geologické celky: komplex vyvřelin jílovského pásma a středočeský plutonický komplex (resp. granodioritový masiv). Kvartérní pokryv je zastoupen především svahovými (deluviálními) sedimenty, říčními terasami a aluviálními (nivními) uloženinami. Určitý podíl představují antropogenní sedimenty (navážky), jejichž přítomnost přímo souvisí s terénními úpravami realizovanými během výstavby hráze.

Vzhledem k hloubce založení navrhovaného díla – a tedy situování základové spáry do skalního podloží – byly důležité především parametry a vlastnosti předkvartérního podloží, kterému bylo nutno věnovat největší pozornost. V prostoru bezpečnostního přelivu a pravostranného zavázání hráze bylo rozlišeno několik litologických typů hornin. Majoritní horninou v zájmovém území je metabazit (souborné označení pro metamorfované mafické vyvřeliny s nízkým obsahem křemene, vysokým podílem živců a přítomností tmavých minerálů). Metabazitem lze pojmenovat horniny jako jsou amfibolity či porfyroidy. Komplex metabazitů zahrnuje rovněž významné polohy a bloky epidioritů a ortorul. Horniny vykazují různý stupeň břidličnatosti a hydrotermální přeměny (alterace). Celý masiv je navíc prostoupen žilným doprovodem – lamprofyry, které jsou geneticky spjaté s formováním středočeského plutonu.

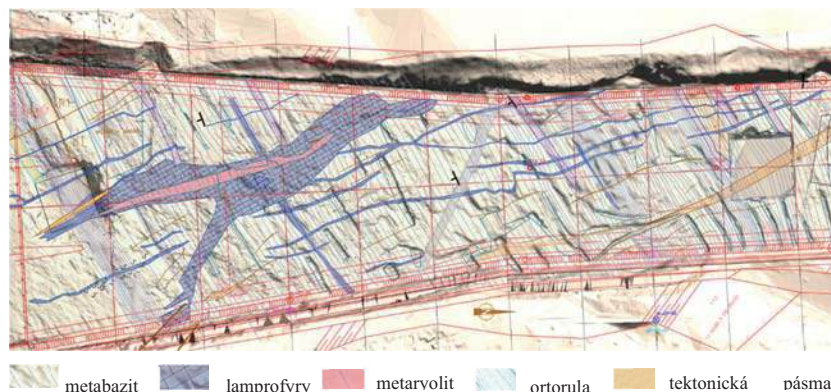
Horninový masiv je výrazně porušen systémy diskontinuit. Foliace hornin (břidličnatost) vykazuje generální směr VSV–ZJZ s příkrým sklonem 60°–80° k JV. Dokumentovány byly minimálně 4 puklinové systémy s převahou tektonických puklin kolmých na foliaci, tj. puklin přibližně vertikálních nebo strmě ukloněných k JZ v generálním směru SZ–JV. Jedná se tedy o pukliny příčné nebo tahové probíhající ve směru tlaku a v diagonále.

Z hydrogeologického hlediska je klíčovým parametrem propustnost zastižených litologických struktur. V zóně přípovrchového rozvolnění a intenzivního rozpukání skalního podloží je propustnost charakterizována jako puklinová. Podle získaných zkušeností během výstavby je skalní podloží v hlubších partiích méně porušené, ale některé pukliny přesto umožňují částečné hydraulické proudění podzemní vody.

3. PRŮBĚH VÝSTAVBY NA SO 03

Zemní práce byly zahájeny v průběhu ledna 2022 hloubením stavební jámy pro otevřenou část skluzu SO 03. V první fázi byla za využití těžké mechanizace systematicky odtěžována zemina a suťové svahové sedimenty. Skalní podloží bylo v souladu s predikcí intenzivně zvětřalé, přičemž lokálně zasahovalo až do hloubky 5,0 m pod původní terén. V hlubších horizontech byly zastiženy méně zvětřalé skalní horniny až třídy pevnosti R2, které již vyžadovaly nasazení trhacích prací. Trhací práce probíhaly přibližně v rastu vrtů 2 x 2 m s hloubkou etáže také kolem 2 m. Na jeden vrt bylo používáno nálože o hmotnosti 0,5 až 5 kg s tím, že směrem k hrázi bylo nutné vzhledem k seismickým účinkům nálože zmenšovat.

Výkopy na objektu SO 03 probíhaly postupně od konce skluzu v dolní vodě směrem vzhůru proti svahu, a to ve spodní části pod ochranou pilotové stěny, zatímco ve střední a horní části bez ní. Po dosažení základové spáry následovalo její důkladné očištění. Čištění základové spáry bylo založeno na ručním odstranění větších úlomků hornin a následným vyfoukáním drobných částic stlačeným vzduchem. Poté byla základová spára zkontrolována geotechnickým dozorem a byla provedena dokumentace inženýrskogeologických (IG) poměrů.



Obrázek 2: Geologický sled vybrané části základové spáry SO03 v kombinaci s 3D půdorysným skenem povrchu

Celý objekt otevřeného skluzu byl v úrovni základové spáry rozdělen na 30 prostorově navazujících samostatných železobetonových dilatačních bloků. V koncové části (bloky 55 až 60) je podélný sklon dna mírný, směrem proti svahu od bloku 55 progresivně stoupá a v bloku 51 dosahuje maximálních hodnot (40 %, tj. cca 21,8°). Stabilita jednotlivých bloků je zajištěna samostatně přenosem sil třením do horninového podloží.

Geotechnické poměry vykazovaly v jednotlivých úsecích značnou variabilitu. Příprava základové spáry probíhala v náročných inženýrskogeologických podmínkách. Zastiženo

horniny v úseku od bloku 54 směrem proti svahu vykazovaly vysoký stupeň navětrání až zvětřání. V porovnání s předpoklady IG průzkumu byly tyto poměry spíše nepříznivější, což vyžadovalo operativní technická řešení přímo na místě spočívající zejména v odtěžení zvětřalých částí.

Projektový předpoklad počítal s tím, že základovou spáru bude tvořit přirozeně zazubená plocha skalního výlomu. Vzhledem k tomu, že k tomuto jevu nedocházelo samovolně, bylo v šikmé části skluzu při zazubení nižším než 150 mm přistoupeno k jeho umělému vytvoření. Úpravy podloží před betonáží podkladní vrstvy byly nezbytné pro zajištění statického působení a spolehlivého přenosu sil z betonové konstrukce do horninového masivu. Tvorba umělé makrodrsnoty spočívala v realizaci lokálních sníženin do hloubky cca 0,6 m podél linií kvalitnějších podloží hornin. Tyto sníženiny nebyly prováděny jako souvislé v celé šířce bloku, ale koncentrovaly se do snáze těžitelných (zvětřalých) poloh masivu, přičemž musely pokrývat minimálně 15 % plochy základové spáry každého bloku, což by důsledně kontrolováno geotechnickým dozorem.



Obrázek 3: Úprava povrchu základové spáry SO 03 blok 37-39

Během hloubení stavební jámy bylo v úrovni základové spáry identifikováno několik anomálií vyžadujících technická opatření. Na rozhraní bloků 48-49 byla zastižena hluboká deprese o rozměrech 9 x 8 m, vyplněná kamennou suti a volnými bloky hornin až do hloubky 3,0 m pod úroveň základové spáry. Pravděpodobně se jednalo o zasypaný výkop z doby výstavby vodního díla Orlík. Deprese byla odtěžena až na skalní podloží a následně sanována betonovou plombou.

V oblasti bloků 37–39 byla zastižena žilná intruze lamprofyry vtlačena do masivu metabazitů. Horninové prostředí okolí intruze bylo silně tektonicky porušené a podléhalo blokovému rozpadu podél ploch diskontinuit. To zapříčinilo nadvýlomy horniny do hloubky 1,5 až 2,0 m pod projektovanou úroveň. Vzniklé kaverny byly po vrstvách vyplněny podkladním betonem.

Ve svrchní části výkopu (bloky 31–33) se kvalita a kompaktnost horninového masivu znatelně zlepšila. Hornina zde vytvářela vystouplé protáhlé polohy (hřbety) s pevností dosahující přibližně 100 MPa (pevnostní třída R2). Pro rozpojení horniny byly použity trhací práce.

4. PRŮBĚH VÝSTAVBY NA SO 01

Zemní práce byly na vtokovém objektu SO 01 zahájeny na přelomu července a srpna roku 2022. Při realizaci prvků pro zajištění stavební jámy docházelo k četným situacím, kdy bylo nutné upravit projektové řešení z důvodů významně problematických podmínek v podloží. Nejednalo se však jen o předpokládané vyšší třídy pevnosti (R2) zastižených hornin, ale naopak také o výskyt anomálií, kde byla hornina značně oslabena (rozpukáním, podrcením) anebo byla zastižena v charakteru úlomků horniny stmelných jílovitou zvětralinou.

Vysoká pevnost horninového prostředí znemožnila efektivní realizaci pilotových stěn (průměr 880 mm), které musely být zkráceny a nahrazeny mikropilotovou stěnou ze silnostěnných trubek (133/12,5 mm) a vrstvou vyztuženého stříkaného betonu. V místech výrazného tektonického porušení bylo nutné doplnit subhorizontální injekční vrty pro zatěsnění masivu. V tomto místě byla dále realizována převrtávaná pilotová stěna s vějíř tryskové injektáže pro celkovou těsnost pažící stěny. Další úpravy pažící a těsnící stěny byly také provedeny na jižním (návodním) okraji stavební jámy kde byla původní pilotová stěna hl. 5 m nahrazena jílocementovou podzemní stěnou (tl. 600 mm) hloubky 8–11 m těženou pomocí drapáku [4].

Po dokončení všech prvků zajištění stavební jámy s uvedenými změnami pokračovaly zemní práce pro dosažení požadované hloubky stavební jámy nátokového objektu. Konečnou úroveň dna výkopů SO 01 se však nedařilo dosáhnout z důvodů podzemní vody přitékající dnem stavební jámy, a to ani při použití výkonných čerpadel v projektu navržených studnách a jímkách. Celkově ani nasazení většího počtu čerpadel s výkonem až 300 l/s se nedařilo udržet přijatelnou úroveň hladiny vody ve stavební jámě a bylo přistoupeno k jejímu řízenému zaplavení.

Pro vyřešení situace bylo nezbytné podrobněji prozkoumat zdroj přítoků v hlubších úrovních skalního podloží. Doplnkový geotechnický průzkum provedený pomocí karotážního měření v průzkumných vrtech hloubky až 30 m potvrdil těsnost jílocementové stěny a identifikoval průsakové zóny v rozpukném podloží pod patou jílocementové stěny – detekováno byly několik úrovní průsaků do dna stavební jámy puklinovým systémem skalní horniny.

5. POKUSNÉ POLE HORNINOVÉ INJEKTÁŽE

Na základě zjištěných poznatků bylo rozhodnuto o sanaci podloží nátokového objektu SO 01. Před zahájením sanace podloží stavební jámy bylo zřízeno pokusné pole ke zkoušce tří technologií horninové injektáže (HI – sestupná, HI vzestupná a přes ocelové injekční manžetové trubky) s cílem ověřit jejich efektivitu. Všechny injekční vrty byly uspořádány v trojúhelníkovém rastru se stranou cca 650 mm. Účinnost byla sledována pomocí vodních tlakových zkoušek (VTZ), kdy se měřila spotřeba vody při tlaku 0,3 MPa. Zatímco před injektáží dosahovala průměrná hodnota VTZ až 9,3 l/min./m, po realizaci injektáže poklesla na 0,0–0,8 l/min./m. Výsledky jednoznačně potvrdily, že horninová injektáž je vhodným řešením pro sanaci průsakových cest [4]. Jako nejefektivnější se ukázala HI vzestupná nebo sestupná v závislosti na stabilitě stěn injektážního vrtu. Vzestupná horninová injektáž byla výrazně rychlejší v místech, kde to stabilita stěn vrtu dovolila.

5.1 SANACNÍ INJEKČNÍ CLONA

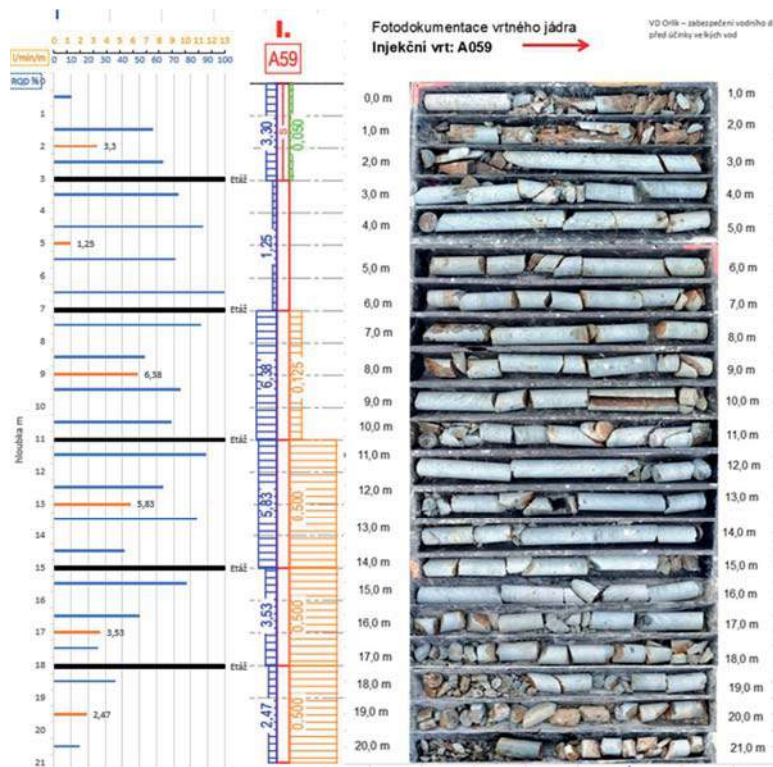
Samotnou sanační clonu (SC) tvořily dvě řady svislých vrtů v trojúhelníkovém rastru (rozteč 700 mm), doplněné o třetí připojovací řadu kratších šikmých vrtů na rozhraní s původní jílocementovou stěnou. Princip postupu v prostorovém a časovém členění vrtů SC byl rozdělen do čtyř pořadí. Nejdelší vrty prvního pořadí zasahovaly až do hloubky 24,5 m a sloužily tak zároveň pro doplnkový průzkum případných anomálií horninového masivu. Následující vrty druhého až čtvrtého pořadí již byly kratší s délkami 15,5 až 19,5 m. Převážná většina vrtů byla realizována v režimu sestupné HI, jen v krajní části SC byla lepšími geologickými poměry umožněna technologicky jednodušší varianta vzestupné injektáže. V průběhu realizace byly pečlivě sledovány zejména výsledky VTZ a tlaky HI v nejspodnějších etážích. V případě překročení limitu VTZ (5,0 l/min./m) byly vrty prohloubeny nebo mnohonásobně přejektovány. Některé vrty splnily projektem předepsané parametry až po 6násobném přejektování. Po celé délce SC bylo v závěru provedeno čtrnáct kontrolních vrtů (hl. 29,5 m), které prokázaly dosažení požadovaných parametrů VTZ a spolehlivé dotěsnění jámy.

5.2 TRVALÁ INJEKČNÍ CLONA

Vzhledem k tomu, že vtokový objekt zasahuje do původní injekční clony přehradního tělesa, je nutné v rámci výstavby přelivu zajistit její plnohodnotnou obnovu a prodloužení. Tato trvalá injekční clona (IC) je tvořena řadou vrtů (A) realizovanými v třech prostorových pořadích, uzavřenými mezi krátké fortifikační vrty délky 4 m. Vrty prvního pořadí byly projektovány do hloubky 18,0 m (od pracovní roviny 338,1 m n.m.) vrty druhého a třetího pořadí již byly kratší do hloubky 15 m.

Všechny vrty v řadě A byly hloubeny jádrové a vrtná jádra byla hodnocena z hlediska stupně porušení metodou RQD (Rock Quality Designation neboli index kvality hornin). Získané výsledky byly následně korelovány s údaji z vodních tlakových zkoušek (VTZ) a parametry horninové injektáže (HI). Jejich komparativní analýza ne vždy potvrdila jednoznačnou korelaci mezi intenzitou tektonického porušení horninového masivu a výsledky VTZ. Byla zaznamenána případy, kdy při vysoké hodnotě indexu kvality horniny (RQD = 80 %) vykazoval masiv zvýšenou propustnost. Tento jev lze přičíst přítomnosti izolovaných otevřených puklin v jinak kompaktním horninovém prostředí. Důležitým faktorem je rozevřenost puklin, jejich výplň a průběžnost.

Zásadním požadavkem kvality IC bylo dosažení kritéria nepropustnosti horninového masivu, který je vyjádřen hodnotou VTZ 0,5 až 1,5 l/min/m podle hloubkového umístění testovací VTZ na kontrolních vrtech. Splnění těchto kritérií bylo úspěšně ověřeno na všech kontrolních vrtech a prokazuje požadovanou těsnost nové IC.



Obrázek 4: Porovnání kvality vrtného jádra (RQD) s výsledky VTZ a spotřebou injekční směsi při následné horninové injektáži – příklad vrtu 1. pořadí



Obrázek 5: Realizace injekční clony na SO 01

6. ZÁVĚR

Dosavadní zkušenosti z realizace stavby „VD Orlik, Zabezpečení VD před účinky velkých vod“ potvrdily, že ve složitých geologických podmínkách lokality je úzká synergie mezi inženýrskogeologickým průzkumem, projektovou přípravou a operativním řízením stavby nezbytným předpokladem úspěšné realizace. Během výstavby se vyskytla řada technicky náročných situací, které byly vždy úspěšně vyřešeny. Získané poznatky představují cenný podklad pro budoucí návrhy i realizace zakládání složitých vodohospodářských staveb v geologicky srovnatelném horninovém prostředí.

LITERATURA

- [1] ŠTĚPÁNEK, M.; Vodní dílo Orlik – Zpráva o geologických a poměrových základech v místě projektované elektrárny v přehradním profilu Vodního díla Orlik, Ústav stavební geologie, Praha, 1957
- [2] VIŽDA, P.; HUBINGER, L. Závěrečná zpráva o inženýrskogeologickém průzkumu pro návrh opatření zabezpečení VD Orlik před účinky velkých vod – etapa 2. GEOTest, a.s. 2016
- [3] VIŽDA, P.; HUBINGER, L. Závěrečná zpráva o inženýrskogeologickém průzkumu pro návrh opatření zabezpečení VD Orlik před účinky velkých vod – etapa 3. GEOTest, a.s. 2018
- [4] RŮŽIČKA, M. VD Orlik – realizace injekčních clon v rámci projektu zabezpečení VD před účinky velkých vod. 52. konference Zakládání staveb, Brno 2024

Mgr. Kateřina Arnetová

PUDIS a.s. Podbabská 1014/20, 160 00 Praha 6

katerina.arnetova@pudis.cz

Mgr. Pavel Vižďa

PUDIS a.s. Podbabská 1014/20, 160 00 Praha 6

pavel.vizda@pudis.cz

Ing. Tomáš Ebermann, Ph.D.

PUDIS a.s. Podbabská 1014/20, 160 00 Praha 6

tomas.ebermann@pudis.cz

Ing. Jaroslav Beňo, Ph.D.

Metrostav a.s., Koželužská 2450/4, 180 00 Praha 8

jaroslav.beno@metrostav.cz

DESTRUKCE PŘEHRAD DERNA A MONSOUR V LIBYI

P. Balvín

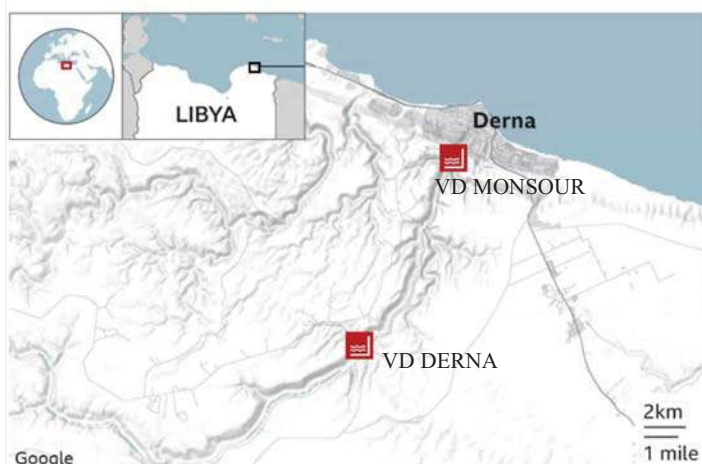
VODNÍ DÍLA – TBD a.s., Praha, Česká republika

ABSTRAKT: V roce 2023 došlo k destrukci několika významných vodních děl z nichž nejvýznamnější, co do rozsahu škod a ztrát na lidských životech byla jednoznačně destrukce přehrad Monsour a Derna v Libyi [1]. V roce 2023 se ve Středozemním moři vyskytla bouře Daniel, kterou lze svým rozsahem a intenzitou přiřadit k hurikánům. Tato bouře udeřila v září 2023 na pobřeží severní Afriky a způsobila katastrofální povodně, kdy došlo i k destrukci dvou zemních hrází nacházejících se v tzv. wádi Derna. Obě vodní díla se nacházela nad městem Derna, které bylo v důsledku kombinace hydrologické a zvláštní povodně z jedné třetiny zničeno. O život přišlo cca 5000 obyvatel a dalším 5000 obyvatel je stále pohřešováno. Bylo zničeno téměř 4000 budov a 33 000 lidí se ocitlo bez domova. Článek popisuje stav vodních děl před katastrofou, analyzuje hydrologické charakteristiky bouře Daniel, vyhodnocuje důsledky destrukce obou vodních děl ve městě Derna a zabývá se možnostmi zabezpečení obdobných vodních děl na pobřeží severní Afriky.

1. ÚVOD

1.1 STRUČNÁ HISTORIE A POPIS VODNÍCH DĚL

Obě vodní díla Derna a Monsour se nachází v pobřežní oblasti Středozemního moře Libye mezi městy Tobruk a Tripolis viz Obrázek 1. V této oblasti se rovněž nachází dalších 18 významných vodních děl, z nichž 14 je registrováno v ICOLD WRD. Přehrady Derna a Monsour byly realizovány v 70. letech za účelem zvýšení protipovodňové ochrany města Derna. Výstavbu obou přehrad provedly stavební firmy z bývalé Jugoslávie.



Obrázek 1: Poloha přehrad Monsour a Derna na lybijském pobřeží [2]

Níže jsou uvedeny základní technické parametry obou vodních děl.

Přehrada Derna:

- nachází cca 11 ř.km nad městem Derna
- plocha povodí je 476 km²
- hráz byla konstruována jako rock-fill se středovým jílovým těsněním
- výška hráže 40 m od základové spáry
- objem nádrže k maximální hladině 1,15 mil m³
- šachtový bezpečnostní přeliv s kapacitou 170 m³.s⁻¹

Přehrada Monsour:

- nachází cca 1 ř.km nad městem Derna
- plocha povodí je 572 km²
- hráz byla konstruována jako rock-fill se středovým jílovým těsněním
- výška hráže 73 m od základové spáry
- objem nádrže k maximální hladině 23,7 mil m³
- šachtový bezpečnostní přeliv s kapacitou 350 m³.s⁻¹

Obě vodní díla byla realizována za účelem protipovodňové ochrany města Derna, které se nachází na pobřeží Středozemního moře.

2. PŘÍČINY DESTRUKCE OBOU VODNÍCH DĚL

2.1 BOUŘE DANIEL

Bouře Daniel, známá také jako cyklon Daniel, byla nepravidelná, slabá, ale katastrofická tropická cyklona, která se stala nejsmrtnější středomořskou tropickou cyklonou v zaznamenané historii a také druhou nejnákladnější tropickou cyklonou zaznamenanou mimo severoatlantickou pánev. Bouře se vytvořila jako nízkotlaký systém a kolem 4. září 2023 zasáhla Řecko, Bulharsko a Turecko rozsáhlými záplavami. Bouře se následně přesunula k pobřeží Libye, kde získala charakteristiky subtropického cyklónu a způsobila katastrofální záplavy.

Srážkový úhrn se v postižené oblasti pohyboval v rozmezí 150-300 mm, což z hlediska doby opakování odpovídá N = 500 až 10 000 let. Některé lokální srážkoměrné stanice zaznamenaly dokonce srážkový úhrn až 414 mm za 24 hodin. Zajímavostí je, že radary a satelity vykazovaly daleko nižší srážkové úhrny pohybující se v rozmezí 63 - 83 mm. Tyto nesoulady byly pravděpodobně způsobeny technickými důvody, ale především chybnou kalibrací.

Svou roli nepochybně sehrála i změna klimatu, kdy sice globálně došlo v průměru ke zvýšení teploty o 1,1 °C, ale v podmínkách středozemního moře probíhá oteplování o 20 % rychleji než v globálním průměru. Na základě vyhodnocení World Weather Attribution bylo konstatováno, že intenzita události z roku 2023 měla o 50% větší intenzitu, než kterou by měla v období před započatím klimatické změny.

Významnou roli rovněž hrála morfologie zasažené oblasti, která má především skalnatý pouštní charakter, kde průměrný srážkový úhrn v měsíci září činí 1,46 mm. V průběhu bouře Daniel sice došlo k významnému nasycení povodí, ale vzhledem intenzitě celé události a k objemu srážek, nesehrálo nasycení povodí významnou roli.

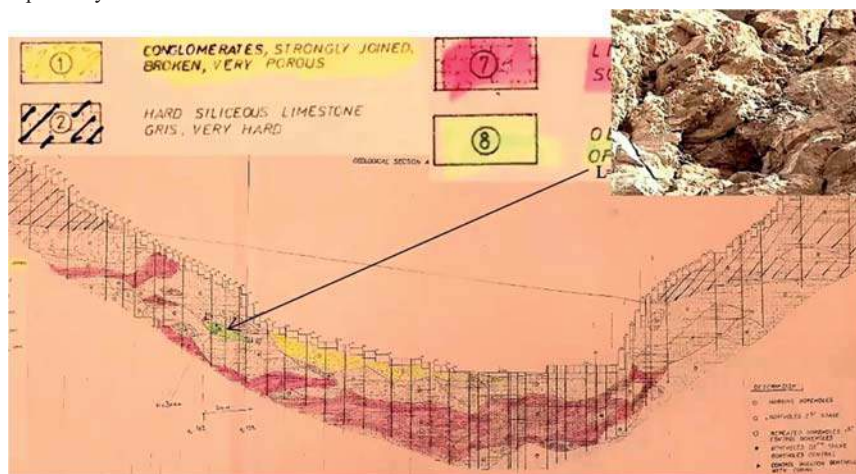
2.2 TECHNICKÝ STAV VODNÍCH DĚL

Jak bylo zmíněno v úvodu, účelem vodních děl byla výhradně protipovodňová ochrana. Obě vodní díla byla vybudována v letech 1970-1974 a do plně provozního stavu byla uvedena až v roce 1978. Vzhledem k současné politické situaci v Libyi bylo velice obtížné dohledat informace o provozu vodních děl a případném technickobezpečnostním dohledu.

Jako nejdůvěryhodnější dochovaný dokument popisující technický stav obou vodních děl je považována tzv. Monitorovací zpráva (Monitoring report) z roku 1985, kde projektant obou vodních děl vyhodnocoval technický stav, a to od výstavby až do roku 1985. Za zmínku stojí uvést následující fakta:

- na základě geodetického zaměření bylo konstatováno nadměrné sedání hrází obou vodních děl
- u obou vodních děl bylo poukázáno na významné průsaky cca $3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- v případě přehrady Derna bylo upozorněno na minimálně tři významné propady na hrázi, které však nebyly detailněji specifikovány
- jako opatření byly v případě průsaků a svislých deformací nastaveny limitní hodnoty
- celková bezpečnost obou vodních děl nebyla vyhodnocena
- nadměrné sedání obou hrází nebylo objasněno

Na základě vyhodnocení geologických poměrů bylo možné konstatovat, že základové poměry u obou vodních děl byly přinejmenším komplikované, což pravděpodobně vysvětluje sedání obou hrází. Příčný profil geologickým složením podloží hráze Monsour je zobrazen na obrázku č.2. Z obrázku je patrné, že podloží u základové spáry je tvořeno velmi pórovitými vápenci a slepenci. V podloží se rovněž vyskytovaly dutiny. Obdobné problémy se vyskytovaly i u přehrady Derna



Obrázek 2: Geologické složení pod základovou spárou hráze Monsour [1]

V roce 1986 postihla Derna Wádi povodeň. V případě přehrady Monsour došlo k naplnění nádrže cca 13 mil. m^3 vody a hladina byla cca 8 m pod hranou bezpečnostního přelivu. V průběhu povodně byl zaznamenán silný průsak okolo $15 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, který se vyskytl jak v hrázi, tak v podloží, přičemž průsak byl značně zakalen, což znamenalo, že dochází k vyplavování jemných částic těsnicího jádra tělesa hráze.

V případě výše položené přehrady Derna, došlo k naplnění nádrže nad úroveň přelivné hrany šachtového bezpečnostního přelivu.

V letech 1988, 1991 a 1993 došlo k dalším povodňovým událostem, kdy ani v jednom případě nedošlo k využití bezpečnostních přelivů ani na jedné z přehrad.

Na základě uvedených skutečností byl zahájen monitoring zaměřený především na svislé deformace hráze, které byly již viditelné pouhým okem viz obrázek 3.



Obrázek 3: Viditelné svislé deformace koruny hráze přehrady Monsour [1]

Přehrada Mansour a Derna byly posouzeny z hlediska aktuálního technického stavu následujícími závěry:

- podloží pod základovou spárou obou vodních děl tvoří velmi porézní, zkrasovatělé a erozivní podloží
- svislé deformace hráze se od roku 1985 až do roku 2003 nepodařilo stabilizovat a přesahují mezní hodnoty
- střední jílové těsnění je příliš tenké, což vytváří velký hydraulický gradient rozdílu hladin před a za těsněním, který má za výsledek vyplavování jeho jemných částic
- stále dochází k silným průsakům, které se vyskytují od hladiny až k základové spáře vodních děl
- v koruně hráze byla zaznamenána trhlinka, která pravděpodobně znamenala i trhlinu v těsnění hráze
- vodní dílo nebylo schopno převést návrhovou povodeň s dobou opakování $N=1000$ let, protože vlivem změny klimatu se zásadně změnil hydrologické poměry

Stejným způsobem byla posouzena i výše ležící přehrada Derna, kde se projevil prakticky totožné problémy. V případě Derna byl ještě zdůrazněn nedostatečný retenční objem.

Kromě závažných technických problémů byla v rámci posouzení u obou vodních děl silně akcentována nedostatečná kapacita šachtových bezpečnostních přelivů, které vzhledem ke změně hydrologických poměrů již nedokázali převést návrhový průtok s dobou opakování $N=1000$ let. Změna hydrologických poměrů s ohledem na průtok s dobou opakování $N=1000$ let od výstavby vodního díla až do destrukce je uvedena v tabulce 1.

Dalším faktem zůstává, že pravděpodobně již při návrhu kapacity šachtových přelivů došlo k podhodnocení návrhového průtoku.

Tabulka 1: Změna hydrologických poměrů v čase v profilech hrází obou vodních děl ve vztahu k povodni s kulminačním průtokem Q_{1000} [1]

Přehrada	DERNA			MONSOUR		
	1972	2003	2023	1972	2003	2023
N (roky)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Q_{max} ($m^3 \cdot s^{-1}$)	350	906	1750	840	1360	1950
Objem povodně (mil m^3)	4	35,4	61	14	47,6	78

3. DESTRUKCE OBOU VODNÍCH DĚL

Na základě informací uvedených především v kapitole 2.2 je patrné, že obě vodní díla byla ve špatném technickém stavu a představovala velké bezpečnostní riziko pro město Derna, které se nachází na pobřeží a které měla obě vodní díla naopak chránit.

K destrukci obou vodních děl došlo v noci z 10. na 11. září 2023. Časový průběh a způsob destrukce hrází obou vodních děl jsou dosud neznámé. Na obou vodních dílech chyběl jakýkoli monitoring a obě přehrady byly bez obsluhy. Obě hráže byly kompletně zničeny, viz obr. 4.



Obrázek 4: Stav hráže před a po destrukci přehrady Derna [2]

První logická úvaha o scénáři poruch obou hrází předpokládala, že došlo k přepadu vody přes jejich koruny a následné erozi a destrukci. Nicméně, neustále doplňované poznatky a výzkum probíhající v nelehkých podmínkách Libye zmítané občanskou válkou naznačují, že mohlo dojít ke kombinaci vnitřní eroze a přepadu povodňového průtoku přes koruny obou hrází.

Kulminační průtok průlomové vlny z výše položené přehrady Derna je odhadován na 1500 až 5000 $m^3 \cdot s^{-1}$. Kulminační průtok průlomové vlny způsobený kolapsem hráze přehrady Monsour nad městem Derna je odhadován na 7000 $m^3 \cdot s^{-1}$, přičemž objemem povodňové vlny činil až 30 mil m^3 .

Zbytky původní hráze přehrady Monsour viz obrázek 5. Na obrázku jsou patrné zbytky středního jílového těsnění a betonové injekční chodby.



Obrázek 5: Profil hráze přehrady Monsour po její destrukci [2]

Kombinace extrémní hydrologické povodně a zvláštní povodně vytvořila takovou extrémní povodňovou vlnu ve Wádí Derna, že byla zničena třetina města Derna s fatálními ztrátami na lidských životech. S postupem času se údaje o ztrátách na lidských životech zpřesňují a můžeme konstatovat, že přímo na místě zahynulo a bylo nalezeno 5000 lidí a dalších 5000 se stále pohřešuje. To s odstupem tří let znamená, že celkové ztráty na lidských životech dosahují cca 10 000. Některé zdroje dokonce uvádějí 5000 mrtvých a 10 000 pohřešovaných. Celkem bylo zničeno 4000 budov a 30 000 lidí přišlo o své domovy. Zkáza města Derna je zobrazena na obrázku 6.



Obrázek 6: Destrukce města Derna a v pozadí ústí Wádí Derna [2]

4. ZÁVĚR

Katastrofální události spojené s destrukcí přehrad Derna a Monsour, které mají za následek tisíce lidských životů a obrovské hmotné škody, jsou nepochybně jednou z největších katastrof v naší historii spojenou s destrukcí vodních děl. Vyhodnocení příčin, které nejsou spojené pouze s výskytem bouře Daniel a změnou hydrologických poměrů, stále probíhá a je možné je shrnout v následujících bodech:

- Obě vodní díla byla založena na nevhodném geologickém podloží, které bylo tvořeno převážně pórovitými vápenci. Podloží mělo krasovitý charakter s výskytem velkých dutin.
- Již při prvním uvedení do provozu byly na obou vodních dílech zaznamenány značné průsaky, a to jak tělesem hráze, tak i podloží pod základovou spárou.
- První monitoring byl zaveden až v roce 1985, kdy bylo vyhodnoceno, že dochází k nežádoucímu sedání hrází, kdy svislé deformace byly patrné i pouhým okem.
- Při každé povodňové události docházelo k významným průsakům. Prosakující voda byla značně zakalená, což potvrzovalo, že dochází k vynášení jemných částic těsnicího jádra z tělesa hráze.
- Samotné jílové těsnicí jádro nebylo dostatečně široké, což následně způsobovalo velký gradient rozdílu hladin před a za těsnicím jádrem.
- Po každé povodňové události, které se v Derna Wádí vyskytovaly poměrně pravidelně, následovalo dlouhé období sucha. To mělo za následek vysychání středního jílového těsnění s následným vznikem trhlin.
- Šachtové bezpečnostní přelivy neměly s ohledem na změnu klimatu a hydrologické charakteristiky dostatečnou kapacitu pro převedení návrhové povodně s dobou opakování $N = 1000$ let. Tento požadavek nebyl pravděpodobně splněn již v době návrhu obou vodních děl.
- Ještě před výskytem bouře Daniel byla obě vodní díla vyhodnocena jako značné bezpečnostní riziko pro město Derna, které měla naopak chránit.
- Přestože byly výše uvedené skutečnosti alarmující, nebylo možné zjednat rychlou nápravu z důvodu politického chaosu způsobeného občanskou válkou v Libyi, která zapříčinila absenci kompetentních odborníků.

- Nově se zjištěné skutečnosti o technickém stavu obou vodních děl vrhají zcela nové světlo na celou událost. Zpočátku byla za hlavní příčinu celé katastrofy označována bouře Daniel a ji doprovázející extrémní srážky. Je nepochybné, že bouři Daniel doprovázely extrémní srážky s dobou opakování $N = 500$ až $10\,000$ let, nicméně v postižené oblasti se nacházelo dalších minimálně 10 významných přehrad, které byly v několika případech poškozeny, ale nedošlo k jejich destrukci. Bouře Daniel tak zcela jistě nebyla jedinou zásadní příčinou destrukce obou vodních děl.

V současné době je úsilí odborníků zaměřeno na vyhodnocení této události především z hydrologického hlediska a dohledání dostupných informací o stavu obou vodních děl od výstavby až po jejich destrukci v roce 2023.

Daleko větší úsilí je ovšem věnováno prověření technického stavu dalších přibližně 18 přehrad, které se nachází na pobřeží Libye a jejich zabezpečení pro případ výskytu obdobných hydrologických extrémů, jako byla bouře Daniel.

LITERATURA

- [1] WISHART, M.; An assessment of the failure of the wadi Derna dams and lessons for enhancing dam safety, ICOLD Annual meeting 2024.
- [2] Geo engineer, home page, [on-line], <http://www.ita-aites.org/en/>, 2024. (Webové stránky).

Ing. Pavel Balvín Ph.D.

VODNÍ DÍLA – TBD a.s., Praha

balvin@vdtbd.cz

GEODÉZIE NA STAVBĚ: POZNATKY ZE SKANDINÁVSKÉ PRAXE NA VD ORLÍK

P. Josefus

Metrostav a.s., Praha, Česká republika

P. Douša & M. Příkryl

Exact Control System a.s., Praha, Česká republika

ABSTRAKT: Tradiční představa geodeta jako člověka, který s pásmem a latí pobíhá po staveništi, je v moderním inženýrství záležitostí minulosti. Na strategických projektech, jako je „VD Orlík – zabezpečení před účinky velkých vod“, se geodézie transformovala do podoby komplexního Geo-managementu. Jde o digitální disciplínu, která propojuje geografická data s IT architekturou a business strategií celého projektu. V moderním prostředí stavby, kde se střetává investor **Povodí Vltavy, s.p.** a generální zhotovitel **Metrostav a.s.**, už nejde o prosté měření, ale o vytvoření precizního informačního rámce. **Věděli jste, že správně nastavený Geo-management může být nejvýnosnější investicí projektu, která fakticky rozhoduje o jeho ekonomické úspěšnosti?**

1. GEODÉZIE NENÍ NÁKLAD, ALE INVESTICE S VYSOKOU NÁVRATNOSTÍ

Častým omylem je vnímání geodetických prací jako nutného nákladového zla. Realita je však opačná: geodézie působí jako „regulátor ekonomiky projektu“. Ačkoliv tyto práce tvoří standardně pouze 1–2 % z celkové ceny stavby, představují zásadní pojistku proti chybám, jejichž náprava stojí násobky této částky. Na projektu "VD ORLÍK - ZABEZPEČENÍ VD PŘED ÚČINKY VELKÝCH VOD" to je ~1% (Plánovaný celkový rozpočet stavby: 1 986 246 480 Kč. Plánovaný náklad geodetických a BIM činností zhotovitele: 14 082 628 Kč Plánovaný náklad GDDI: 6 084 720 Kč.)

„Geodetické práce nejsou náklad, ale investice do kvality díla. Tato investice se vyplatí díky včasnému upozornění na kolize v dokumentaci i na stavbě, tvorbě přesných podkladů pro fakturace a absolutní kontrole nad digitálními daty projektu.“ — Technologický postup geodetických prací zhotovitele (Metrostav a.s.)

1.1 DIGITÁLNÍ DVOJČE V PŘÍMÉM PŘENOSU: LASEROVÉ SKENOVÁNÍ A 25. DEN V MĚSÍCI

Moderní dokumentace na Orlíku opouští statické výkresy. Standardem je mračno bodů s hustotou minimálně 2000 bodů/m², porizované špičkovým skenerem Leica RTC 360. Data jsou následně zpracovávána v softwaru Cyclone 3DR, což umožňuje precizní monitoring zemních prací a výpočty kubatur.

Klíčovým prvkem Geo-managementu je zde tzv. „pravidlo 25. dne“. K tomuto datu probíhá skenování a bilance přesunu hmot, což slouží jako nezpochybnitelný podklad pro měsíční Zjišťovací protokol a fakturaci. Zaměřené 3D objekty verifikují projektovou dokumentaci; v modelu ji budou nahrazovat pouze tehdy, pokud odchylky překročí mezní hodnoty definované normou ČSN 73 0210.

2. GDDI

2.1 GDDI JAKO STRÁŽCE DŮVĚRY A BLOCKCHAINOVÁ INTEGRITA

Role Geodetického dozoru investora (GDDI), kterou na Orlíku zastupuje konsorcium **EXACT GROUP** (Exact Control System a.s. ČR, Exact Svenska Mätcenter AB Švédsko, Exact Geo Survey AS Norsko), je kritická pro transparentnost vztahů. GDDI zde funguje jako arbitr kvality dat. Každý výstup zhotovitele prochází technickou kontrolou, jejímž výsledkem je striktní verdikt: „**dodrženo/nedodrženo**“. Bez potvrzení od GDDI nelze schválit soupis prací ani vystavit fakturu.

Pro eliminaci jakýchkoliv pochybností využívá konsorcium **EXACT GROUP** u 3D dat technologii **blockchain**. Ta zajišťuje absolutní neměnnost a průkaznost dat. Jakmile jsou data uložena a zašifrována, je jejich integrita garantována proti jakékoliv manipulaci.

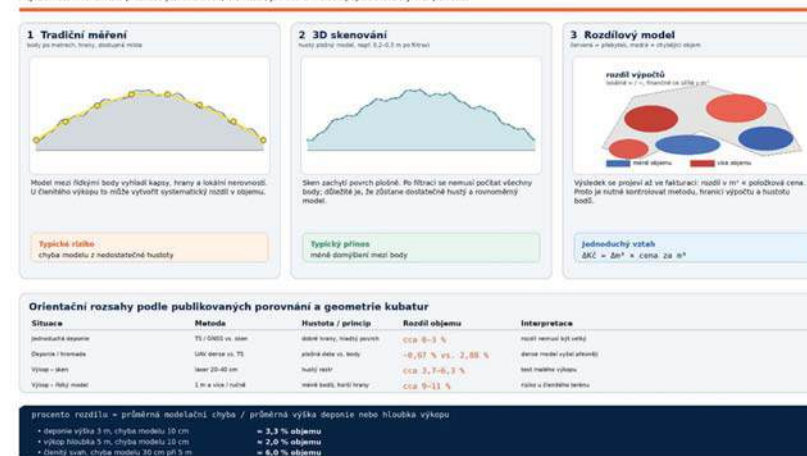
GDDI v procesu Geo-managementu:

- **Maximalizuje:** Důvěru mezi partnery (Povodí Vltavy, Metrostav, TDI) a kvalitu digitálních aktiv.
- **Minimalizuje:** Administrativní náklady na spory o objemech a chyby v technologických procesech.

2.2 PŘÍKLAD

Kubatury deponií a výkopů: skenování vs. tradiční měření

Najvětší rozdíl nevzniká v přesnosti jednoho bodu, ale v tom, jak dobře metoda popíše skutečný tvar povrchu.



Obrázek 1: Na projektu "VD ORLÍK - ZABEZPEČENÍ VD PŘED ÚČINKY VELKÝCH VOD" není laserové skenování náhradou za měření geodeta. Je to nástroj, který umožňuje vytvořit průkazný plošný model pro kontrolu kubatur. Dvě nezávislá skenování se mohou vzájemně lišit jen velmi málo, zatímco řídké bodové měření by u stejného výkopu mohlo vést k větším rozdílům zejména v místech ostrých hran, svahů, kapes a špatně dostupných částí. Největší přínos je pro projednání ZL (změnových listů), kdy GDDI kontrola množství skutečně provedených prací na základě revizních mračen bodů pomohla vysvětlit rozdíly ve stovkách kubatur i v řádech milionů korun českých.

3. GEODET ZHOTOVITELE

Pro Geo-management je zákonem stabilita souřadnicového systému. Základem digitálního dvojčete na Orlíku je **Primární ZVS (Základní vytyčovací síť)**.

bod	označení	X S-ITSK [m]	X S-ITSK [m]	Z Bpu [m]	stabilizace	vstaveno k:		datum zaměření
						polohové	výškové	
P6	centr.	1095491.581	766940.475	-	pilř - kulový čep	centr.	-	29.03.2022
	ZVS	1093491.311	766940.739	332.750	redukce s leica třmenem	hranol Leica GPR121	hranol Leica GPR121	29.03.2022
	P6 - HVB	-	-	331.638	čep	-	čep	03.03.2022

pozn:

Obrázek 2: Primární ZVS (Základní vytyčovací síť) vyhotovit geodet Objednatel (GDDI). Body byly voleny na stávajících železobetonových pilířích. Kontrola ZVS je periodická. Sekundární ZVS vyhotovil a spravuje geodet Zhotovitele dle potřeb postupu stavby.

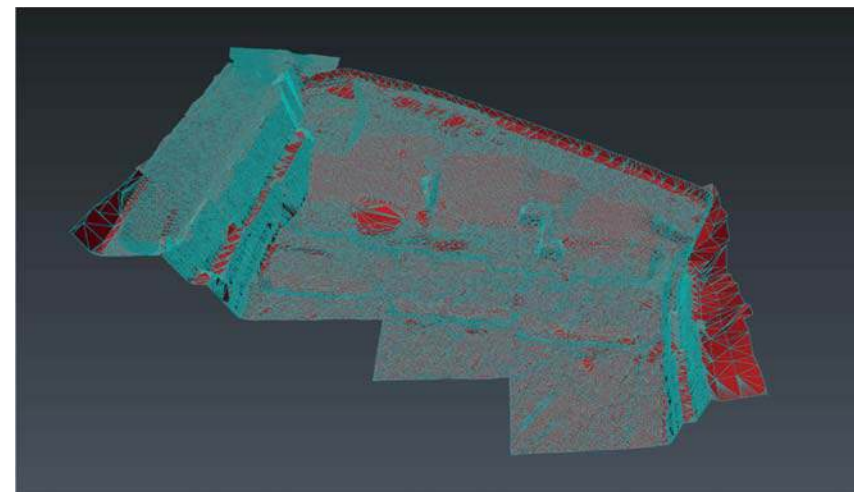
Všechna data – od skenování základových spár po fotogrammetrii z dronů – musí být striktně vázána k této síti. Bez precizního napojení na ZVS ztrácejí 3D data svou hodnotu.

Zároveň platí nekompromisní pravidlo: „**Zaměř vše před dalším pokračováním prací.**“ Konstrukce, které mají být zakryty (např. armatury nebo základové spáry), musí být geodeticky ověřeny. Veškeré změny oproti projektu se evidují v **Geodetickém deníku**. Pokud měření odhalí překročení mezních stavebních odchylek, zhotovitel musí doložit detailní zaměření ve vyšší podrobnosti a navrhnout řešení dříve, než se v pracích pokračuje.

3.1 PŘÍKLAD 3D MRAČNA BODŮ A NÁSLEDNÉHO 3D MODELU VÝKOPU NA ČISTOU ZÁKLADOVOU SPÁRU:



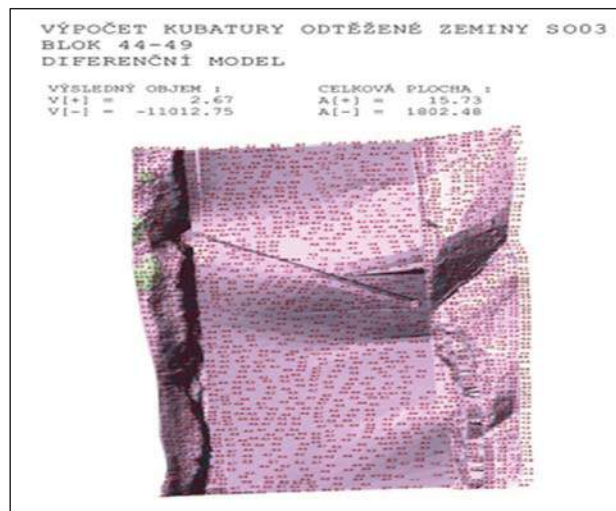
Obrázek 3: Mračno bodů objektu SO01



Obrázek 4: 3D model základové spáry SO01

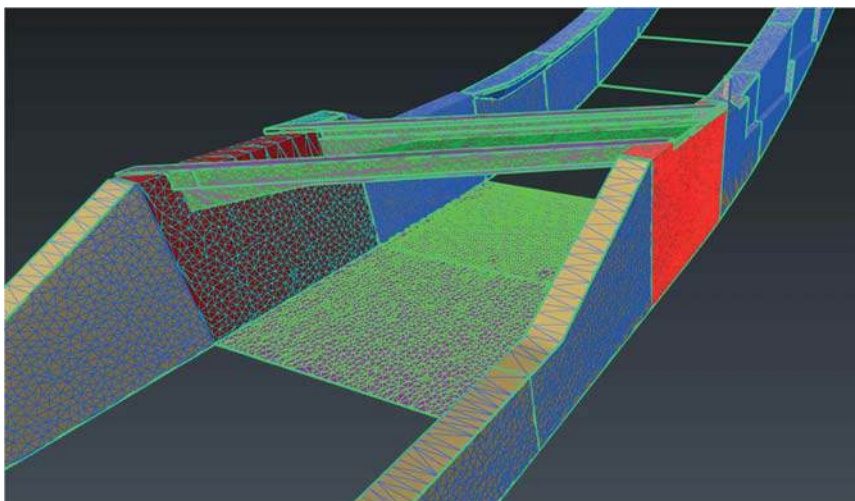
Zpracování dat probíhá po jednotlivých etapách a vždy se použije pro finální 3Dmodel pouze část (výřez), která je na místě fyzicky prohlášena za dokončenou. Jednotlivé výřezy mračna bodů se pak spojí v jeden finální celek, ze kterého se vytvoří 3D model finálního povrchu.

3.2 PŘÍKLAD DIFERENČNÍHO MODELU PRO VÝPOČET MĚSÍČNÍ BILANCE ZAMNÍCH PRACÍ:



Obrázek 5: Výstup výpočtu kubatury dilatačního bloku. Fialová – oblast výkopu, Zelená – oblast násypu

3.3 PŘÍKLAD 3D MODELU FINÁLNÍHO POVRCHU KONSTRUKCE:



Obrázek 6: 3D model betonové konstrukce SO 03

4. TECHNOLOGICKÝ POSTUP GEODETICKÝCH PRACÍ ZHOTOVITELE

4.1 STRUKTURA JAKO ZÁKLAD DIGITÁLNÍHO POŘÁDKU

I ta nejpřesnější data jsou bezcenná, pokud nejsou v Centrálním datovém skladu (CDS) k nalezení. Na projektu Orlík je zavedena přísná metodika pojmenovávání souborů, která zajišťuje integritu celého systému.

Standardizovaný formát názvu souboru dle metodiky GDDI zní: **SO[číslo objektu]_[Datum]_[Specifikace].*** (např. SO01_20240525_Zamereni_Zakladove_Spary.pdf)

Tento systém v kombinaci s Registrem měření umožňuje komukoliv z týmu (TDI, AD, Investor) okamžitě dohledat surová data i finální výpočetní protokoly. Bez této metodiky se digitální model stavby mění v chaos nepoužitelných informací. Odpovídá to i očekávání investora **Povodí Vltavy, státní podnik**. „Chceme jednoduše dohledat podklady v případě kontroly i po ukončení stavby bez potřeby volat geodeta zhotovitele nebo GDDI. To je velmi důležité.“

5. ZÁVĚR

Geodézie se stala digitálním tmelem moderního stavebnictví. Na projektech typu VD Orlík už nejde o pouhé vytyčení hranic, ale o management digitálního aktiva, které chrání miliardové investice. Kombinace precizního měření, standardu IFC a blockchainového zabezpečení vytváří prostředí, kde jsou data nezpochybnitelným zákonem.

Takeaway k zapamatování: Geo-management tvoří 1–2 % nákladů stavby, ale rozhoduje o 100 % důvěry ve fakturaci a eliminuje riziko nákladných chyb v realizaci i budoucím provozu (Facility Management).

Jste připraveni na to, že váš příští projekt bude řízen digitálním modelem s milimetrovou přesností a blockchainovou integritou, nebo se stále spoléháte na odhady?

PODĚKOVÁNÍ

Na závěr bychom rádi vyjádřili **velké poděkování státnímu podniku Povodí Vltavy** za odvalu a důvěru při **pilotním nasazení principů BIM a Geo Managementu** v rámci strategicky významné stavby „VD Orlík – zabezpečení VD před účinky velkých vod“.

Toto **úspěšné ověření v českých podmínkách** ukázalo, že moderní geodetický dozor (GDDI) a digitální správa 3D dat nejsou jen teoretickými koncepty, ale praktickým nástrojem, který **maximalizuje důvěru mezi partnery a minimalizuje chybovost**. Díky tomuto progresivnímu přístupu investora se potvrzuje, že precizní geodetické práce nejsou pro stavbu nákladem, ale **klíčovou investicí do její výsledné kvality, bezpečnosti a ekonomické stability**.

Spolupráce na tomto projektu může nastavit do budoucna nový standard pro české stavebnictví a digitální správu vodohospodářské infrastruktury.

LITERATURA

- [1] PŘIKRYL, M.: Nejpresnější měření zemních prací, Stavební a investorské noviny 2010. Ročník XVII, č.10, s.6-7, ISSN 1804-2864. [http://www.3dck.cz/downloads/3dck_2010-07-Nejpresnejsi-mereni-zemnich-praci-STAVEBNI-A-INVESTORSKE-NOVINY.pdf]
- [2] PŘIKRYL, BUČKO R., M., SIROTEK J.: 3D DATY K ÚSPORÁM: Využití technologií laserového skenování při optimalizaci zemních prací v dopravním stavitelství, SEMINÁŘE VZDĚLÁVÁNÍM KE KVALITĚ, 2011. [http://www.3dck.cz/downloads/3dck_2011-11-Clanek-3D-zemni-prace-SEMINAR-VZDELAVANIM-KE-KVALITE.pdf]
- [3] SIROTEK J., BUČKO R., PŘIKRYL, M.: Metodika „Laserové skenování“, T&S ADWISE, 2013. [http://www.3dck.cz/downloads/3dck_2013-09-Metodika-Laserove-skenovani-TS-ADWISE.pdf]
- [4] ŽÁK, J.: Rozvoj uplatnění efektivních nástrojů a podmínek pro modelování dopravních staveb ve 3d včetně vizualizace, CESTI, 2015 [http://www.3dck.cz/downloads/3dck_2015-04-Technicky-list-BIM-D4-CESTI.pdf]

Ing. Pavel Josefus
Metrostav a.s., Praha
pavel.josefus@metrostav.cz

Ing. Petr Douša
Exact Control System a.s.
petr.dousa@teamexact.com

Ing. Marek Přikryl, Ph.D.
Exact Control System a.s.
marek.prikryl@teamexact.com

DLHODOBÉ ETAPOVÉ MERANIE PRIESTOROVÝCH POSUNOV NA VN TURČEK

J. Kalivoda, P. Lužák & M. Hamrák

VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA, ŠTÁTNY PODNIK, Bratislava, Slovenská republika

ABSTRAKT: Pri výkone technicko-bezpečnostného dohľadu, podľa vyhlášky TBD, tvoria geodetické merania posunov a deformácií jeden z najdôležitejších prostriedkov tejto činnosti vo všetkých etapách, teda od prípravy výstavby až do zrušenia vodného diela. V uvedenom príspevku sa budeme zaoberať výsledkami geodetických meraní počas výstavby, overovacej a trvalej prevádzky na vodnej nádrži Turček.

1. ÚVOD

Vodná stavba Turček bola vybudovaná pod sútokom Turca s jeho pravostranným prítokom z Ružovej doliny. Jej hlavným účelom je akumulácia a dodávka vody pre úpravňu vody v Turčeku a zásobovanie miest Žiar nad Hronom, Prievidza a Handlová pitnou vodou, ale nezanedbateľná je i ochrana pred povodňovými prietokmi horného Turca a využitie vytvorených spádov a prietokov na výrobu elektrickej energie v niekoľkých MVE.

VN Turček sa nachádza v komplikovanom geologickom prostredí. Priehradný profil sa nachádza v geologickom prostredí, ktoré tvoria horniny neogénnej vulkanickej formácie Kremnického štítu. Podložie priehradu tvorí pyroxenicko amfibolický andezit, v povrchovej zóne a v oblasti tektonických porúch zvetraný. Výrazná je primárna rozpukanosť, sekundárne pukliny sú zrejmé len v oblasti zlomových tektonických porúch.

Hrádza je nasýpaná z kameňa s návodným jednovrstvovým asfaltom - betónovým plášťovým tesnením (ďalej aj AB – tesnením). Sklon návodného svahu je 1:2, vzdušného svahu 1 : 1,65 s lavičkami šírky 3,5 m na každých 10,0 m výšky hrádze. Koruna hrádze je na kóte 779,00 m n.m. šírky 4,3 m s vlnolamom na návodnej strane. Na päte návodného svahu je injekčná chodba, o ktorú sa opiera plášťové tesnenie s rozlohou 26 200 m². Z injekčnej chodby je vybudovaná dvojradová tesniaca clona premenlivej hĺbky od 20 do 48 metrov.

Manipulácia s vodou je zabezpečená združeným funkčným objektom (ďalej iba ZFO), kde sú osadené tri vodárenské odbery, dve dnové výpuste Ø 1200 mm a malá výpusť Ø 300 mm (pre vypúšťanie sanitárneho prietoku 70,0 l.s-1). Maximálna kapacita bezpečnostného priepadu je dimenzovaná na 35,0 m.s-1 pri prítoku do nádrže Q 1000 = 50,0 m.s-1 a retenčnom účinku nádrže.

Samotná výstavba vodnej nádrže prebiehala od roku 1992 do 15.mája 1996, kedy sa začalo prvé napúšťanie respektíve overovacia prevádzka VN, ktorá bola ukončená v decembri 1998. Od januára 1999 prešla prevádzka VN Turček do trvalej prevádzky.

2. SLEDOVANIE PRIESTOROVÝCH POSUNOV OBJEKTŮ GEODETICKÝMI METÓDAMI NA VN TURČEK

Podľa projektu merania pozostáva sledovanie vodorovných a zvislých posunov vodnej nádrže ako celku a jeho častí z merania:

- vodorovných a zvislých posunov na korune hrádze a povrchu hrádze
- zvislých posunov betónových objektov
- náklonu vežového objektu
- deformácií asfaltobetónového plášťa a kameňolomu

V uvedenom príspevku sa podrobnejšie budeme zaoberať prvými dvoma meraniami. Presnosť meraní bola odvodená podľa oborovej normy ON 73 6807 " Pozorovanie a meranie na vodných dielach " a STN 73 0405 " Meranie posunov stavebných objektov ". Pre sledovanie deformácií na VS - Turček je požadovaná nasledovná presnosť:

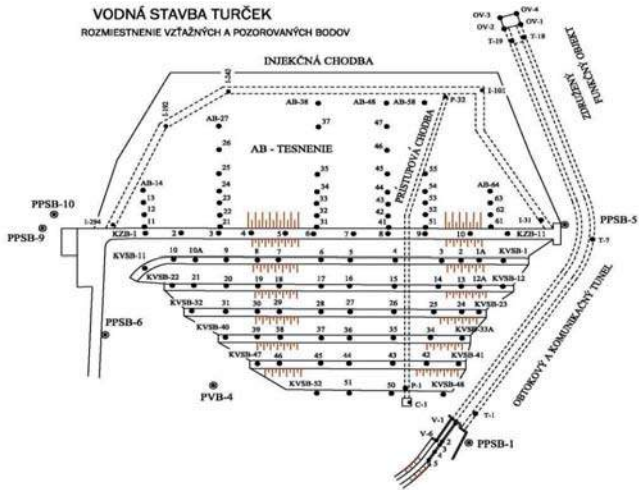
- meranie zvislých posunov:
 - na betónových a murovaných objektoch: $m_v \max. = 1 \text{ mm}$
 - na násypoch sypaných hrádzí: $m_v \max. = 2 \text{ mm}$
- meranie vodorovných posunov :
 - na betónových a murovaných objektoch: $m_{xy} \max. = 2 \text{ mm}$
 - na násypoch sypaných hrádzí: $m_{xy} \max. = 10 \text{ mm}$.

Meranie zvislých a vodorovných posunov vzťažných a pozorovaných výškových bodov na objektoch VN vykonávajú pracovníci VODOHOSPODÁRSKEJ VÝSTAVBY, š. p. Bratislava.

2.1 MERANIE ZVISLÝCH POSUNOV NA VN TURČEK

Celkom bolo do konca roka 2025 vykonaných 55. meraní zvislých posunov (ďalej iba MZP) – z toho základné meranie (ZM) až 20. MZP za obdobie výstavby (1992-máj 1996), 21. MZP až 25. MZP za obdobie overovacej prevádzky(máj 1996 - december 1998) a 26.MZP až 55. MZP za obdobie trvalej prevádzky (január 1999 – september 2025),

Meranie zvislých posunov bolo vykonávané metódou geometrickej nivelácie s presnosťou posudzovanou jednotkovou strednou chybou kilometrovou m_0 , ktorá bola v rozpätí od 0,2 mm do 0,5 mm a jednotkovou strednou chybou kilometrovou vypočítanou z uzáverov nivelačných okruhov M_0 , ktorá bola v rozpätí od 0,3 mm do 2,2 mm. Uvedené hodnoty spĺňajú požiadavky technických noriem. Na obrázku č.1 sa nachádza rozmiestnenie vzťažných a pozorovaných bodov na VN Turček.



Obrázek 1: Grafické znázornenie rozmiestnenia vzťažných a pozorovaných bodov na VN Turček

2.2 MERANIE ZVISLÝCH POSUNOV VZŤAŽNÝCH VÝŠKOVÝCH BODOV

Základnú sieť tvorí 7 vzťažných výškových bodov. Body boli budované postupne, od apríla 1992 do novembra 1996. V 22. MZP v novembri 1996 boli zamerané všetky vzťažné výškové body. Vzťažné výškové body PVB-3 a PVB-4 boli v období od decembra 1995 do mája 1996 poškodené, následne v septembri 1996 bolo vykonané nové ZM. Veľkosť zvislých posunov bola ovplyvnená viacerými faktormi, ako sú priebeh výstavby vodného diela, výška hladiny vody vo vodnej nádrži a terénu pri vzťažnom bode pri jeho úprave. Počas výstavby tvorilo sieť vzťažných bodov 5 bodov, z ktorých 2 vyššie spomínané boli poškodené. Zvislé posuny vzťažných výškových bodov uvádzame v tabuľke.

Tabuľka 1: Zvislé posuny vzťažných výškových bodov v mm

Označenie bodu	Dátum ZM	ZM 04. 1996	04. 1996 11.1998	11.1998 09. 2025	ZM 09. 2025
Hladina	–	0	64,3	-0,96	63,34
PVB-3	09.1996	nemeraný	nemeraný	-2,7	-1,5
PVB-4	09.1996	nemeraný	nemeraný	-1,5	0,5
PVB-7	11.1993	3,7	0,2	0,7	4,6
PVB-8	11.1993	3,4	-1,6	-2,1	-0,3
PPSB-6	01.1995	7,2	-2,3	-0,8	4,1
PPSB-9	11.1996	nemeraný	nemeraný	-0,7	0,2
PPSB-10	11.1996	nemeraný	nemeraný	-0,7	0,0

Z nameraných hodnôt vyplýva, že vzťažné výškové body vyhovujú potrebám sledovania zvislých posunov na VN Turček.

2.3 MERANIE ZVISLÝCH POSUNOV PRÍSTUPOVEJ CHODBY

Meranie prístupovej chodby sa začalo po jej vybudovaní v novembri 1993 a v máji 1995 sa začali merať pozorované výškové body v okolí trhliny na bloku č. 7. V prístupovej chodbe je osadených 38 pozorovaných výškových bodov stabilizovaných klincovou značkou umiestnenými na pravej a ľavej strane dilatácie príslušného bloku. Prístupová chodba bola meraná v každom meraní okrem 17. až 19. MZP. Výsledky dávajú podrobný obraz o sadaní podlažia počas celého obdobia. Pozorované výškové body v prístupovej chodbe vykázali vo vybraných časových obdobiach nasledovné rozpätia zvislých posunov:

Tabuľka 2: Zvislé posuny v prístupovej chodbe

Obdobie	Rozpätie zvislých posunov od ... do ... v mm							
	Prístupová chodba							
	Bloky 1-5		Bloky 6-11		Bloky 12-16		Bl. 7 - trhlina	
ZM - 04.1996	-19,9	-2,8	-26,2	-16,8	-24,2	-1,0	-2,0	-1,6
04.1996 - 11.1998	-13,6	-4,6	-4,5	-1,6	-1,6	-0,6	-3,4	-2,8
11.1998 - 09.2025	-4,6	-3,7	-5,2	-4,1	-5,4	-3,7	-4,5	-4,2
ZM - 09.2025	-30,8	-17,0	-32,9	-23,0	-30,8	-5,4	-9,7	-8,9

2.5 MERANIE ZVISLÝCH POSUNOV KOMUNIKAČNÉHO TUNELA A ZFO

Meranie komunikačného tunela a vežového objektu sa začalo v 12. MZP v júli 1995, iba bod T-9 bol prvý raz meraný v októbri 1995. V komunikačnom tuneli a vežovom objekte je spolu osadených 23 bodov stabilizovaných klincovou značkou osadených po oboch stranách príslušnej dilatácie.

V Tabuľka 4 uvádzame príslušné hodnoty zvislých posunov za vybrané časové obdobia.

Tabuľka 4: Tabuľka zvislých posunov komunikačného tunela a vežového objektu

Obdobie	Rozpätie zvislých posunov od ... do ... v mm			
	Komunikačný tunel		ZFO	
ZM - 04.1996	-3,4	-0,4	-2,4	-0,5
04.1996 - 11.1998	-3,9	16,5	-4,6	-2,6
11.1998 - 09.2025	-5,3	-1,6	-6,1	-5,9
ZM - 09.2025	-9,6	13,5	-11,8	-10,4

Pri etapových meraniach počas výstavby boli namerané na pozorovaných výškových bodoch zvislé posuny od -3,4 mm do -0,4 mm z maximom na bode T-9. Pri etapových meraniach počas prvého plnenia boli namerané malé hodnoty zvislých posunov v rozsahu -3,9 mm až +3,2 mm. Výnimkou sú dva body (T13 a T14), na ktorých bolo zaznamenané v období medzi 11.1996 až 7.1998 stúpnutie až +16,5 mm. Tieto výsledky potom ovplyvňujú aj zvislé deformácie počas prvého plnenia a samozrejme od ZM. Za obdobie trvalej prevádzky sú zvislé posuny v rozmedzí -5,3 až -1,6 mm, čo sú hodnoty na úrovni presnosti merania a potvrdzujú stabilitu objektu.

ZFO počas celej svojej existencie nevykazoval výraznejšie zvislé posuny. Sadanie na bodoch je rovnomerné a od ZM dosiahlo hodnoty od -11,8 mm do -10,4 mm. ZFO môžeme považovať za výškovo ustálený objekt. Stanovená medzná hodnota pre zvislú deformáciu ZFO (24,8 mm) nebola prekročená a v maxime bola dosiahnutá hodnota 48 % z MH.

2.6 MERANIE ZVISLÝCH POSUNOV TELESA HRÁDZE

Meranie na telese zemnej hrádze sa začalo v 6. MZP v novembri 1994 a do augusta 1995 boli zamerané všetky lavičky. Stabilizácia bodov na 2. lavičke bola nekvalitná, a preto po oprave bolo na nich vykonané nové ZM. Koruna hrádze bola dokončená v máji 1996, kedy bolo na nej vykonané ZM.

Zvislé posuny za obdobie výstavby, overovacej a trvalej prevádzky a zvislé posuny od ZM telesa hrádze uvádzame v nasledujúcich tabuľkách.

Tabuľka 5: Zvislé posuny na telese hrádze – korun a hrádze, 5.,4. a 3. lavička

Obdobie	Rozpätie zvislých posunov od ... do ... v mm							
	Koruna hrádze		5. lavička		4. lavička		3. lavička	
ZM - 04.1996	xx.x	xx.x	-16,8	-0,2	-10,1	2,2	-6,5	2,0
04.1996 - 11.1998	-21,1	-1,6	-22,2	-2,2	-15,1	-1,5	-9,8	-1,2
11.1998 - 09.2025	-38,7	-6,8	-43,3	-2,5	-35,9	-2,2	-24,3	-2,0
ZM - 09.2025	-69,2	-13,3	-81,0	-4,9	-63,4	-2,5	-40,1	-1,2

Priebeh sadania s lokálnymi nerovnomernými hodnotami na niektorých bodoch zodpovedá pomerom sadania pod násypom v tvare lichobežníka. Max. hodnota sadnutia za obdobie výstavby (teda sadnutie podložia pod prístupovou chodbou) bola nameraná na bloku č. 11 v hodnote -26,2 mm. Pričom podstatná časť sadania prebehla v období od júna do novembra 1994, kedy bolo zahájenie sypanie hrádze a v novembri dosiahol násyp kótu cca 755,00 m n. m.. Po tomto termíne už ďalšie zvyšovanie násypu nemalo výrazný vplyv na sadanie podložia. Výsledky sadania pozorovaných výškových bodov počas prvého plnenia za obdobie 04/98 – 11/98 predstavujú rovnomerné spojité sadanie v rozsahu -0,6 až -13,6 mm s nárastom hodnôt smerom od začiatku prístupovej chodby (šachta č. 1) k napojeniu na injekčnú chodbu (-13,6 mm). Sadanie prístupovej chodby počas plnenia nádrže je odlišné ako pri sypaní hrádze, čo odpovedá najväčším prírastkom zaťaženia v úseku od injekčnej chodby po cca stred prístupovej chodby. Za obdobie trvalej prevádzky priebeh zvislých posunov naznačuje, už ukončený proces sadania prístupovej chodby a ročné posuny sú na hranici presnosti merania danou metódou. Už od roku 1999 môžeme sledovať len drobné výkyvy v nameraných hodnotách, pričom za obdobie od 11.1998-09.2025 vykázala prístupová chodba zvislé posuny od -5,4 mm do -3,7 mm. Maximálne hodnoty sadania bodov v prístupovej chodbe od základného merania boli namerané -32,9 mm na bode P-21 (Blok č.6). Stanovená medzná hodnota (50 mm) nebola prekročená a v maxime bola dosiahnutá hodnota 66 % z MH.

2.4 MERANIE ZVISLÝCH POSUNOV INJEKČNEJ CHODBY

Meranie injekčnej chodby sa začalo postupne na dokončených blokoch a po zabudovaní klincových značiek. Prvé meranie bolo vykonané na blokoch č. 14, 15 a 16 v novembri 1993. Do konca roku 1995 bolo vykonané základné meranie na všetkých blokoch. Počas výstavby vodnej stavby sa vykonávala injektáž, ktorá mala značný vplyv na výsledky merania. V injekčnej chodbe je osadených 100 pozorovaných výškových bodov stabilizovaných klincovou značkou. V nasledujúcej tabuľke uvádzame rozpätie zvislých posunov jednotlivých blokov za vybrané časové obdobia.

Tabuľka 3: Zvislé posuny pozorovaných bodov v injekčnej štolni

Obdobie	Rozpätie zvislých posunov od ... do ... v mm					
	Ľavá strana		Údolná niva		Pravá strana	
	Blok 1 - 10		Blok 11 - 19		Blok 20 - 31	
ZM - 04.1996	-1,7	8,4	-2,9	0,4	-4,6	11,8
04.1996 - 11.1998	-6,1	-0,2	-5,5	-2,0	-1,9	4,3
11.1998 - 09.2025	-5,1	-2,3	-4,0	-2,9	-4,7	-2,1
ZM - 09.2025	-9,5	2,2	-10,4	-6,4	-9,5	7,7

Zvislé posuny od ZM do 09/2025 boli namerané v rozmedzí od -10,4 mm do +7,7 mm. Tieto hodnoty sú minimálne, ako aj hodnoty prírastkov v posledných rokoch. Injekčnú chodbu na základe MZP hodnotíme ako stabilnú, s minimálnymi ročnými zvislými deformáciami, ktoré potvrdzujú aj merania na dilatometrických skobách. Celkové zvislé posuny sú ovplyvnené dátumom základného merania, výškou násypu zeminy nad bodom, priebehom injektáže v okolí bodu a výškou vody v nádrži. Stanovená medzná hodnota (24 mm) nebola prekročená a dosiahnutá hodnota bola v maxime 43 % z MH.

Tabuľka 6: Zvislé posuny na telese hrádze – 2. a 1. lavička, pāta hrádze

Obdobie	Rozpätie zvislých posunov od ... do ... v mm					
	2. lavička		1. lavička		Pāta hrádze	
ZM - 04.1996	-9,5	1,5	-11,8	1,4	-2,7	-1,7
04.1996 - 11.1998	-4,9	0,7	-5,3	-0,1	-1,9	1,4
11.1998 - 09.2025	-18,3	-1,2	-10,4	-1,7	-7,6	-3,6
ZM - 09.2025	-36,5	1,0	-26,3	-1,6	-12,2	-4,4

Namerané výsledky za obdobie výstavby potvrdzujú kvalitu spracovania násypu a dobrú stabilitu priečneho profilu. Zvislé posuny zemnej hrádze sa nachádzajú v prípustných hodnotách posunov pre kamenný násyp. Najväčšie sadanie bolo namerané na 5. lavičke -16,8 mm na bode KVSb-4 (mierne sadanie odpovedajúce čerstvému násypu).

Hodnoty zvislých posunov počas overovacej prevádzky (04.1996-11.1998) potvrdzujú stabilitu vzdušnej časti hrádze a koruny hrádze a sú pod hranicou medznej hodnoty. Zo spracovania nameraných výsledkov je vidieť, že najväčšia časť nameraných zvislých posunov počas napúšťania prebehla začiatkom napúšťania (do novembra 1996) a v ďalšom období boli zvislé deformácie na lavičkách 1 až 3 rádové nižšie. Na lavičke č. 4 (759,00 m n. m.) a č. 5 (769,00 m n. m.) prebiehali deformácie ešte do júla 1998 čo odpovedá časovému priebehu sypania hrádze. Po tomto období už aj na týchto úrovniach veľkosti zvislých posunov poklesli. Na piatej lavičke a korune hrádze predstavovali zvislé deformácie po júli 1998 až rádové nižšie hodnoty sadania ako zo začiatku napúšťania (04/96 - 07/98). Maximálne sadanie počas overovacej prevádzky vykázali body KVSb-5 (-22,5mm) na 5. lavičke, KZb-6 (-21,1mm) na korune hrádze. Zvislé posuny za obdobie trvalej prevádzky potvrdzujú celkovú stabilitu telesa hrádze. Sadnutie je pravdepodobne už ukončené a do budúcnosti je možné očakávať už len minimálne zmeny zvislých deformácií.

Medzné hodnoty zvislých posunov telesa hrádze boli stanovené rôzne pre jednotlivé výškové úrovne. V nasledujúcej tabuľke uvádzame rozpätie hodnôt od ZM v porovnaní s medznými hodnotami.

Tabuľka 7: Medzné hodnoty zvislých posunov telesa hrádze

	rozpätie (mm)	MH (mm)	prekroenie MH (mm)
koruna hrádze	-69,2 až -13,3	416	–
lavička 769,00 m n. m.	-81,0 až -4,9	194	–
lavička 759,00 m n. m.	-63,4 až -2,5	164	–
lavička 749,00 m n. m.	-40,1 až -1,2	123	–
lavička 739,00 m n. m.	-36,5 až 1,0	82	–
lavička 729,00 m n. m.	-26,3 až -1,6	52	–
pāta hrádze	-12,2 až -4,4	15	–

Z uvedených medzných hodnôt, rozpätí a maximálnych hodnôt sadania od základného merania vyplýva, že medzné hodnoty dosiaholi neboli prekroené a v maxime bola dosiahnutá hodnota 81 % z MH na pāte hrádze.

2.7 MERANIE VODOROVNÝCH POSUNOV VN TURČEK

Celkom bolo do konca roku 2025 vykonaných 43. meraní vodorovných posunov (ďalej iba MVP) – z toho ZM až 9. MVP za obdobie výstavby, 10. MVP až 13. MVP za obdobie overovacej prevádzky a 14. MVP až 43. MVP za obdobie trvalej prevádzky.

MVP boli vykonané kombinovanou metódou merania smerov a dĺžok. Do 10. MVP boli smery merané elektronickým teodolitom Kern E-2 a dĺžky elektrooptickým dĺžkomerom Kern ME-5000. Od 11. MVP boli smery aj dĺžky merané totálnou stanicou LEICA TDM 5000, posledné meranie bolo merané totálnou stanicou LEICA TS 30, LEICA MS 50 a LEICA TS60.

Merané dĺžky boli opravené o atmosférické opravy a redukované na spoločný horizont s nulovou hladinovou plochou. Súradnice vzťahných a pozorovaných bodov sú počítané v systéme "JTSK". Výpočet súradníc sa vykonáva vyrovnávaním meraných smerov a dĺžok cez sprostredkujúce pozorovania metódou najmenších štvorcov, pričom vypočítané stredné chyby neprekračujú 2 mm.

Vzhľadom k tomu, že súradnicová sústava JTSK je v obecnej polohe k osi hrádze, bola vykonaná transformácia do súradnicovej sústavy, kde os Y-ová je rovnobežná s osou hrádze a narastá zľava doprava a os X-ová je na ňu kolmá a narastá v smere toku vody. V tabuľke č. 8 sa nachádzajú súradnice identických bodov podľa, ktorých je treba vykonať transformáciu.

Tabuľka 8: Súradnice identických bodov

BODY	Súradnice v JTSK [m]	Transformované súradnice [m]
A	Y= 2975.2982	y= 500.0000
	X= 4407.7754	x= 500.0000
B	Y= 3020.9512	y= 667.4846
	X= 4246.6329	x= 500.0000

Transformované súradnice dávajú obraz o zmenách polohy vzťahných a pozorovaných bodov. Zmena X-ovej súradnice je priečny posun a zmena Y-ovej pozdĺžny posun.

2.8 MERANIE VODOROVNÝCH POSUNOV VN TURČEK

Sieť vzťahných polohových bodov má v súčasnej dobe 3 body stabilizované na prelome rokov 1993 a začiatkom roku 1994, 4 body v roku 1995, 1 bod v roku 1996 a 1 bod v roku 1997. Poloha týchto bodov je, vzhľadom k úzkemu údoliu, aj na takých miestach, kde ich konsolidácia bude trvať dlhšiu dobu. Z tohto dôvodu sú namerané priečne a pozdĺžne posuny primerané k možnostiam, ktoré môžeme od týchto bodov očakávať. Vodorovné posuny vzťahných polohových bodov uvádzame v tabuľke.

Tabuľka 9: Vodorovné posuny vzťažných polohových bodov v mm

Označenie bodov	Dátum ZM	ZM 04. 1996 dY	04. 1996 dX	11. 1998 dY	11. 1998 dX	09. 2025 dY	09. 2025 dX	ZM 09. 2025 dY	ZM 09. 2025 dX
Vzťažné polohové body									
PVB-3	01.1994	-4,0	3,6	-0,6	-3,8	1,5	0,5	-3,1	0,3
PVB-4	11.1996	xx.x	xx.x	xx.x	xx.x	-1,5	-0,4	-3,4	0,0
PVB-7	01.1994	-3,0	-1,2	-0,1	0,0	2,8	-1,9	-0,3	-3,1
PVB-8	01.1994	1,2	5,6	1,9	-3,6	0,8	-1,1	3,9	0,9
PPSB-1	02.1995	1,1	0,3	3,4	1,2	4,5	-3,7	9,0	-2,2
PPSB-5	07.1997	xx.x	xx.x	xx.x	xx.x	0,2	-3,6	5,8	-4,9
PPSB-6	02.1995	-5,8	-13,8	4,8	16,1	1,6	-1,1	0,6	1,2
PPSB-9	02.1995	xx.x	xx.x	xx.x	xx.x	6,6	-0,3	6,7	0,3
PPSB-10	02.1995	-1,5	1,2	-0,5	-2,6	6,9	-0,1	4,9	-1,5

Vzhľadom k vodorovným posunom všetkých meraných vzťažných bodoch je možné predpokladať chybu vo vypočítaných posunoch všetkých meraných bodoch 3 mm, s ktorou je pri hodnotení potrebné počítať.

2.9 MERANIE VODOROVNÝCH POSUNOV TELESA HRÁDZE

V nasledovných tabuľkách uvádzame rozpätie priečných posunov za obdobie od výstavby do 1. napúšťania, obdobie overovacej a trvalej prevádzky a za obdobie celej existencie.

Tabuľka 10: Priečne posuny telesa hrádze - koruny hrádze, 5., 4., 3. lavičky

Obdobie		Rozpätie priečných posunov od ... do ... v mm							
		Koruna hrádze		5. lavička		4. lavička		3. lavička	
ZM	- 04.1996	xx.x	xx.x	-13,1	10,1	-5,1	4,4	-3,2	1,5
04.1996	- 11.1998	-2,5	8,9	-5,6	19,7	-0,1	9,6	0,6	8,8
11.1998	- 09.2025	0,8	14,4	-1,4	9,0	0,8	7,0	0,3	3,2
ZM	- 09.2025	-1,6	19,5	3,1	15,5	5,1	12,6	1,7	8,6

Tabuľka 11: Priečne posuny telesa hrádze - 2., 1. lavičky a päty hrádze

Obdobie		Rozpätie priečných posunov od ... do ... v mm					
		2. lavička		1. lavička		Päta hrádze	
ZM	- 04.1996	-17,4	35,3	-5,9	37,2	-37,6	9,3
04.1996	- 11.1998	0,9	5,9	-0,3	7,5	-3,0	41,1
11.1998	- 09.2025	-2,0	5,2	-1,9	3,9	-4,7	1,5
ZM	- 09.2025	-8,3	38,6	0,9	46,0	-1,2	7,3

Väčšie vodorovné posuny od ZM (rôzne podľa budovania KVSb) boli do apríla 1996 namerané na KVSb-52 (päta svahu na pravej strane) $cpx=-37,6$ mm, $cpy=-9,0$ mm, KVSb-42 ($cpx=+37,2$ mm, $cpy=+1,3$ mm). Tieto hodnoty vodorovných posunov boli namerané v období kopania ryhy pre automatizované snímanie a prenos údajov z pozorovaných sond na lavičkách. Ďalšie etapové merania na týchto bodoch potvrdzujú uvedenú príčinu.

V období napúšťania 04.1996-11.1998 vykázali najväčšie priečne posuny (v smere toku vody) nad +10,0 mm body KVSb-50, 51 a 52 (päta hrádze), na bode KVSb-9, 10, 11 (5. lavička). Uvedené hodnoty priečných posunov boli na týchto bodoch zaznamenané zo začiatku napúšťania. V ďalších meraniach vykázali uvedené body hodnoty na úrovni ostatných KVSb. V období napúšťania nádrže boli veľké pozdĺžne posuny zľava doprava. Celkové priečne posuny od ZM v smere toku (x) nad 15,0 mm boli namerané len na bodoch KZB-8, 9 a KVSb-4, 34, 35, 39, 42.

Výsledky meraní v roku 2025 i naďalej potvrdzujú pretrvávajúci vodorovný posun bodov na vzdušnej strane hrádze smerom do údolia a koruna hrádze má tendenciu sa posúvať do pravostranného zaviazania. Pri nasledujúcich meraniach je potrebné i naďalej tomuto javu venovať pozornosť, aj keď hodnoty ročných posunov sú ojedinele vyššie ako posuny za päťročné obdobie. Celkovo však môžeme hovoriť o dobrej stabilite vzdušnej strany hrádze.

3. ZÁVER

Z nameraných výsledkov vyplýva, že najväčšie priestorové posuny na VN Turček vykázali jednotlivé objekty počas výstavby a prvého napustenia respektíve overovacej prevádzky, pričom namerané vodorovné a zvislé posuny v poslednom období sú primerané veľkosti a veku vodnej stavby a potvrdzujú jej postupnú konsolidáciu.

LITERATÚRA

- [1] Bednárová E. a kol.: Priehradné staviteľstvo na Slovensku, 2010,
- [2] Vodohospodárska výstavba: Súhrnná správa o technicko – bezpečnostnom dohľade pri výstavbe, Bratislava, september 1997,
- [3] Vodohospodárska výstavba: Celková správa o technicko – bezpečnostnom dohľade počas overovacej prevádzky, Bratislava, máj 1999,
- [4] Vodohospodárska výstavba: Súhrnná etapová správa o TBD za obdobie celej existencie do roku 2024, Bratislava, jún 2025,
- [5] Kalivoda J.: Geodetická príloha do ES o TBD nad vodnou stavbou VN Turček za rok 2025, Bratislava, február 2026.

Ing. Juraj Kalivoda
juraj.kalivoda@vzb.sk

Ing. Martin Hamrák
martin.hamrak@vzb.sk

Ing. Peter Lužák
peter.luzak@vzb.sk

VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA, ŠTÁTNY PODNIK, Karloveská 2, P.O. BOX 45, 841 04, Bratislava, Slovenská republika

STANOVENÍ HYDROGRAMU PROTRŽENÍ PŘEHRADY BÍLÁ DESNÁ

S. Kotaška, M. Špano & J. Říha

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb, Brno, Česká republika

ABSTRAKT: Již je to 110 let, kdy došlo k porušení přehrady Bílá Desná, které dodnes představuje nejzávažnější havárii přehrady na území Čech. Přesto dosud nebyl stanoven hydrogram průlomové vlny při této události. Tento článek shrnuje a analyzuje dostupné historické podklady a zaměřuje se na zpětný odhad kulminačního průtoku a hydrogramu průlomové vlny při protržení přehrady. Pro analýzu byly využity metody analogie, empirické vztahy a tři numerické modely: AREBA, HEC-RAS a DL Breach. Při zpětné analýze byly využity dokumentace pořízené během protržení hráze. Vzhledem k nejistotám v určení objemu nádrže byly simulace provedeny pro původně projektem uváděný objem nádrže 400 tis. m³ a pro nově stanovený objem nádrže 550 tis. m³ odvozený z GIS dat. Předběžné výsledky založené na analogii a empirických vztazích ukazují kulminační průtok při protržení v rozmezí 360 až 810 m³/s. Za nejpravděpodobnější a realistický lze považovat výsledek numerických simulací s kulminačním průtokem 500 až 520 m³/s. Rozdíly mezi jednotlivými numerickými modely se projevují především ve tvaru výsledných hydrogramů, nikoli v hodnotě kulminačního průtoku, který vykazuje pouze malou variabilitu.

1. ÚVOD

Analýza selhání přehrad je již řadu let jedním z ústředních témat vodohospodářského inženýrství, zejména v souvislosti s růstem požadavků na bezpečnost vodních děl. Rekonstrukce historických případů protržení přehrad prostřednictvím zpětné analýzy hraje zásadní roli pro hlubší porozumění mechanismům vzniku a vývoje poruch na vodních dílech. Přestože moderní numerické modely byly v posledních desetiletích výrazně zdokonaleny a úspěšně kalibrovány, zejména na základě novějších událostí spojených s přelitím či vnitřní erozí, řada starších poruch přehrad zůstala současnými postupy nedostatečně popsána.

Jedním z takových případů je protržení přehrady Bílá Desná, které představuje zásadní milník v historii bezpečnosti přehrad ve střední Evropě. Navzdory své historické i odborné významnosti nebylo toto porušení dosud komplexně analyzováno s využitím moderních výpočetních nástrojů. K přesnější rekonstrukci během průběhu události navíc často chybějí detailní hydrologické záznamy či údaje o hydrogramu protržení (Aureli a kol., 2021), což významně komplikuje současné modelování a hodnocení rizik na vodních dílech.

Rok 2026 zároveň připomíná 110 let od této tragické události, což poskytuje vhodnou příležitost k návratu k historickým datům a jejich opětovné interpretaci s využitím současných postupů ke zpřesnění našich znalostí o příčinách a průběhu tohoto historického protržení.

2. METODY

2.1 BÍLÁ DESNÁ

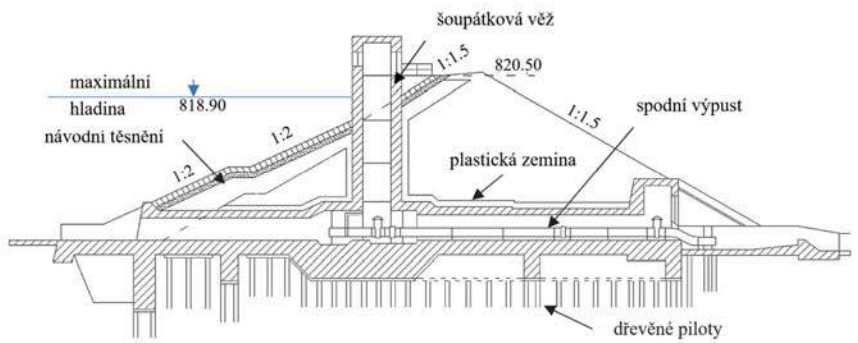
Bílá Desná se nachází severně od obce Desná, v katastrálním území Albrechtice v Jizerských horách v České republice. Hlavním účelem přehrady na Bílé Desné byla stabilizace odtoku místních vodních toků, zajištění spolehlivějšího využívání vodních zdrojů a ochrana území před povodněmi. Povodí Bílé Desné má rozlohu přibližně 8,05 km² s průměrnou nadmořskou výškou okolo 800 m n. m.

Dostupné údaje o základních parametrech přehrady Bílé Desné jsou shrnuty v Tab. 1. Všechny nadmořské výšky jsou vztaženy k hladině Jaderského moře (v daném období oficiální výškový referenční systém).

Tabulka 1: Základní parametry přehrady Bílá Desná (Plenkner, 1908; Gebauer, 1916).

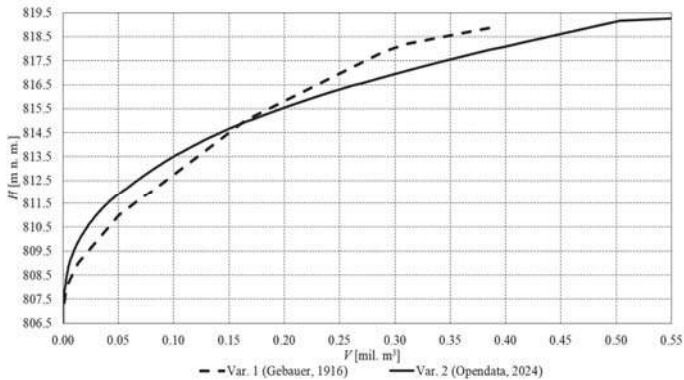
Parametr	Proměnná	Hodnota	Jednotky
Maximální objem nádrže	V_{max}	0,400/0,550	[mil. m ³]
Objem v nádrži v době porušení	V_w	0,290/0,410	[mil. m ³]
Maximální hloubka vody v nádrži	h_k	12,40	[m]
Hloubka vody v nádrži v době porušení	h_w	11,38	[m]
Kóta koruny hráze	C_L	820,50	[m n. m.]
Maximální hladina v nádrži	H_k	818,90	[m n. m.]
Maximální výška koruny hráze nad terénem	h_d	14	[m]
Šířka koruny	C_w	4	[m]
Délka hráze v koruně	B_R	243,5	[m]
Sklon návodního svahu	1:X	1:2, 1:1,5	[V: H]
Sklon vzdušního svahu	1:Y	1:1,5	[V: H]
Kapacita spodní výpusti	Q_o	5,2	[m ³ /s]

Přehrada byla navržena jako zonální zemní konstrukce s mírně propustnější stabilizační částí a návodním jílovitým těsněním (Obr. 1). Vlastnosti zeminy (jak těsnicí vrstvy, tak stabilizační části) jsou následující: průměrná velikost zrna $d_{50} = 0,0023$ m, soudržnost $c = 10$ kN/m², objemová hmotnost $\rho_d = 1850$ kg/m³, úhel vnitřního tření $\varphi = 38^\circ$, index plasticity $PI = 3 - 4$ %, pórovitost $n = 0,25$ (Žák, 2006).



Obrázek 1: Příčný řez VD Bílá Desná

Největší nejistota vstupních dat byla ve stanovení objemu nádrže. V původních dokumentech (Plenkner, 1908; Gebauer, 1916) je uváděna maximální objem nádrže 400 000 m³ při hladině 818,90 m n. m. GIS analýza odvozená z digitálního modelu reliéfu (Opendata, 2024) však ukazuje, že při maximální hladině (818,90 m n. m.) mohl objem nádrže dosahovat přibližně 540 000 m³. Obě křivky jsou uvedeny na Obr. 2.



Obrázek 2: Křivky objemu nádrže Bílé Desné podle Gebauera (1916) – Var. 1 a Opendata (2024) – Var. 2

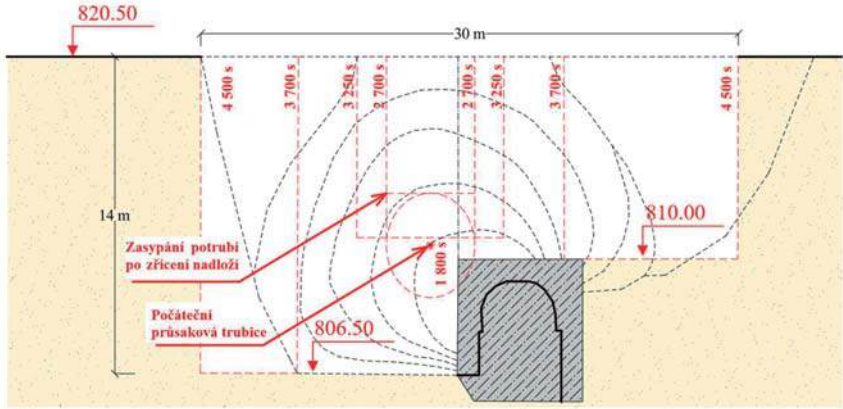
2.2 POPIS PRŮBĚHU PORUCHY

Podle Gebauera (1916) a Gnendigera (1916) nebyly před protřazením přehrady dne 18. září 1916 zaznamenány žádné mimořádné hydrologické jevy, jako například povodně. Průběh událostí získaný z dostupných zdrojů (Gebauer, 1916; Gnendiger, 1916; Smrček, 1917) je uveden v Tab. 2.

Tabulka 2: Časový průběh poruchy Bílé Desné 18. září 1916 (Gebauer, 1916; Gnendiger, 1916; Smrček, 1917)

Čas [h]	Doba od počátku porušení [s]	Popis události
15:30	0	Nebyl zaznamenán žádný průsak. Objem v nádrži byl $V_0 = 290$ tis. m^3 při hladině $H_0 = 817,88$ m n. m.
15:31	60	Zaznamenán proud vody o velikosti 20 mm, který vyvěrá ze svahu v blízkosti výstupní štol ve výšce $H_{pip} = 810,34$ m n. m.
16:15	2700	Dlažba na svahu v blízkosti věže se zřítíla a vznikla propadlina. Nadloží průsakové trubice se zbortilo; půda byla rychle odplavena.
16:45	4500	Nádrž byla zcela vyprázdněna a konečná hladina dna koryta dosáhla úrovně 806,5 m n. m.

Místo počátečního vysakování vody na vzdušním svahu se nacházelo nalevo při pohledu po proudu od vchodu do chodby spodní výpusti. Průlomový otvor se vyvíjel převážně na levé straně chodby (Obr. 3). Postup eroze směrem k pravobřežnímu zavázání byl omezen chodbou; pokračoval pouze nad jejím stropem k pravému zavázání hráze. Interpretace vývoje a tvaru průlomového otvoru z roku 1916 (Obr. 3), byla stanovena na základě měření finálních charakteristik průlomového otvoru provedených svědky asi týden po protřzení hráze (Gebauer, 1916).



Obrázek 3: Křivky objemu nádrže Bílé Desné podle Gebauera (1916) – Var. 1 a Opendata (2024) – Var. 2

2.3 METODY STANOVENÍ HYDROGRAMU PRŮLOMOVÉ VLNY

Pro stanovení hydrogramu průlomové vlny přehrady Bílá Desná bylo využito tří nezávislých metod zahrnující tři numerické modely. Analyzovány jsou dvě varianty protřzení přehrady – Var. 1 (Gebauer, 1916) a Var. 2 (Opendata, 2024), které se od sebe liší použitou batyografií nádrže (Obr. 2).

2.3.1 Metoda analogie (srovnávací analýza)

Tato metoda slouží k orientačnímu odhadu parametrů průběhu protřzení, jako je kulminační průlomový průtok či šířka průlomového otvoru. Pro její použití je zásadní výběr přehrad s obdobným typem a složením hráze, výškou a objemem nádrže. Z databáze selhání přehrad (Bernard-Garcia a Mahdi, 2020) bylo pro porovnání vybráno sedm „podobných“ přehrad, jejichž základní parametry jsou uvedeny v Tab. 2.

Tabulka 2: Charakteristika sedmi podobných přehrad z databáze (Bernard-Garcia a Mahdi, 2020) s porovnáním parametrů přehrady Bílá Desná (Gebauer, 1916).

č.	Název	Výška hráze h_d [m]	Objem v nádrži V_w [mil. m^3]	Šířka průlomového otvoru B [m]	Kulminační průtok Q_b [m^3/s]
1	Metly	8.5	1,930	35	550
2	Bilberry	20	0,327	37	725
3	Fred Burr	16	0,750	30	654
4	Kelly Barnes	11.6	0,777	27	680
5	Lawn Lake	7.9	0,798	18	510
6	Noppikoski	16.5	1,000	42	600
7	Puddingstone	15.2	0,610	79	480
-	Bílá Desná	14	0,400/0,550	30	??

2.3.2 Empirické vztahy

Pro empirický odhad kulminačních průtoků bylo využito 3 vybraných vztahů (Tab. 3). Pro zpětnou analýzu byla výška hráze nahrazena hloubkou v nádrži h_w v době protržení a maximální objem nádrže V_w byl nahrazen objemem v době poruchy.

Tabulka 3: Empirické rovnice pro stanovení kulminačního průtoku a jejich výsledky pro Bílou Desnou.

Autor	Vztah pro stanovení kulminačního průtoku Q_b [m³/s]	Rce.	Kulminační průtok Q_b [m³/s]	
			Var. 1	Var. 2
Froehlich (1995)	$Q_b = 0.607V_w^{0.295}h_w^{1.24}$	(1)	359	508
Xu a Zhang (2009)	$Q_b = \sqrt{gV_w^{5/3}}0.133\left(\frac{V_w^{1/3}}{h_w}\right)^{-1.276}e^{(FM+ER)}$ $FM = -1.232; ER = -1.433$	(2)	419	483
Pierce a kol. (2010)	$Q_b = 0.784h_w^{2.668}$	(3)	515	

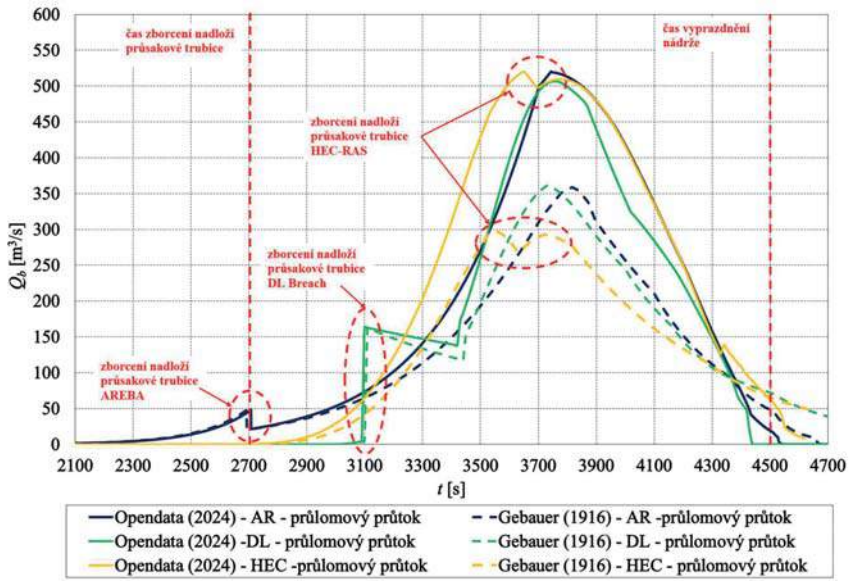
2.3.3 Numerické modely

Za účelem získání tvaru hydrogramu a hodnoty kulminačního průtoku při protržení přehrady Bílá Desná, bylo využito tří numerických modelů, a to Rapid Embankment Breach Assessment (AREBA) (Van Damme a kol., 2012, Kotaška, 2023), DL Breach (Wu, 2016) a HEC-RAS 6.6 s využitím nelineární metody protržení (Brunner, 2024). Podrobný teoretický popis použitých softwarových prostředků je nad rámec tohoto článku a je dostupný v uvedených literárních zdrojích. Zároveň je nutné zdůraznit, že HEC-RAS neobsahuje plnohodnotný model protržení přehrady, jeho primárním účelem je hydraulické modelování záplavového území. Modul pro simulaci protržení hráze v HEC-RAS je koncepčně zjednodušený – uživatel musí sám definovat geometrii průlomového otvoru a také rychlost eroze, což může významně ovlivnit výsledky. Oproti tomu modely, jako jsou DL Breach nebo AREBA, jsou založeny na fyzikálních principech a popisují vývoj protržení komplexněji, včetně dynamiky erozních procesů.

3. VÝSLEDKY A DISKUZE

Numerické simulace průběhu porušení hráze Bílé Desné byly realizovány pro dvě varianty batygrafických křivek (závislosti objemu nádrže na úrovni hladiny) patrné z Obr. 2. Ačkoliv predikované hodnoty kulminačních průtoků nevykazují mezi jednotlivými modely zásadní rozdíly, rozdíly ve tvaru a časovém průběhu odvozených hydrogramů odrážá odlišné metodické a zjednodušující přístupy simulace vývoje prúsakové trubice a mechanismu zborcení jejího nadloží během procesu simulace poruchy sypané hráze v důsledku vnitřní eroze (Obr. 4).

Zatímco počáteční fáze odtoku je dána především objemovými parametry nádrže, následná variace tvaru hydrogramu reflektuje nejistoty v modelování geotechnické nestability, kde klíčovou roli hraje specifický přístup k simulaci zřícení nadloží prúsakové trubice. Model AREBA využívá empirického vztahu (Kotaška, 2023), DL Breach využívá silové analýzy a také uvažuje vliv akumulace zříceného materiálu (Wu, 2013), což v hydrogramu vyvolává dočasnou stagnaci a částečný pokles průtoku (Obr. 4) a HEC-RAS předpokládá stabilitu nadloží až do úrovně koruny hráze (Brunner, 2024).



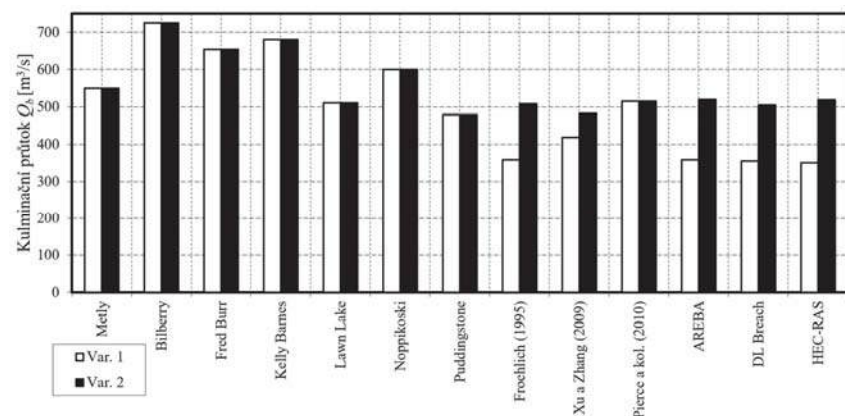
Obrázek 4: Výsledky z numerického modelování hydrogramů Var. 1 a Var. 2 (AR - AREBA, DL - DL Breach, HEC – HEC-RAS)

Jednotlivé numerické modely byly kalibrovány porovnáním simulovaných a dokumentovaných časů během fáze porušení (Tab. 2) s využitím výsledné geometrie průlomového otvoru (Obr. 3). Srovnání výsledků (Tab. 3) vykazuje uspokojivou shodu, a to i s ohledem na možnou nejistotu při stanovení historických údajů. Jelikož chybí dobová data o kulminačním průtoku, představuje tento parametr čistě predikovanou hodnotu. Ostatní parametry, zejména maximální šířka průlomového otvoru B , čas zborcení nadloží prúsakové trubice t_p a čas prázdnění nádrže t_c s dostupnými dobovými záznamy koreluje dobře.

Tabulka 3: Srovnání vypočítaných a zaznamenaných charakteristik protržení

Software a varianty výpočtu	Maximální průlomový průtok Q_b	Maximální šířka průlomového otvoru B	Čas zborcení nadloží prúsakové trubice t_p	Čas prázdnění nádrže t_c
	[m³/s]	[m]	[s]	[s]
AREBA – Var. 1	359	24,9	2692	4688
DL Breach – Var. 1	355	27,5	3110	4699
HEC-RAS – Var. 1	351	30	3630	4630
AREBA – Var. 2	520	28,2	2707	4550
DL Breach – Var. 2	505	28,9	3099	4439
HEC-RAS – Var. 2	518	30	3690	4620
Dobové	–	≈ 30	2700	4500

Grafické porovnání kulminačních průtoků na Obr. 5 potvrzuje, že se výsledky numerického modelování poměrně dobře shodují s empirickými vztahy. U kulminačního průtoku poskytují nejlepší shodu s modely empirická rovnice podle Pierce a kol. (2010).



Obrázek 5: Srovnání výsledků kulminačních průtoků pomocí empirických vztahů a numerických modelů.

4. ZÁVĚR

Tento článek se věnuje havárii přehrady na Bílé Desné z roku 1916, která je považována za největší katastrofu v historii českého přehradního stavitelství. Hlavním mechanismem při protřžení byla vnitřní eroze vyvolaná kombinací nevhodného založení, nedostatečného hutnění zeminy, příliš krátké průsakové cesty a konstrukčních vad odběrného objektu. Samotný proces protřžení byl iniciován vývojem průsakové dráhy, po jejímž zvětšení došlo ke zborcení nadloží průsakové trubice a k následnému přelíti zbývající části tělesa hráze.

Zpětná analýza provedená třemi nezávislými metodami – metodou analogie, empirickými vztahy a numerickým modelováním (software AREBA, DL Breach a HEC-RAS) naznačuje kulminační průtok v rozmezí 351 až 725 m³/s. Za nejrealističtější odhad kulminačního průtoku lze považovat hodnotu přibližně 520 m³/s, predikovanou modelem AREBA pro variantu s vyšším objemem nádrže (Var. 2). Ačkoli se výsledné hydrogramy liší ve tvaru, vykazují dobrou korelaci výsledku maximální šířky průlomového otvoru i v časování kulminace.

PODĚKOVÁNÍ

Tento článek byl připraven za finanční podpory FAST-S-26-9009 Analýza obtékání staveb při povodňových průtocích.

LITERATURA

- [1] AURELI, F., MARANZONI, A., PETACCIA, G. Review of Historical Dam-Break Events and Laboratory Tests on Real Topography for the Validation of Numerical Models, Water 13(14), 2021, 21/1968.
- [2] BERNARD-GARCIA, M., MAHDI, T. F. A Worldwide Historical Dam Failure's Database. Scholars Portal Dataverse, V1, 2020.
- [3] BRUNNER, G., W. HEC-RAS river analysis system: hydraulic reference manual. Version 6.5, Davis, California, 2024, 477 p.
- [4] FROELICH, D., C. Embankment dam breach parameters revisited. Processed 1995 Conference on Water Resources Engineering, ASCE, New York, 1995, str. 887–891.

- [5] GEBAUER, E. Projektová dokumentace realizace stavby od Ing. Gebauera, archiv Povodí Labe, 1916.
- [6] GNENDIGER, E. Der Dambruch der Talsperre and der Weißen Desse am 18 September des Kriegjahres 1916. Gebrüder Stiepel Ges. Reichenberg, 1917 (v němčině).
- [7] KOTAŠKA, S. Porušení sypaných hrází v důsledku vnitřní eroze. Brno, 2023. 270 s. včetně příloh. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta Stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí práce: prof. Jan Jandora.
- [8] OPENDATA. Ortofotografie. Digitální model Reliéfů 5G. ZM. ZABAGED. 2024. <https://ags.cuzk.cz/opendata/> (last access: 20 March 2026)
- [9] PIERCE, M., W.; THORNTON, C., I.; ABT, S., R. Predicting peak outflow from breached embankment dams. Journal of Hydrology Engineering, 155, 2010, str. 338–349.
- [10] PLENKNER, V. Projekte der Isertalsperren von W. Plenkner, Sonderabdruck aus der Rundschau für Technik und Wirtschaft, Heft 4, 1908.
- [11] SMRČEK, A. O bezpečnosti zemních hrází u vodních staveb a příčinách katastrofy na Bílé Desné. Česka matice technická v Praze, 1917, 76 str.
- [12] VAN DAMME, M., MORRIS, M., W., HASSAN, M., A., A., M. A new approach to rapid assessment of breach driven embankment failures. FRMRC II report, 2012, 83 p.
- [13] WU, W. Introduction to DLBreach: a simplified physically-based dam/levee breach model, version 2016.4. Technical Report, Department of Civil and Environmental Engineering, Clarkson University, NY, 2016, p. 119.
- [14] XU, Y., ZHANG, L., M. Breaching parameters for earth and rockfill dams. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 13512, 2009, str. 1957–1970.
- [15] ŽÁK, L.; BLÁHA, J.; JAROUŠEK, J.; CHARVÁTOVÁ, E.; MELANOVÁ, M.; ROZSYPAL, A.; SIMM, O.; VINKLÁT, P., D. Jizerskohorské přehrady a katastrofa na Bílé Desné - protřžená přehrada. Liberec: Desná v Jizerských horách: Knihy 555; Město Desná v Jizerských horách, 2006, 155 str.

Ing. Stanislav Kotaška, Ph.D.

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb
stanislav.kotaska@vut.cz

Ing. Miroslav Špano, Ph.D.

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb
miroslav.spano@vut.cz

prof. Ing. Jaromír Říha, CSc., DSc.

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb
jaromir.riha@vut.cz

STARNUTIE VODNÝCH STAVIEB A JEHO DOPAD NA BEZPEČNOSŤ PRIEHRAD – VÝZNAM PREVENTÍVNYCH INVESTÍCIÍ

M. Kyseláková & D. Haraba

SLOVENSKÝ VODOHOSPODÁRSKY PODNIK, š.p., Slovensko

ABSTRAKT: Banskoštiavnické tajchy predstavujú historický systém vodných nádrží vybudovaný najmä v 18. storočí na zabezpečenie energetických potrieb baníctva v okolí Banskej Štiavnice. Sústava pozostávala z vodných nádrží, zberných jarkov a štôlní, ktoré zabezpečovali akumuláciu a distribúciu vody pre banské stroje. Z pohľadu vodného staviteľstva ide o významné zemné hrádze s historickými konštrukčnými princípmi, ktoré sú dnes vystavené procesom starnutia. Najčastejšie problémy predstavujú degradácia hrádzového telesa, zanášanie nádrží sedimentmi, poškodenie výpustných objektov a znížená kapacita bezpečnostných prepádov. Starnutie vodných stavieb v kombinácii s extrémnymi hydrologickými javmi zvyšuje riziko porúch a ohrozenia bezpečnosti priehrad. Preventívne investície do technického monitoringu, rekonštrukcií a pravidelnej údržby sú preto nevyhnutné pre zachovanie prevádzkovej spoľahlivosti, bezpečnosti vodných diel a ochrany historického vodohospodárskeho dedičstva.

1. ÚVOD

Banskoštiavnické tajchy predstavujú jedinečný historický systém vodných stavieb, ktorého vznik siaha prevažne do 18. storočia. Viaceré z týchto nádrží a hrádz sú dnes staré viac ako 250 rokov, pričom mnohé sú stále funkčné a v prevádzke. Ide o mimoriadne hodnotné technické diela navrhnuté pre hydrologické podmienky a prevádzkové požiadavky svojej doby. Z pohľadu bezpečnosti priehrad predstavuje vysoký vek tajchov významný faktor ovplyvňujúci technický stav hrádz, výpustných objektov, drenážnych systémov a bezpečnostných prepádov. Dlhodobé pôsobenie filtračných procesov, degradácia materiálov, zanášanie sedimentmi a postupné opotrebovanie technologických zariadení zvyšujú nároky na technicko-bezpečnostný dohľad, údržbu a obnovu týchto objektov.

Súčasná klimatická podmienka sa vyznačuje výraznou nerovnomernosťou hydrologických javov, charakteristickou striedaním období intenzívnych zrážok a dlhodobého sucha. Uvedené skutočnosti zvyšujú požiadavky na bezpečnosť vodných stavieb, no zároveň zdôrazňujú ich význam z pohľadu akumulácie a zadržiavania vody v krajine. Problematika starnutia banskoštiavnických tajchov preto poukazuje na potrebu systematických preventívnych investícií nevyhnutných pre zachovanie bezpečnej a spoľahlivej prevádzky historických vodných diel v podmienkach meniacej sa klímy.



Obrázok 1: Vodná stavba Ottergrund (Zdroj: archív SVP, š.p.)

2. HISTORICKÝ A TECHNICKÝ VÝZNAM VYBRANÝCH VODNÝCH STAVIEB

2.1 Vodná stavba Rozgrund

Vodná nádrž Rozgrund patrí medzi najvýznamnejšie historické vodné stavby banskoštiavnickej oblasti. Vybudovaná bola v 18. storočí ako súčasť rozsiahlej sústavy tajchov zabezpečujúcich dostatok vody pre banskú prevádzku. Vzhľadom na svoj technický význam a veľkosť patrí medzi najvýznamnejšie vodohospodárske objekty historickej banskoštiavnickej sústavy.

V súčasnosti zároveň predstavuje významný zdroj pitnej vody pre zásobovanie obyvateľstva, čím jej význam z pohľadu bezpečnosti a spoľahlivej prevádzky výrazne narastá. Dlhodobé pôsobenie filtračných procesov a prirodzené starnutie materiálov sa v minulosti prejavili zvýšenými priesakmi hrádzovým telesom. Z uvedeného dôvodu bolo potrebné realizovať viaceré technické opatrenia zamerané na zachovanie stability hrádze a bezpečnosti prevádzky vodnej stavby.

Významnou rekonštrukciou bola výmena pôvodných dnových výpustov, ktorých technický stav už nezodpovedal požiadavkám bezpečnej a spoľahlivej prevádzky. Realizácia rekonštrukcie si vyžiadala razenie novej štôlne, prostredníctvom ktorej boli osadené nové výpustné potrubia a technologické zariadenia. Súčasťou prác bolo zároveň zväčšenie pôvodného profilu štôlne, čím sa vytvorili vhodnejšie podmienky pre manipuláciu s vodou, kontrolu technického stavu a budúcu údržbu objektu.

Rekonštrukcia dnových výpustov významne zvýšila prevádzkovú bezpečnosť vodnej stavby, spoľahlivosť manipulácie s vodou a prispela k stabilnej prevádzke významného zdroja pitnej vody. V prípade Rozgrundu je osobitne dôležité, že bezpečnosť hrádze priamo súvisí nielen s ochranou územia pod vodnou stavbou, ale aj so zabezpečením vodárenskej funkcie nádrže.



Obrázok 2: Vodná stavba Rozgrund - pôvodný stav (Zdroj: archív SVP, š.p.)



Obrázok 3: Vodná stavba Rozgrund - rekonštrukcia v roku 2004 (Zdroj: archív SVP, š.p.)



Obrázok 4: Vodná stavba Rozgrund - repas technologického zariadenia v roku 2025
(Zdroj: archív SVP, š.p.)

2.2 Vodná stavba Bakomi

Vodná nádrž Bakomi bola vybudovaná v rokoch 1738 až 1740 ako súčasť banskoštiavnickej vodohospodárskej sústavy pre potreby baníctva. Napriek vysokému veku je nádrž stále funkčnou súčasťou vodohospodárskeho systému územia. Na hrádzi sa v minulosti postupne prejavili zvýšené filtračné procesy, najmä v oblasti pravej strany hrádze, čo poukazovalo na zmeny filtračných pomerov v hrádzovom telese.

Významným zásahom do bezpečnosti vodnej stavby bolo vybudovanie bezpečnostného priepadu, ktorého účelom bolo zvýšenie bezpečnosti pri prevádzaní povodňových prietokov. Počas realizácie týchto prác bola v priehradnom telese zistená kaverna, ktorá predstavovala závažný poznatok z hľadiska hodnotenia vnútorného stavu historickej zemnej hrádze. Na základe tohto zistenia boli následne vykonané diagnostické merania zamerané na overenie rozsahu poruchy a posúdenie filtračných pomerov v telese hrádze.

Na elimináciu zistených porúch a zvýšenie filtračnej stability bola realizovaná injektáž telesa hrádze, resp. injektážna clona v korune hrádze. Po vykonaní sanačných prác bolo možné nádrž opätovne bezpečne prevádzkovať pri maximálnej prevádzkovej hladine. Súčasťou rekonštrukčných prác bola aj výmena dnových výpustov vrátane technologického zariadenia, čím sa zvýšila spoľahlivosť manipulácie s vodou a bezpečnosť prevádzky vodnej stavby.

Prípad vodnej stavby Bakomi poukazuje na význam diagnostiky historických hrádží, pretože skryté poruchy v telese hrádze sa môžu prejavíť až počas stavebných zásahov alebo pri zmene prevádzkových a filtračných pomerov. Zistenie kaverny počas budovania bezpečnostného priepadu potvrdilo potrebu odborného posudzovania týchto stavieb nielen na základe vizuálneho stavu, ale aj prostredníctvom meraní a cielenej diagnostiky.



Obrázok 5: Vodná stavba Bakomi - výmena pôvodného systému na manipuláciu s dnovými výpustmi, 2006 (Zdroj: archív SVP, š.p.)



Obrázok 6: Vodná stavba Bakomi - pôvodné a nové dnové uzávery vodnej stavby po rekonštrukcii v roku 2006 (Zdroj: archív SVP, š.p.)



Obrázok 7: Vodná stavba Bakomi – prejavy priesakov v telese hrádze a realizácia injektážnych prác zameraných na zvýšenie filtračnej stability hrádzového telesa, 2007. (Zdroj: archív SVP, š.p.)

2.3 Vodná stavba Veľká Kolpašská

Vodná nádrž Veľká Kolpašská bola vybudovaná v roku 1730 ako súčasť banskoštiavnickej vodohospodárskej sústavy. Vplyvom dlhodobého pôsobenia vody, starnutia hrádzového telesa a opotrebovania funkčných objektov sa na vodnej stavbe prejavili poruchy súvisiace najmä s filtračnými procesmi, technickým stavom výpustných zariadení a stabilitou návodného svahu. Z dôvodu zabezpečenia spoľahlivej manipulácie s vodou bola realizovaná rekonštrukcia dnových výpustov vrátane nadväzujúceho technologického systému. Obnova výpustných zariadení mala zásadný význam, keďže dnové výpusty predstavujú jeden zo základných bezpečnostných a prevádzkových prvkov vodnej stavby. Súčasťou rekonštrukčných prác bolo aj opevňovanie návodného svahu, ktorého cieľom bolo zvýšenie odolnosti hrádzového telesa voči účinkom vlnobitia, kolísania hladiny a povrchovej erózie.

Na vzdušnej strane hrádze bol vybudovaný drenážny systém určený na zachytenie a bezpečné odvedenie presakujúcich vôd. Po jeho realizácii sa však prejavilo podmáčanie pozemku pod vodnou stavbou, čo poukázalo na potrebu ďalšieho spresnenia a doplnenia odvodňovacieho systému. Následne bolo potrebné realizovať ďalšie oddrenážovanie formou drenážnych rebier, ktorými sa zabezpečilo účinnejšie zachytenie a odvedenie vôd z podhrádzového priestoru. Skúsenosť z vodnej stavby Veľká Kolpašská potvrdzuje, že pri historických zemných hrádzach je potrebné vnímať sanačné opatrenia ako súčasť postupného procesu. Po realizácii rekonštrukcie je nevyhnutné pokračovať v technicko-bezpečnostnom dohľade a overovať účinnosť navrhnutých opatrení v reálnych prevádzkových podmienkach. Tento príklad zároveň ukazuje, že zmena filtračných pomerov po zásahu do hrádzového telesa alebo jeho okolia môže vyvolať potrebu ďalších doplnkových opatrení.



Obrázok 8: Vodná stavba Veľká Kolpašská - pôvodné dnové výpusty vodnej stavby (Zdroj: archív SVP, š.p.)



Obrázok 9: Vodná stavba Veľká Kolpašská - rekonštrukcia z roku 2008 (Zdroj: archív SVP, š.p.)



Obrázok 10: Vodná stavba Veľká Kolpašská - rekonštrukčné práce 2007–2008 - úprava a opevňovanie návodného svahu hrádze vrátane obnovy stabilizačných a ochranných prvkov (Zdroj: archív SVP, š.p.)



Obrázok 11: Vodná stavba Veľká Kolpašská - podhrádzový priestor s prejavmi podmáčania územia a následne upravenou plochou po realizácii doplnkových drenážnych opatrení, 2021 (Zdroj: archív SVP, š.p.)

2.4 Vodná stavba Ottergrund

Vodná nádrž Ottergrund bola vybudovaná v 18. storočí ako súčasť banskoštiavnickej vodohospodárskej sústavy na akumuláciu vody pre banské účely. Napriek veku viac ako 250 rokov je vodná stavba stále významným prvkom zadržiavania vody v krajine. Závažným technickým problémom sa stala nefunkčnosť dnového výpustu, ktorá výrazne obmedzila možnosti bezpečnej manipulácie s vodou v nádrži. Z dôvodu zvýšenia bezpečnosti bol prebudovaný bezpečnostný prepad a dobudovaný sklz na bezpečné prevedenie povodňových vôd. Realizované opatrenia zvýšili bezpečnosť vodnej stavby pri extrémnych hydrologických situáciách. V súčasnosti je však nevyhnutné realizovať rekonštrukciu dnového výpustu a obnoviť jeho plnú funkčnosť.

Potreba ďalšej rekonštrukcie dnového výpustu poukazuje na nevyhnutnosť kontinuálnej údržby historických vodných stavieb v podmienkach rastúcich hydrologických extrémov.



Obrázok 12: Vodná stavba Ottergrund - stav pred vybudovaním bezpečnostného priepadu (Zdroj: archív SVP, š.p.)



Obrázok 13: Vodná stavba Ottergrund - budovanie bezpečnostného priepadu, 2009 (Zdroj: archív SVP, š.p.)

2.5 Vodná stavba Moderštolňa

Vodná nádrž Moderštolňa bola vybudovaná v 18. storočí ako súčasť banskoštiavnickej vodohospodárskej sústavy pre potreby baníctva. V súčasnosti plní najmä funkciu akumulácie vody a stabilizácie vodného režimu územia. V minulosti došlo bývalým vlastníkom k prekopeniu hrádze, čím bolo narušené pôvodné technické riešenie a znížená bezpečnosť vodnej stavby. Z dôvodu obnovenia funkčnosti boli následne realizované technické opatrenia zahŕňajúce vybudovanie nového mnícha, rekonštrukciu dnových výpustov a vybudovanie bezpečnostného prepadu. Realizované opatrenia obnovili základné funkcie vodnej stavby a zvýšili bezpečnosť jej prevádzky.

Obnovenie základných funkčných objektov vodnej stavby preukázalo význam preventívnych technických opatrení pri zabezpečení bezpečnej prevádzky historických tajchov.



Obrázok 14: Vodná stavba Moderštolňa – porovnanie nefunkčnej vodnej stavby s prekopanou hrádzou a stavu po rekonštrukcii (Zdroj: archív SVP, š.p.)

2.6 Vodná stavba Halčiansky tajch

Vodná stavba Halčiansky tajch predstavuje príklad historickej vodnej stavby, pri ktorej technický stav funkčných objektov vyžaduje prípravu opravných a rekonštrukčných prác. Z hľadiska bezpečnej prevádzky je limitujúcim faktorom najmä nefunkčný dnový výpust, ako aj nevyhovujúci stav bezpečnostného priepadu a sklzu, ktoré majú zabezpečovať bezpečné prevedenie povodňových prietokov. V roku 2022 boli na vodnej stavbe vybudované piezometrické sondy na sledovanie filtračných pomerov hrádzového telesa. Z bezpečnostných dôvodov je v súčasnosti hladina vody v nádrži trvalo znížená pomocou násosky. Plánovaná oprava je zameraná na obnovenie funkčnosti dnového výpustu, úpravu bezpečnostného priepadu a sklzu, ako aj na odčistenie sedimentov z nádrže s cieľom zvýšiť prevádzkovú spoľahlivosť a bezpečnosť vodnej stavby.



Obrázok 15: Vodná stavba Halčiansky tajch - súčasný stav vodnej stavby

3. NAJČASTEJŠIE PORUCHY HISTORICKÝCH VODNÝCH STAVIEB A PREVENTÍVNE OPATRENIA

Historické vodné stavby banskoštiavnickej oblasti sú vzhľadom na svoj vek dlhodobo vystavené pôsobeniu filtračných procesov, degradácii materiálov a zvýšenému hydrologickému zaťaženiu. Najčastejším prejavom degradácie zemných hrádzí sú priesaky spôsobené starnutím tesniacich prvkov a dlhodobým pôsobením vody na hrádzové teleso. Následkom býva vznik filtračných ciest, zamokrenie vzdušného svahu a podmáčanie podhrádzového priestoru, čo môže viesť k zníženiu stability hrádze a vzniku vnútornej erózie.

Významným problémom je aj degradácia dnových výpustov a technologických zariadení. Dlhodobá prevádzka spôsobuje koróziu potrubí, poškodenie uzáverov a opotrebenie ovládacích mechanizmov, čím sa znižuje spoľahlivosť manipulácie s vodou a bezpečnosť prevádzky vodných diel.

Zvyšujúce sa hydrologické zaťaženie spôsobené intenzívnymi privalovými zrážkami zároveň kladie vyššie nároky na bezpečnostné prepady a odvedenie povodňových prietokov. Problémom historických objektov býva najmä nedostatočná kapacita prepádov, poškodenie opevnení a zanášanie objektov sedimentmi.

Súčasná klimatické podmienky sa zároveň vyznačujú výraznou nerovnomernosťou hydrologických javov, charakteristickou striedaním období extrémnych zrážok a dlhodobého sucha. Pri minimálnych až absentujúcich prítokoch do nádrží nadobúdajú historické tajchy významnú retenčnú funkciu a predstavujú významný prvok zadržiavania vody v krajine.

Z uvedených dôvodov je nevyhnutné realizovať pravidelný technicko-bezpečnostný dohľad a preventívne opatrenia zamerané na sanáciu priesakov, rekonštrukciu výpustných zariadení, obnovu bezpečnostných prepádov a stabilizáciu hrádzových telies.

Pri starších zemných hrádzach je potrebné počítať aj so sekundárnymi prejavmi po realizácii sanačných opatrení. Zmena filtračných pomerov v hrádzovom telese alebo v podloží môže viesť k novým prejavom zamokrenia v podhrádzovom priestore, prípadne k potrebe doplnenia drenážnych prvkov. Účinnosť rekonštrukčných a sanačných zásahov preto musí byť vždy overovaná následným technicko-bezpečnostným dohľadom, kontrolnými meraniami a pravidelnými obhliadkami.

4. ZÁVER

Historické vodné stavby banskoštiavnickej oblasti predstavujú aj v súčasnosti významný prvok vodného hospodárstva, ochrany územia a stability krajiny. Napriek tomu, že mnohé z týchto nádrží prekročili svoju pôvodne uvažovanú životnosť o viac ako jedno storočie, pri systematickej údržbe, pravidelnom technicko-bezpečnostnom dohľade a včasných technických zásahoch sú naďalej schopné bezpečnej a spoľahlivej prevádzky.

Skúsenosti z vybraných vodných stavieb ukazujú, že rozhodujúcim faktorom bezpečnosti historických hrádzí nie je samotný vek objektu, ale úroveň poznania jeho technického stavu, kvalita údržby a schopnosť včas reagovať na zistené poruchy. Priesaky, poruchy dnových výpustov, degradácia opevnení, nedostatočná kapacita bezpečnostných prepádov alebo zmeny filtračných pomerov v podhrádzovom priestore predstavujú procesy, ktoré sa pri vodných stavbách po dobe životnosti prirodzene zintenzívňujú.

Významná etapa rekonštrukcií a technických opráv bola realizovaná najmä v období rokov 2004 až 2010. Od realizácie viacerých zásadných sanačných opatrení však uplynulo takmer dvadsať rokov a technický stav viacerých objektov opätovne vyžaduje preventívne opravy, rekonštrukcie a obnovu funkčných prvkov. Mimoriadnu pozornosť je potrebné venovať najmä

dnovým výpustom, bezpečnostným priepustom, drenážnym systémom a stabilitu hrádzových telies.

V podmienkach meniacej sa klímy, charakteristickej striedaním období sucha a extrémnych zrážkových udalostí, nadobúdajú banskoštiavnickej tajchy nový význam. Okrem kultúrno-historickej hodnoty predstavujú dôležitý prvok akumulácie a zadržiavania vody v krajine. Ich bezpečná prevádzka preto nie je iba otázkou ochrany technického dedičstva, ale aj súčasťou adaptácie vodného hospodárstva na meniace sa hydrologické podmienky.

Financovanie preventívnych opráv a pravidelnej údržby vodných stavieb po dobe životnosti je zásadnou podmienkou ich ďalšieho fungovania. Odkladanie nevyhnutných zásahov vedie k postupnému zvyšovaniu technického rizika, rastu budúcich nákladov a znižovaniu prevádzkovej spoľahlivosti. Naopak, včasné investície do diagnostiky, údržby, sanácií a rekonštrukcií priamo zvyšujú bezpečnosť vodných stavieb, predlžujú ich životnosť a umožňujú ich ďalšie využívanie v prospech spoločnosti.

Dlhodobé zachovanie banskoštiavnických tajchov preto vyžaduje systematický prístup založený na technicko-bezpečnostnom dohľade, pravidelnej údržbe a stabilnom financovaní preventívnych opatrení. Len tak bude možné zabezpečiť, aby tieto historické vodné stavby zostali aj v budúcnosti bezpečnými, funkčnými a vodo hospodársky významnými dielami.

LITERATÚRA

- [1] LICHNER, M. a kol. Banskštiavnickej Tajchy, 1. vyd. Banskštiavnica: Štúdio Harmony, 1997, ISBN: 80-967757-0-7.

Ing. Michaela Kyseláková

SLOVENSKÝ VODOHOSPODÁRSKY PODNIK, š.p. Slovensko

Michaela.Kyselakova2@svp.sk

Ing. Daniel Haraba

SLOVENSKÝ VODOHOSPODÁRSKY PODNIK, š.p. Slovensko

Daniel.Haraba@svp.sk

METODIKA MĚŘENÍ POSUNŮ PŘESNOU TOTÁLNÍ STANICÍ A JEJÍ APLIKACE PŘI VÝKONU TBD

T. Macháček

VODNÍ DÍLA – TBD, a.s., Praha, Česká republika

ABSTRAKT: Tento příspěvek se věnuje evoluci měřických metod geodetického měření posunů a deformací vodních děl (VD). S vývojem výpočetní techniky a příchodem motorizovaných totálních stanic s technologií automatického cílení (ATR) se rozšířily možnosti terestrických měření. Pro potřeby geodetických měření při výkonu technickobezpečnostního dohledu (TBD) jsme vytvořili metodiku polárního měření přesnou totální stanicí s ATR včetně následného zpracování naměřených dat robustním vyrovnáním prostorové geodetické sítě. Sledována je tak nejen stabilita vztažné sítě, ale i vlastní posuny VD a jeho objektů. V příspěvku je zhodnoceno více než desetileté testování metodiky a postupné zavádění do praxe.

1. ÚVOD

Geodetické měření posunů a deformací je jednou ze základních činností při výkonu TBD nad vodními díly. Z výsledků periodických etapových měření je možné ověřit chování tělesa hráze a objektů VD a dosažené empirické posuny porovnat s mezními odchylkami.

Naši snahou bylo nahradit dosavadní konzervativní metody měření řešením, které s minimálními náklady dokáže poskytnout přesnější a stabilnější výsledky.

2. STÁVAJÍCÍ METODY MĚŘENÍ A POUŽÍVANÉ PŘÍSTROJE

Geodetické měření posunů je z hlediska použitých metod a přístrojů rozděleno na oddělené určování vertikálních a horizontálních posunů.

Pro měření svislých posunů se jako základní používá metoda velmi přesné nivelace (VPN). Jedná se o poměrně jednoduché měření, které ale poskytuje při zachování podmínek geometrické nivelace ze středu stále bezkonkurenční přesnost. Jednotková směrodatná odchylka obousměrně měřeného 1 km dlouhého nivelačního pořadu činí v případě námi používaného vybavení (digitální nivelační přístroj Trimble DiNi 03, nedělené invarové latě Nedo s čárovým kódem) $\sigma_H=0,3$ mm.

Pro měření vodorovných posunů se v minulosti používaly přesné teodolity (Wild T3), případně první přesné elektrooptické dálkoměry (Kern Mekometr ME3000). Nyní se pro tato měření používají přesné totální stanice, které umožňují současné měření vodorovných a zenitových úhlů a šikmých délek.



Obrázek 1: Stoletý vývoj techniky v podání firem Wild a Leica

Všechny tyto stroje, včetně teodolitu Wild T3 z roku 1925, se honosí stejnou úhlovou přesností $\sigma_\phi=0,15$ [mgon] a naše firma touto ucelenou evoluční řadou disponuje.

Dnešní totální stanice samozřejmě kromě měření délek umožňují i automatickou registraci dat a kompenzaci přístrojových chyb, takže práce s nimi je nepoměrně snazší, ale přesnost měření zůstává stejná. Obdobné je to i s přesností měřených délek, kdy se opět historický Kern Mekometr ME3000 z roku 1973 přesností vyrovná současným totálními stanicím.

2.1 SÍŤ VZTAŽNÝCH BODŮ

Vztažná síť je tvořena body, stabilizovanými mimo zónu předpokládaných deformací, které slouží jako stanoviště pro vlastní měření sledovaného objektu. Tyto body mají většinou těžkou stabilizaci (železobetonový pilíř) se zhlavím, které je osazeno zařízením pro nucenou centraci. V sítích malého rozsahu bývá stabilita stanoviště kontrolována měřením orientačních a zajišťovacích bodů. Rozsáhlejší sítě mají stanoviště pro měření pozorovaných bodů doplněna dalšími vztažnými body, které slouží pro optimalizaci tvaru sítě pro zvýšení přesnosti a stability výpočtu. Tyto sítě se proměňují směrově i délkově a naměřená data jsou vyrovnána metodou nejmenších čtverců (MNČ) formou rovinné (2D) nebo prostorové (3D) geodetické sítě.

2.2 POZOROVANÉ BODY

Pozorované body jsou osazeny ve sledované lokalitě a reprezentují měřený objekt. Etapovým měřením je možné určit posuny jednotlivých bodů a následně hodnotit deformace sledovaného objektu. V praxi byla ještě nedávno většina měření posunů prováděna konzervativními metodami, které odpovídaly úrovni měřicí a výpočetní techniky v době výstavby jednotlivých VD. Jednalo se zejména o metody záměrné přímky, přímé měření délek a protínání z úhlů.

Výsledkem těchto měření jsou převážně jednorozměrné posuny a zjištěny jsou tak pouze jednotlivé dílčí složky vektoru posunu, což limituje další interpretaci dosažených výsledků.

2.3 INOVACE METODY MĚŘENÍ POSUNŮ

Námi navržená a odzkoušená metoda měření posunů nahrazuje dosavadní postupy polárním zaměřením geodetické sítě přesnou totální stanicí s využitím ATR. Ze stanoviště jsou v řadách a skupinách měřeny vodorovné a zenitové úhly a šikmé délky, které jsou zpracovány vyrovnáním geodetické sítě a dosažená přesnost je vyšší než u stávajících metod.

Určena je tak současně polohová i výšková složka vektoru posunu z homogenních dat. V některých případech tak může být nahrazena metoda VPN pro měření svislých posunů. Limitujícím faktorem jejich přesnosti je vliv vertikální refrakce, který není možné měřickým postupem ani početně zcela eliminovat.

Vyrovnání sítě je možné provádět v běžných dostupných geodetických programech. Nám se osvědčila aplikace EasyNet používající nástroje robustní analýzy.

3. METODIKA MĚŘENÍ A ZPRACOVÁNÍ ATR MĚŘENÍ

3.1 PŘÍPRAVA ZÁJMOVÉ LOKALITY PRO MĚŘENÍ

Pro ATR je nezbytné měřené body osadit odraznými hranoly. Body vztažné sítě se osazují trojnožkami (upravenými pro použitý systém nucené centrace) s držákem hranolu a vlastními odrazným hranolem. Nutné je dbát na kvalitu a přesnost použitého vybavení (hystereze trojnožek, vlastnosti hranolů). Pozorované body jsou signalizovány minihranoly, upravenými pro dočasnou nebo trvalou signalizaci bodů. Přesnost ATR cílení závisí i na dalších parametrech (konstanty hranolů, antireflexní vrstva, natočení hranolů na cíl apod). Pro měření posunů není vhodné použití 360° hranolů a odrazných štítků, přesnost a spolehlivost cílení je nedostatečná.



Obrázek 2: Nucená centrace před zálivkou, instalace fixních minihranolů a hranol GMP101 s adaptérem pro zděř 12 mm

3.2 MĚŘENÍ TOTÁLNÍ STANICÍ S VYUŽITÍM ATR CÍLENÍ

Systém ATR umožňuje automatické zacílení na střed odrazného hranolu. [1] Pro využití funkce ATR je nutné, aby se odrazný hranol nacházel v zorném poli dalekohledu. Je-li v zorném poli dalekohledu více hranolů, představuje to zejména pro starší přístroje problém s rozpoznáním správného cíle. Pro měření je nutné disponovat motorizovanou totální stanicí s ATR. Dostupné přesné totální stanice mají velmi podobné parametry přesnosti měřených vodorovných směrů, zenitových úhlů a délek. Pro stroje nejvyšší přesnosti je standardem úhlová přesnost $\sigma_\varphi = 0,15$ [mgon] a délková přesnost min. $\sigma_s = 1 + 1 \text{ ppm}$ [mm]. Větší rozdíly mezi stroji jsou v užitečných vlastnostech systému ATR a programovém vybavení.

Automatické cílení mohou zkomplikovat překážky v záměře, nejčastěji vegetace. Nižší přesnost úhlového cílení může způsobit i znečištění odrazných hranolů, kapky vody nebo sněh. V praxi byl tento faktor patrný při měření v podzemí se 100% vlhkostí a velkým gradientem teplot, kdy docházelo ke kondenzaci vody na čelní ploše hranolů. Dalším rizikovým faktorem je nevhodné umístění odrazných hranolů. Pokud je více hranolů příliš blízko sebe, nedokáže ATR odfiltrovat rušivé signály od okolních hranolů a k zacílení nedojde. Tomu je možné předejít volbou vhodné konfigurace bodů nebo problematické body měřit střídavě ve více osnovách tak, aby se zvětšil potřebný příčný odstup mezi hranoly. Otestovali jsme následující totální stanice.

3.2.1 Totální stanice Leica TS30/TM30, TS50/TM50 a TS60/TM60

Jedná se o tři poslední generace přesných totálních stanic pro měření, resp. monitoring od firmy Leica. Po první generaci ATR stroje Leica TCA2003 nastal významný technologický posun se stroji Leica TS30/TM30, kdy byla vylepšena motorizace, parametry a přesnost dálkoměru a zejména vlastnosti automatického cílení. Pro potřeby testování navrhované metodiky jsme v roce 2014 pořídili totální stanice Leica TM30, která disponuje využitelným rozsahem ATR 2 až 3000 m a dostatečnou schopností rozeznat rušivý odraz od jiných hranolů při cílení. [2] Rychlost měření, daná použitým ATR i motorizací s piezoservy, je dostatečná a spolehlivost cílení za standardních podmínek bezchybná.

Následující generace přesných totálních stanic Leica se liší hlavně jiným operačním systémem. V roce 2022 jsme pořídili totální stanice Leica TM60, který má shodnou přesnost a obdobné parametry jako starší model TM30. Při praktickém využití se oba stroje osvědčily.

3.2.2 Totální stanice Trimble S9 HP

V rámci spolupráce s Energo – Pro Georgia jsme si při měření gruzínských přehrad Lajanuri a Shaori v praxi vyzkoušeli stroj Trimble S9 HP.

Přesnost měření je obdobná jako u strojů Leica, odlišnosti jsou v jiném strukturování systému ATR. Ten je rozdělen na přesnější FineLock (ve verzi Long Range s rozsahem měřených délek 20 až 2 500 m) a Autolock s o něco nižší přesností cílení.



Obrázek 3: Totální stanice Leica TM30 (VD Fláje), Leica TM60 (VD Vrchlice), Trimble S9 HP (VD Shaori, Gruzie)

3.3 VYROVNÁNÍ GEODETICKÉ SÍTĚ METODOU NEJMENŠÍCH ČTVERCŮ

Velké množství měřených dat vyžaduje vhodné nástroje pro jejich analýzu a výpočetní zpracování a co nejvíce automatizovaný proces zpracování od vlastního měření až po výslednou interpretaci vypočtených posunů.

Výsledkem zpracování etapových měření jsou posuny pozorovaných bodů, které reprezentují chování a případné deformace sledovaných objektů. Pokud je veličin v síti větší než nutný počet, lze při vyrovnání sítě nadbytečná měření využít pro kontrolu a zvýšení přesnosti hledaných posunů. Pro vlastní výpočet je použito vyrovnání geodetické sítě MNC a výsledkem jsou vyrovnané hodnoty měřených veličin i výsledných souřadnic. Při testování navrhované metody byla měřená data vyrovnávána v různých programech, pro výpočetní zpracování dat se nám osvědčila aplikace EasyNet.

3.3.1 Aplikace EasyNet pro robustní vyrovnání geodetických sítí

Program slouží pro zpracování a vyhodnocení velmi přesných měření inženýrské geodézie, konkrétně polárních terestrických veličin (šikmých délek, vodorovných směrů a zenitových úhlů), měřených v řadách a skupinách. To probíhá vyrovnáním prostorové geodetické sítě MNC. Významnou předností aplikace je automatická detekce a vyloučení odlehklých měření, založené na robustní analýze, která je použita i pro další výpočetní operace (Helmertova transformace) a umožňuje např. testování stability bodů vztažné sítě. [4]

Dalším unikátním nástrojem je propracovaná apriorní analýza měřených veličin, která umožňuje podrobný rozbor všech vstupních dat před vlastním vyrovnáním.

Hodně úsilí jsme věnovali volbě parametrů pro robustní vyrovnání. Jeho výhoda se projevila, pokud je soubor měřených dat infikovaný hrubými nebo systematickými chybami. V praxi se často jedná například o vliv refrakce, která je jinak obtížně rozpoznatelná. V případě dostatečné homogenity a přesnosti měřených veličin je vliv robustní analýzy při vyrovnání na výsledné souřadnice i jejich přesnost malý.

3.4 VÝPOČET A STATISTICKÉ HODNOCENÍ POSUNŮ

Pro sledování posunů a deformací jsou nositelem hledané informace vektory mezietapových posunů, tj. změna polohy (v rovině nebo prostoru) mezi posuzovanou etapou a etapou předchozí, resp. etapou základní, která reprezentuje výchozí stav. Výstupem z vyrovnání každé etapy příslušné geodetické sítě jsou souřadnice bodů a kovarianční matice, popisující směrodatné odchylky jednotlivých souřadnic a jejich vzájemné závislosti.

Navrhovaná metodika využívá pro hodnocení prokazatelnosti posunů mezní odchylky. Postup lze aplikovat v rovině i prostoru, případně je možné statisticky hodnotit jednotlivé souřadnicové rozdíly (souřadnicový systém bývá lokální a osy X a Y se volí v ose hráze tak, aby reprezentovaly stěžejní směry složek posunů po toku a na tok kolmé).

Statistické hodnocení je možné doplnit grafickým zobrazením přehledky měřené sítě včetně chybových nebo konfidenčních elips pro dokladování přesnosti jednotlivých vyrovnaných bodů sítě a vykreslením vektorů posunů. Případná prokazatelnost jednotlivých posunů může být vyjádřena např. odlišnou barvou.

3.4.1 Aplikace EasyNet Analyser pro porovnání etap a statistické posouzení posunů

Pro statistické hodnocení používáme program EasyNet Analyser, který dokáže exaktně posoudit posuny dvou etap stejné geodetické sítě, včetně elementární kresby s vektory posunů. Jedná se o nástroj, který je vhodný pro zhodnocení mezeitapových posunů a pro získání podkladů pro finální grafické vyjádření posunů formou vektorů.

4. VYUŽITÍ METODIKY PŘI VÝKONU TBD

Od roku 2014 je postupně tato metodika zaváděna do praxe. Mezi první lokality patří VD Josefův Důl, VD Římov nebo VD Nechranice, kde byly pro různě velké geodetické sítě otestovány možnosti a limity nového postupu měření. Protože testování splnilo naše očekávání, je postupně tato metoda zaváděna i na ostatní VD.

Nejvíce se benefity síťového řešení projevují v lokalitách, kde nejsou body vztažné sítě stabilní. Příkladem mohou být v nedávné době rekonstruované hráze VD Jezeří a VD Harcov. Na obou dílech byla nádrž po dobu rekonstrukce vyprázdněna a dlouhodobá změna zatížení okolí hráze se projevila v nestabilitě některých stanovišek. V případě VD Harcov bylo již při projektové přípravě počítáno s inovací měření a stanoviška B a E pro měření pozorovaných bodů na vzdušném líci hráze byla zřízena pomocí boční nucené centrality na kamenných pilířích na obou koncích hráze, které mají charakter pozorovaných bodů. Díky síťovému řešení bylo možné excentricitu stanovišek početně eliminovat a obě geodetické sítě fixovat pomocí zbývajících stabilních stanovišek a orientačních a zajišťovacích bodů.

V další části příspěvku je aplikace metodiky podrobněji prezentována na příkladu VD Slapy.

4.1 VD SLAPY

Geodetické sledování posunů a deformací VD Slapy bylo zejména v době výstavby a ověřovacího provozu velmi zajímavě řešeno a mohlo by být předmětem dalšího samostatného příspěvku. Svislé posuny byly měřeny tradičně metodou VPN, část nivelačních pořadů procházela vnitřkem hráze, a kromě propojení revizních chodeb se přibližně v obdobném rozsahu měří i dnes. Měření vodorovných posunů se v čase vyvíjelo podle potřeb TBD.

4.1.1 Dosavadní měření vodorovných posunů na VD Slapy

Vodorovné posuny byly měřeny na povrchu ze stanovišek rozsáhlé vztažné sítě devíti pilířů s nucenou centralitou, doplněných o zajišťovací body na skalních výchozech. Ze stanovišek byly trigonometricky určovány posuny pozorovaných bodů, které byly osazeny ve čtyřech úrovních na vzdušném líci hráze. V úrovni koruny hráze byla vztažná síť doplněna dalšími šesti stanovišky pro sledování pozorovaných bodů na koruně hráze metodou záměrné přímky. Toto měření bylo doplněno polygonovým pořadem uvnitř hráze, který vedl skrz čtyři úrovně revizních chodeb. Všechny body byly stabilizovány nucenou centralitou a ze čtyřech stanovišek bylo možné po otevření poklopů na vzdušném líci hráze propojit měření uvnitř hráze s venkovní sítí. S ohledem na stabilní chování hráze a pracnost měření bylo postupně měření vodorovných posunů redukováno na sledování posunů ve směru toku na koruně hráze metodou záměrné přímky, které bylo prováděno 2× ročně na konci zimního a letního období.

4.1.2 Projekt inovace měření vodorovných posunů na VD Slapy

S ohledem na záměr rekonstrukce mostovky hráze VD Slapy byla v roce 2019 v rámci řešení diplomové práce Markéty Kubelové [3] provedena rekognoskace původní vztažné sítě a byly zaměřeny dvě testovací etapy. Původní pozorované body byly zničeny, ale pilíře stanovišek

vztažné sítě se dochovaly v dobrém stavu. S ohledem na konfiguraci sítě a stav vegetace byly původní body P2, P6, P7 a P8 doplněny o stanoviško M na skále u Ferdinandova sloupu v levém podhráží, který zde byl stabilizován pro potřeby výzkumu dálkoměru Kern Mekometr. V rámci testovacího měření byly zaměřeny i body v horní revizní chodbě včetně unikátního propojení s venkovní vztažnou sítí. Propojení sítě se ukázalo z hlediska dosažitelné přesnosti problematické, ale práce posloužila pro vypracování finálního projektu měření vodorovných posunů na VD Slapy.



Obrázek 4: Leica TM30 na stanovisku M, únor 2025

Pro měření posunů byla zvolena metoda polárního zaměření pozorovaných bodů na vzdušném líci ze stanoviška M, ze kterého je zaručena viditelnost na téměř celou hráz. Stabilizace pilíře byla upravena o opláštění a novou nucenou centralitu místo původní pro systém Kern. Pro bezpečný přístup i v zimním období byla na skálu vystrojena zajištěná cesta. Původní pilíře se na základě testovacího měření z roku 2019 jeví jako stabilní a byly doplněny o další původní stanoviško P5. Pro kontrolu stability vztažné sítě byly formou fixních minihranolů zřízeny zajišťovací body Z1 až Z4 na skalních výchozech pod hrází VD.



Obrázek 5: Původní terč pro záměrnou přímku a fixní minihranoly na bodech Z1 a B6

Pozorované kontrolní body byly osazeny na vzdušném líci ve dvou úrovních. Pod mostovkou mimo zónu předpokládané rekonstrukce byly za pomoci lanového přístupu osazeny fixní minihranoly A1 až A8 na nerezových konzolách včetně ochranných stříšek. Analogicky byly osazeny i body na spodní úrovni, na konci dělicích zdí přelivů, označené jako B2 až B7. V rámci instalací byla provedena údržba nucených centralit a byly prořezány záměry od náletové vegetace.

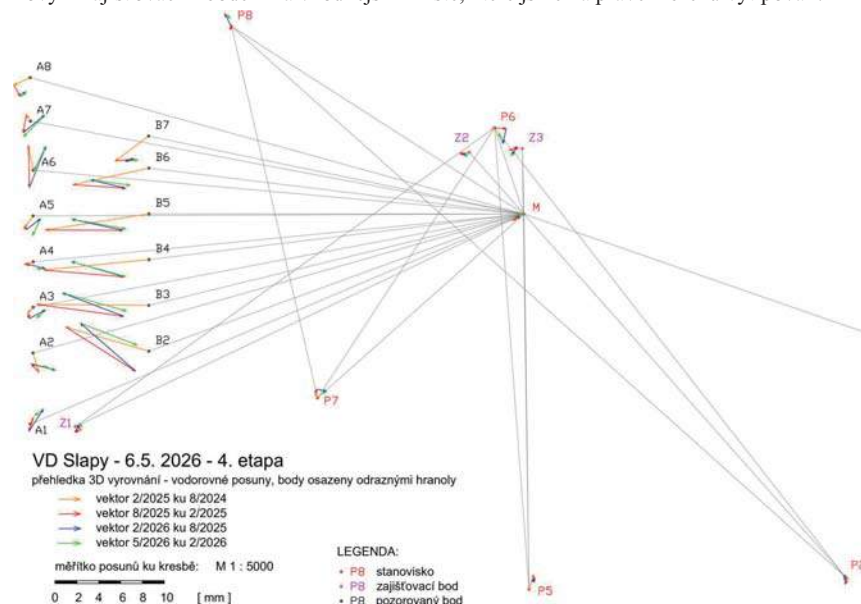
4.1.3 Měření dle nové metodiky, etapy 8/2024 až 5/2026

19. 8. 2024 bylo provedeno základní měření. Byla proměřena vztážná síť včetně zajišťovacích a pozorovaných bodů. Dosaženou přesnost vodorovných posunů lze zhodnotit průměrnou souřadnicovou odchylkou $\sigma_{xy}=0,3$ mm. Mezní rozdíly pro statistické prokázání posunů se pohybují do $\Delta_{met}=\pm 1,0$ mm ve směru toku a do $\Delta_{met}=\pm 1,4$ mm ve směru na tok kolmém.

Zaměření dalších etap bylo provedeno vždy v tradičním termínu únor/srpen, aby byly zastíženy očekávané maximální sezónní pohyby hráze v důsledku teplotní roztažnosti. V termínu 2/2026 bylo provedeno poslední měření před začátkem rekonstrukce mostovky. Do této etapy byla vždy proměřena kompletní síť vztážných bodů ve všech viditelných kombinacích. V květnu 5/2026 byla zaměřena vložená etapa při probíhající rekonstrukci. S ohledem na dosavadní stabilitu bodů vztážné sítě a díky omezené dostupnosti bodů na pravém břehu (výluka provozu na koruně hráze) byla proměřena pouze stanoviště M, P6 až P8 a zajišťovací body Z1 až Z4.

4.1.4 Hodnocení výsledků z dosud zaměřených etap dle nové metodiky

Původní charakteristiky přesnosti, určené při zpracování základní etapy byly v dalších etapách potvrzeny. Body vztážné sítě vykazují mírné a neprokazatelné pohyby a jejich stabilita není zpochybněna. Výjimkou je zajišťovací bod Z4, který vykazuje v etapě 5/2026 prokazatelný celkový posun +2,5 mm po toku a -4,0 mm k levému břehu. Bod byl stabilizován v nepřístupném terénu na navětralém skalním výchozu. V případě nutnosti bude nahrazen novým zajišťovacím bodem na vhodnějším místě, které jsme na pravém břehu vytipovali.



Obrázek 6: Přehledka sítě VD Slapy včetně vektorů posunů.

Pozorované body na vzdušném líci vykazují ve všech dosavadních etapách obdobné chování. Posuny horní řady bodů A1 až A8 jsou ve směru toku mírné a většinou i statisticky neprokazatelné. Naznačeny jsou očekávané sezónní pohyby proti toku v létě a po toku v zimě, ale prokazatelné jsou pouze mezeitapové posuny po toku pro body A1 až A7 v etapě 2/2026

max. +2,2 mm pro bod A2, které jsou částečně kompenzovány opačnými pohyby proti toku v následující jarní etapě 5/2026. Daleko větších posunů dosahují body spodní řady B. Zde jsou sezónní posuny cca o řád větší max. -10,2 mm pro bod B3 mezi etapami 2/2025 ku 8/2024.

Posuny kolmé na tok jsou o něco menší, mají opět sezónní charakter roztažení hráze v letním období a smrštění v zimě a opět jsou větší pohyby patrné pro spodní body řady B.

Jako doplňkový produkt vyrovnání vztážné sítě jsou k dispozici svislé posuny. Ty mají opět očekávaný sezónní charakter a zde jsou již větší mezeitapové pohyby dosaženy pro horní body řady A – max. zdvih +9,2mm pro bod A6 v etapě 8/2025 ku 2/2025 a pokles -6,4mm pro tentýž bod v následující etapě 2/2026.

S ohledem na prostor pro prezentaci výsledků jsou zde dosavadní vodorovné posuny prezentovány formou přehledky měřené geodetické sítě s mezeitapovými vektory posunů.

Chování VD Slapy je poměrně zajímavé. Sezónní posuny obvykle bývají větší pro horní body na vzdušném líci hráze. Takový trend zde mají pouze pohyby ve svislém směru. Vodorovné posuny ve směru toku i kolmo na tok jsou v případě VD Slapy naopak větší pro spodní body.

Zdůvodněním poněkud atypického chování vodorovných posunů VD Slapy je patrné z příčného řezu tělesem hráze. Spodní řada bodů B je osazena nad dutým prostorem pod přelivem a zjevně tato konstrukce svou teplotní roztažností reaguje na teplotní změny více než vlastní těleso hráze.

5. ZÁVĚR

Metoda měření posunů a deformací vodních děl, jejich objektů a podloží přesnou totální stanicí s ATR a následného vyrovnání geodetické sítě byla testováním ověřena jako vhodný nástupce původních metod měření vodorovných posunů.

Pro vlastní potřebu jsme vyvinuli ucelenou metodiku měření a zpracování dat. Námi použitý software EasyNet používá pro zhodnocení přesnosti měřených veličin i vlastní vyrovnání nástroje robustní analýzy. Při vhodném nastavení parametrů výpočtu jsou výpočetní práce částečně automatizované a poskytují stabilní výsledky.

Pro každou lokalitu je nutné vytvořit konkrétní projekt měření, který zohlední konfiguraci měřených bodů, rozsah lokality, použité přístroje a další vybavení a požadovanou přesnost zjišťovaných posunů.

Potenciál pro další rozvoj má analýza přesnosti dosažených posunů, jejich prokazatelnosti a interpretace.

LITERATURA

- [1] KRŇÁČ, V.; MACHÁČEK, T. Výzkum metod pro geodetická měření, CREA&Hydro&Energy, Brno, 2015. (Reference pro články).
- [2] KRŇÁČ, V.; MACHÁČEK, T. Využití přesné totální stanice s technologií ATR a robustního vyrovnání geodetických sítí pro monitoring vodních děl. Vodní Hospodářství 11/2016. (Časopis – strany 16 - 19).
- [3] KUBELOVÁ, M.; Zaměření a zhodnocení využitelnosti části původní měřické sítě VD Slapy, ČVUT Praha, Praha, 2019. (Diplomová práce).
- [4] TRÁSÁK, P. Simulace, modelování a statistické zpracování geodetických měření, ČVUT Praha, Praha, 2013. (Disertační práce).

Ing. Tomáš Macháček

VODNÍ DÍLA – TBD, a.s., Hyberská 1617/40, 110 00 Praha 1

Tomas.Machacek@vdtbd.cz

VD SLAPY – GENERÁLNÍ OPRAVA MOSTNÍ KONSTRUKCE NA HRÁZI

P. Maňák

Povodí Vltavy, státní podnik, Praha, Česká republika

1. ÚVOD

Vodní dílo Slapy bylo vybudováno v letech 1949–1955 jako součást Vltavské kaskády a v současnosti je zároveň prvkem kritické infrastruktury. Mostní konstrukce umístěná na koruně hráze představuje významnou součást vodního díla a zajišťuje propojení obou břehů řeky Vltavy.

S ohledem na stáří konstrukce, výsledky diagnostických průzkumů a postupné zhoršování technického stavu byla připravena generální oprava mostu, jejímž cílem je prodloužení životnosti konstrukce a zachování plně provozuschopnosti.



Obrázek 1: Vodní dílo Slapy (historická fotografie)

2. POPIS MOSTNÍ KONSTRUKCE

Most byl postaven v rámci výstavby vodního díla v letech 1953 až 1955 a od uvedení do provozu představuje nedílnou součást funkčního celku hráze. Most převádí silnici III/1027 mezi obcemi Slapy a Rabyně a současně umožňuje vedení řady inženýrských sítí a technologických rozvodů souvisejících s provozem vodního díla a vodní elektrárny.

Z konstrukčního hlediska se nejedná o jednotný mostní objekt, ale o soustavu odlišných částí navzájem propojených do jednoho funkčního celku. Celková délka mostu činí přibližně 260 m. Mostní konstrukci tvoří sedmáct mostních polí a pět uzavřených prostor mostního charakteru tvořených stropními konstrukcemi strojoven. Jednotlivé části byly navrženy s ohledem na jejich funkci v rámci vodního díla a liší se konstrukčním uspořádáním i způsobem zatížení.

Nosný systém je tvořen monolitickými železobetonovými rámovými konstrukcemi, železobetonovou klenbou a prefabrikovanými předpjatými konstrukcemi. Spodní stavba mostu je přímou součástí tělesa vodního díla a je konstrukčně propojena se strojovnami a objekty přelivných polí a navazujících provozních zařízení.

Most je směrově veden v přímé linii a na pravém břehu přechází do pravotočivého oblouku. Všechny konstrukce mostu mají vodorovný povrch v přibližně konstantní výškové úrovni a jsou doplněny vyrovnávacím betonem pro dosažení příčného sklonu. Volná šířka mezi madly činí 8,81 m a celková šířka konstrukce dosahuje 10,11 m. Součástí mostu jsou chodníky na obou stranách, uvnitř kterých jsou vedeny průchodky pro nezbytné inženýrské sítě. Součástí stavby jsou také konstrukce vozovky na levobřežní křižovatce nad zavázáním hráze.

Specifickým prvkem konstrukce spodní stavby mostu jsou vtokové věže a navazující strojovny přelivných polí vodního díla. Ve strojovnách jsou umístěna zařízení sloužící k manipulaci se segmentovými uzávěry přelivů a s dalšími technologickými zařízeními.

Pro potřeby projektové přípravy bylo v roce 2020 provedeno podrobné geodetické zaměření mostní konstrukce a vyhotovena digitální stavebně-technická dokumentace stávajícího stavu. Součástí prací bylo geodetické zaměření objektu, vytvoření sítě pevných bodů, 3D skenování vybraných částí konstrukce a zpracování výkresové dokumentace zachycující skutečný stav mostu. Tyto podklady se staly jedním ze základních vstupů pro diagnostické průzkumy a zpracování potřebné projektové dokumentace stavby.

3. STAV MOSTU A DŮVODY OPRAVY

Mostní konstrukce od uvedení do provozu plnila po několik desetiletí svou funkci bez potřeby zásadních konstrukčních zásahů. V období let 1989 až 1992 byla provedena částečná oprava zaměřená především na obnovu vybraných částí mostního svršku a souvisejících konstrukcí.

Na mostní konstrukci je pravidelně prováděna mostní prohlídka a dle potřeby také doplňující diagnostické průzkumy. Již několik let bylo upozorňováno na postupné zhoršování technického stavu konstrukcí, což vedlo jednak k přípravě záměru generální opravy, a současně již v roce 2020 k nucenému snížení zatížitelnosti mostu.

Výsledky průzkumů potvrdily rozdílný technický stav jednotlivých konstrukčních celků. Zatímco některé části mostu bylo možné po provedení sanačních opatření zachovat, jiné konstrukce vykazovaly takový stupeň degradace, že bylo nutné navrhnout jejich rozsáhlejší obnovu.

Na železobetonových konstrukcích byly identifikovány poruchy typické pro dlouhodobě provozované mostní objekty. Jednalo se zejména o degradaci krycí vrstvy betonu, lokální korozi betonářské výztuže, poruchy povrchových ochranných vrstev a průsaky vody do konstrukce. V některých místech byly zjištěny lokální poruchy vyžadující rozsáhlejší sanační zásahy a obnovení původních parametrů konstrukce.

Významným problémem byly dlouhodobé účinky zatékání vody do konstrukčních vrstev mostního svršku. Působením vody docházelo k postupné degradaci některých částí, zhoršování stavu ochranných vrstev a vzniku dalších poruch ovlivňujících životnost mostu. Současně byly identifikovány nedostatky související s odvodněním konstrukce a stavem navazujících detailů mostního vybavení. K problematice zatékání vody je důležité si uvědomit, že tím nedochází pouze k degradaci mostních konstrukcí, ale také vlastního vodního díla, jemuž je mostovka pomyslnou střechou.

Samostatným stavebním objektem se staly nezbytné opravy porušených povodních stěn strojoven P7 a P11. Strojovny jsou tvořeny vždy zastropením mohutných dutých středních pilířů celkové šířky 6,0 m (tzv. vtokových věží). Nosná konstrukce pole resp. stropu je tvořena monolitickou železobetonovou deskou. Zjištěné šikmé trhliny jsou jasně patrné z vnitřního

i vnějšího líce stěny, šířka vzniklých trhlin je až 5 mm. Levá (povodní) stěna je provedena z prostého betonu v tloušťce 300 mm. V místě okenních otvorů je stěna zalomená. Vznik trhlin pravděpodobně souvisí s teplotními pohyby na hrázi VD Slapy.



Obrázek 2: Šikmá trhlina na lici povodní stěny strojovny

Navržené řešení zahrnuje odstranění poškozených částí konstrukce a její nahrazení novou železobetonovou konstrukcí v identickém tvarovém řešení.

Na základě výsledků diagnostických průzkumů byl navržen soubor stavebních opatření zahrnující nejen opravy lokálně porušených konstrukcí, ale také komplexní obnovu mostní konstrukce a souvisejících technologických objektů.

Nejrozsáhlejší část stavby představuje obnova mostní konstrukce a mostního svršku. Součástí prací je odstranění stávajících konstrukčních vrstev vozovky, chodníků, odvodňovacích prvků, zádržných systémů a dalších částí mostního vybavení. Následně je realizována obnova nosných konstrukcí vybraných mostních polí. Součástí řešení je rovněž provedení nového hydroizolačního systému, nových vozovkových vrstev a nového mostního vybavení odpovídajícího současným požadavkům na provoz a bezpečnost.

Významnou částí stavby jsou sanace zachovávaných železobetonových konstrukcí. Jedná se zejména o rámové konstrukce, pilíře, opěry, klenbové části mostu a další monolitické prvky tvořící součást hráze. Sanační práce zahrnují odstranění degradovaných vrstev betonu, očištění a ochranu výztuže, reprofilace poškozených míst, injektáže vybraných trhlin a realizaci nových ochranných vrstev.



Obrázek 3: Plošně odpadlá krycí vrstva a silná koroze betonářské výztuže na spodním lici příčného trámu nosné konstrukce

Nedílnou součástí stavby jsou rovněž zásahy do technologické infrastruktury v tělese hráze. Tyto práce jsou úzce koordinovány s provozem vodního díla a navazují na stavební zásahy realizované na mostní konstrukci a objektech strojoven.

Stavba také zajišťuje obnovu veřejného osvětlení mostu a souvisejících elektrických rozvodů. Nové řešení respektuje technické požadavky provozovatele i stavební úpravy prováděné na mostní konstrukci.

4. SPECIFIKA REALIZACE NA PROVOZOVANÉM VODNÍM DÍLE

4.1 ORGANIZACE VÝSTAVBY

Stavba je realizována za plného provozu vodního díla a vodní elektrárny. Organizace výstavby proto představuje jeden z klíčových aspektů celé stavby. Veškeré stavební práce musí být prováděny tak, aby nedošlo k významnému omezení provozu.

Významným faktorem ovlivňujícím organizaci výstavby je omezený manipulační prostor na koruně hráze. Tento prostor současně slouží jako dopravní komunikace, přístupová cesta k technologickým objektům a pracovní plocha pro stavební mechanizaci. Organizace staveniště proto vyžaduje důslednou koordinaci jednotlivých činností a přesné časové návaznosti stavebních prací.

4.2 ZACHOVÁNÍ PROVOZU VODNÍHO DÍLA A VODNÍ ELEKTRÁRNY

Zásadním požadavkem investora je zachování plné provozuschopnosti vodního díla po celou dobu realizace stavby. Musí být zachována funkce vodní elektrárny, možnost manipulace se segmentovými uzávěry přelivných polí i provoz spodních výpustí.

Po celou dobu výstavby je nezbytné zajistit schopnost vodního díla bezpečně převádět zvýšené průtoky a plnit všechny provozní funkce vyplývající z manipulace na vodním díle. Harmonogram stavebních prací je proto průběžně koordinován s provozem vodního díla a požadavky jeho dispečerského řízení. Byly vytvořeny scénáře, postup zhotovitele a provozovatele v případě vyhlášení stavu rizika.

Zvýšené nároky jsou kladeny zejména na práce prováděné v blízkosti přelivných polí, strojoven a dalších provozních zařízení. Veškeré zásahy respektují provozní režim vodního díla a současně umožňují bezpečný výkon stavebních prací. Velkou výzvou byla také správná ochrana technologických prvků a zařízení tak, aby při provádění stavebních prací nedošlo k jejich poškození prachem, vodou nebo mechanickým nárazem.

Součástí vodního díla je také portálový jeřáb, který je využíván pro řadu činností spojených s údržbou a provozem. Jeho užívání je stavbou také částečně omezeno a je dbáno na to, aby v případě potřeby bylo možné jeho operativní využití.

Důležitým tématem bylo také zabezpečení objektu vodního díla proti vniknutí cizích osob. Jelikož práce probíhají také uvnitř strojoven, které jsou běžně střeženy moderními prvky EZS, bylo nutné zabezpečovací systém dočasně modifikovat a především posílit.

4.3 TECHNICKO-BEZPEČNOSTNÍ DOHLED

Vodní dílo Slapy je dle klasifikace TBD vodním dílem první kategorie a podléhá proto přísnému technicko-bezpečnostnímu dohledu. V rámci stavby byly nevyhnutelně zrušeny některé body pro pravidelné měření vodorovných posunů hráze, které byly umístěny přímo na mostovce. Tyto body budou obnoveny po dokončení stavby. Jako prevence přerušení dlouhodobé řady měření bylo rok před zahájením stavby vybudováno nové pole dvou řad bodů na vzdušném líci vodního díla, které poskytne cenné informace a zároveň bude použitelné i v budoucnu.

Po celou dobu stavby probíhá nadstandardní komunikace s pracovníky TBD, aby byla zajištěna plná informovanost zodpovědných osob a tím maximální kontrola nad vodním dílem. Stejně tak byla zvýšena četnost některých pravidelných kontrol a měření.

4.4 PŘELOŽKY INŽENÝRSKÝCH SÍTÍ

Mostní konstrukce a navazující objekty obsahují rozsáhlý systém inženýrských sítí a technologických vedení sloužících pro provoz vodního díla i externích správců sítí.

V rámci stavby jsou realizovány přeložky silových kabelových vedení, sdělovacích kabelů, řídicích systémů dalších provozních rozvodů. Součástí řešení jsou rovněž přeložky vedení provozovaných společnostmi ČEZ Distribuce a CETIN, tedy také jedna z tras vyvedení výkonu z vodní elektrárny.

Specifickým požadavkem je zachování nepřetržité funkce většiny těchto zařízení. Přeložky proto probíhají etapovitě za využití provizorních tras a dočasných napojení. Teprve po jejich zprovoznění je možné přistoupit k demontáži původních vedení a realizaci navazujících stavebních prací.

4.5 BEZPEČNOST A KOORDINACE PRACÍ

Realizace stavby probíhá v prostředí kombinujícím provoz mostní stavby, vodního díla a technologického provozu. Dále se v prostoru částečně pohybují členové dalších organizací, jako například Státní plavební správy, Hasičského záchranného sboru nebo Policie ČR, a to především proto, že v prostoru staveniště je plovoucí garážové stání využívané plavidly všech jmenovaných organizací. Zvýšené nároky jsou proto kladeny na koordinaci jednotlivých účastníků výstavby, bezpečnost práce a organizaci stavebních činností v omezeném prostoru koruny hráze a vnitřních průmyslových prostorů.

5. PRŮBĚH REALIZACE STAVBY

Staveniště bylo předáno v lednu roku 2026. Hlavní práce probíhají postupně z pravé strany mostu doleva. Postup prací byl oproti projektu zhotovitelem upraven tak, aby byla maximálně urychlena výstavba.

První etapa realizace byla zaměřena na přípravné práce nezbytné pro zahájení vlastní opravy mostní konstrukce. Jednalo se zejména o zřízení staveniště, realizaci provizorních opatření, přípravu dopravních omezení a přeložky inženýrských sítí. Významná část těchto prací byla zaměřena na vybudování prvků fyzické ochrany strojního zařízení dle potřeby před mechanickým poškozením, prašností či vniknutím vody.

Následují demoliční práce na mostním svršku. Postupně dochází k odstraňování vozovkových vrstev, chodníkových konstrukcí, odvodňovacích prvků, zádržných systémů a dalších částí mostního vybavení. Dále probíhá demontáž původních nosných konstrukcí jednotlivých mostních polí. V době zpracování příspěvku probíhá snášení původních železobetonových nosníků na přelivných i nepřelivných mostních polích.

Po odkrytí jednotlivých konstrukčních částí jsou průběžně prováděny doplňující diagnostické průzkumy. Tyto průzkumy slouží k ověření skutečného stavu konstrukcí, které nebylo možné před zahájením stavebních prací plně zpřístupnit. Pozornost je věnována zejména úložným prahům jednotlivých mostních polí, u nichž je diagnostika prováděna vždy po odstranění nosných prvků příslušného pole. Výsledky průzkumů byly použity k upřesnění rozsahu navržených sanačních opatření.



Obrázek 4: Příprava úložných prahů před osazením nových nosníků

Současně s demoličními pracemi probíhají sanace zachovávaných železobetonových konstrukcí. Jedná se zejména o odstranění degradovaných částí betonu, reprofilace poškozených míst, ošetření obnažené výztuže a přípravu konstrukcí pro navazující etapy rekonstrukce. Sanační práce jsou realizovány průběžně podle skutečného stavu zjištěného po odkrytí jednotlivých konstrukčních částí.

Významnou součástí realizace je koordinace výroby nových vodorovných nosných prvků přelivných a nepřelivných polí s postupem stavebních prací na staveništi. S tím souvisí také nezbytné pravidelné kontroly kvality výroby nosníků v prostorách dodavatele.

Následovat budou montážní práce na nových nosných konstrukcích, realizace nového mostního svršku, obnova říms, odvodnění, zádržných systémů a souvisejících technologických zařízení. V závěrečné fázi stavby budou provedeny dokončovací práce, uvedení jednotlivých zařízení do provozu a celkové dokončení mostní konstrukce.



Obrázek 5: Postupné odstraňování původních vodorovných nosníků

6. ZÁVĚR

Generální oprava mostní konstrukce na hrázi vodního díla Slapy představuje jeden z nejvýznamnějších zásahů do konstrukčních částí tohoto vodního díla za celou dobu své existence. Cílem stavby je zajistit dlouhodobou provozuschopnost mostní konstrukce, obnovit její technický stav a vytvořit předpoklady pro její bezpečné využívání v dalších desetiletích provozu.

Specifickým rysem stavby je její realizace za plného provozu vodního díla, která klade mimořádné nároky na organizaci a koordinaci výstavby.

Dosavadní průběh realizace potvrzuje význam podrobné diagnostiky konstrukcí, kvalitní projektové přípravy a průběžného ověřování skutečného stavu konstrukcí po jejich odkrytí. Současně se potvrzuje nezbytnost úzké spolupráce mezi investorem, provozovatelem vodního díla, projektantem, zhotovitelem stavby a správcí jednotlivých technických zařízení.

Zkušenosti získané při přípravě a realizaci této stavby mohou být využitelné také při obnově dalších mostních konstrukcí umístěných na vodních dílech nebo jiných provozovaných infrastrukturních stavbách, kde je nutné skloubit požadavky stavební činnosti s nepřerušným provozem technologických zařízení a vysokými nároky na bezpečnost provozu.

Ing. Pavel Maňák

Povodí Vltavy, státní podnik, Praha, Česká republika

pavel.manak@pvl.cz

ULTRAZVUKOVÉ MERANIE HRÚBKY V TBD NAD VODNÝMI STAVBAMI: PRÍPADOVÉ ŠTÚDIE

J. Porubčan, M. Novoveský, B. Petříček & M. Bokor

VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA, ŠTÁTNY PODNIK, Bratislava, Slovenská republika

A. Šoltisová & T. Lajoš

SLOVENSKÝ VODOHOSPODÁRSKY PODNIK, štátny podnik, Slovenská republika

ABSTRAKT: Príspevok predstavuje praktické nasadenie ultrazvukového merania hrúbky v technicko-bezpečnostnom dohľade nad vodnými stavbami, predovšetkým na jednostranne prístupných oceľových konštrukciách (potrubia, uzatvorené prvky). Metóda pracuje v pulzno-echo (pulse-echo) režime: zo známej rýchlosti šírenia zvuku v materiáli a z meraného času prechodu odrazeného impulzu sa vypočíta lokálna hrúbka steny. Skúšanie sa realizuje podľa STN EN ISO 16809 a vykonáva ho certifikovaný personál podľa STN EN ISO 9712. Používaná zostava Olympus 38DL PLUS s dvojprvkovou sondou D7906-SM umožňuje meranie Thru-Coat®, t. j. bez odstránenia náteru (Sonatest 2023; Perez-Diego et al. 2025), so súčasným stanovením zostatkovej hrúbky steny a hrúbky protikorózneho náterového systému (PKO). V prevádzkových podmienkach vodných stavieb sa ultrazvukové hrúbkomery využívajú na rýchlu identifikáciu korózneho stenčenia (rovnorného aj jamkového), trendovanie úbytku v čase (Oh et al. 2019; Palanisamy et al. 2024) a rozhodovanie o údržbe/obnove protikorózných náterov alebo výmene potrubia. Pri bodovom meraní sa v každom profile realizuje viacnásobné odčítanie s výpočtom aritmetického priemeru; pre komplexnejší obraz sa odporúča zahusťovanie siete meracích bodov alebo plošné skenovanie s tvorbou 3D profilu napadnutia steny. Metóda je rýchla, neinvazívna, vhodná na periodické monitorovanie a v kombinácii s vizuálnou kontrolou, kamerovou inšpekciou a hodnotením stavu protikorózných náterov tvorí základ komplexného posúdenia technického stavu vodných stavieb.

1. ÚVOD

Odborný technicko-bezpečnostný dohľad (TBD) nad vodnými stavbami je špecializovaná činnosť zameraná na zisťovanie ich technického stavu, ktorých poškodenie môže spôsobiť ohrozenie priľahlého územia, životov ľudí a majetku, najmä uvoľnením vzdúvanej alebo zadržavanej vody (Kasana a Nikolaj 2014; MZe 2014). Vykonáva sa sledovaním bezpečnosti a stability vodných stavieb, predovšetkým pozorovaním a meraním ich deformácií, priesaku vôd a analýzou výsledkov s cieľom včas identifikovať riziká a navrhnuť potrebné opatrenia. Pri sledovaní bezpečnosti a prevádzkyschopnosti konštrukčných celkov a technologických zariadení sa uplatňujú aj metódy nedeštruktívneho skúšania (NDT).

Na oddelení defektoskopie, v rámci úseku TBD, štátneho podniku VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA sa využíva široké portfólio NDT metód. V zmysle kvalifikačného rámca STN EN ISO 9712 ide najmä o ultrazvukové skúšanie, magnetické skúšanie, vizuálne skúšanie a kapilárne skúšanie. Uvedené metódy sa vhodne kombinujú aj s doplnkovými meraniami ako napr. meraním vibrácií, nábehových prúdov, termometriou, meraním hĺbky trhlín alebo hodnotením korózie a protikorózných náterov. Kombináciou viacerých metód vzniká komplexný obraz (Dvořák 2006) o technickom stave vodnej stavby (Baumruková et al. 2020). Historicky najvyužívanejšou metódou na oddelení defektoskopie je ultrazvukové meranie hrúbky základného materiálu. Výsledky merania slúžia ako podklad pre vyhodnotenie miery

stenčenia steny v dôsledku korózie. Metóda sa v podmienkach vodných stavieb využíva najmä pri jednostranne prístupných oceľových konštrukciách, ako sú potrubia alebo duté uzatvorené prvky.

2. METODIKA A NEDEŠTRUKTÍVNE MERANIA V RÁMCI TBD

2.1 POUŽITÁ METÓDA A PRINCÍP MERANIA HRÚBKY

Ultrazvuk predstavuje mechanické kmitanie mimo rozsahu ľudského sluchu. Pri meraní hrúbky sa ultrazvukový impulz vysiela do materiálu a po dopade na opačnú stenu (rozhranie materiál/vzduch alebo materiál/kvapalina) sa časť energie odrazí späť k snímaču. Z času prechodu (time-of-flight) a z rýchlosti šírenia zvuku v materiáli sa vypočíta hrúbka (Dvořák 2006). Vysielanie a prijímanie signálu, meranie času a výpočet hrúbky zabezpečuje hrúbkomer spolu so zvolenou sondou.

2.2 PRÍSTROJOVÉ VYBAVENIE A KONFIGURÁCIA MERANIA

Na ultrazvukové meranie hrúbky základného materiálu sa používala zostava Olympus DL 38 Plus a dvojitá sonda D70906 SM. Táto kombinácia umožňuje meranie technológiou Thru-Coat®, meranie cez náter, so zobrazením zostatkovej hrúbky steny a hrúbky protikorózneho náteru (podľa podmienok aplikácie) (Sonatest 2023; Perez-Diego et al. 2025).

2.3 NORMATÍVNY RÁMEC A KVALIFIKÁCIA

Výkon merania hrúbky sa riadi normou STN EN ISO 16809, ktorá špecifikuje princípy merania hrúbky kovových aj nekovových materiálov priamym kontaktom, založené na prechode ultrazvukového impulzu. Norma ďalej upravuje požiadavky na meracie prístroje, typy ultrazvukových sond, referenčné kalibračné bloky, kvalifikáciu personálu, podmienky merania (napr. teplota, stav povrchu) a ďalšie špecifiká. V prevádzkových podmienkach boli uplatňované aj praktické odporúčania podľa Prílohy A uvedenej normy. Kvalifikácia personálu je deklarovaná podľa STN EN ISO 9712.

3. VÝSLEDKY MERANÍ – PRÍPADOVÉ ŠTÚDIE

3.1 ČERPACIA STANICA STRETÁVKA 1 A 2

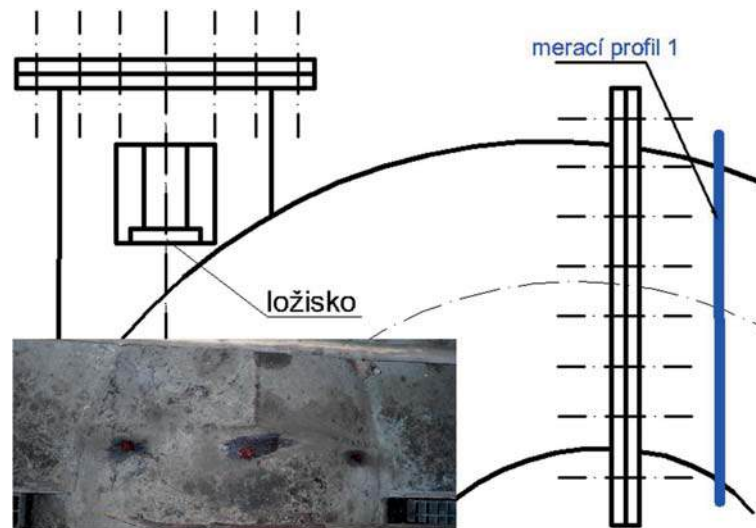
3.1.1 Charakteristika objektu a rozsah meraní

Čerpacia stanica Stretávka 1 (ČS 1) a ČS Stretávka 2 (ČS 2) boli postavené za účelom prečerpávania vnútorných vôd z územia ohraničeného na západe Ľavobrežnou hrádzou Laborca, na severe Vihorlatskou nádržou, na východe Záchytným kanálom a na juhu Pravostrannou inundačnou hrádzou Uhu. Vnútorné vody zo zrážok v jarnom a jesennom období pre vysoké stavy v recipientoch nemajú možnosť gravitačného odtoku, vyliievajú sa z korýt a zaplavujú priľahlé pozemky. Účelom ČS 1 a ČS 2 je prečerpávanie vody v profile Čiernej vody v mieste sútoku riek Laborec a Uh, nakoľko vybudovaním hate Vojany dochádza ku vzduťiu hladiny vody. ČS 2 navyiac umožňuje prečerpávať vnútorné vody počas revízie a údržby ČS 1 na kóte min. hladiny ČS 2.

V rámci komplexnej prehliadky boli kontrolované vtokové časti, čerpadlá a potrubné trasy v suterénoch a strojovniach, gravitačný obtok a výtokové časti. Prehliadka zahŕňala vizuálnu kontrolu, meranie hrúbky základných materiálov, kamerovú kontrolu potrubí, meranie vibrácií a vyhodnotenie stavu protikorózneho ochrany.

3.1.2 Výsledky meraní – ČS Stretávka 1

Na dostupných častiach výtláčnych potrubí v suteréne ČS 1 bolo vykonané meranie hrúbky základného materiálu a hrúbky PKO. Hrúbka základného materiálu bola meraná v jednom profile s tromi meracími bodmi. Odmerané hodnoty sú uvedené v Tabuľke 1.



Obrázok 1: Umiestnenie meracieho profilu na výtlačnom potrubí ČS 1

Tabuľka 1: Hrúbky základného materiálu v meracom profile 1 na ČS 1 (mm)

Merací bod	Čerpadlo číslo				
	1	2	3	4	5
1	8,5	8,0	8,0	7,9	8,2
2	8,8	8,0	7,9	7,8	8,5
3	8,0	7,7	8,4	8,0	8,1

3.1.3 Výsledky meraní – ČS Stretávka 2

Na výtlačných potrubíach v suteréne ČS 2 bolo meranie vykonané v dvoch profiloch (A a B) so štyrmi meracími bodmi v každom profile. Hodnota uvedená v Tabuľke 2 predstavuje priemer minimálne 5 meraní. Z nameraných hrúbok boli vypočítané predpokladané korózne úbytky; vzhľadom na nedostupnosť pôvodných hrúbok bola ako referenčná pôvodná hrúbka zvolená maximálna odmeraná hodnota v profile (API 570 2024) 9,7 mm pre profil A pri čerpadlách 1 a 2; 8,0 mm pre ostatné merania. Tieto „odhadnuté“ korózne úbytky sú uvedené v Tabuľke 3.

Tabuľka 2: Hrúbky základného materiálu v profile A a B (mm)

	Čerpadlo č. 1		Čerpadlo č. 2		Čerpadlo č. 3		Čerpadlo č. 4	
	Profil A	Profil B	Profil A	Profil B	Profil A	Profil B	Profil A	Profil B
Bod 1	9,7	7,8	9,2	7,6	7,9	7,4	7,0	7,9
Bod 2	9,4	7,3	9,2	7,5	8,0	7,5	7,7	8,0
Bod 3	8,8	6,7	9,0	7,0	7,1	6,25	6,9	6,3
Bod 4	9,3	7,3	9,3	7,4	7,5	7,5	7,2	8,0



Obrázok 2: Umiestnenie meracích profilov a bodov na výtlačnom potrubí DN 600/DN 800

Tabuľka 3: Prepočet korózných úbytkov v meracích bodoch (%)

	Čerpadlo č. 1		Čerpadlo č. 2		Čerpadlo č. 3		Čerpadlo č. 4	
	Profil A	Profil B	Profil A	Profil B	Profil A	Profil B	Profil A	Profil B
Bod 1	0,00	2,50	5,15	5,00	1,25	7,50	12,50	1,25
Bod 2	3,09	8,75	5,15	6,25	0,00	6,25	3,75	0,00
Bod 3	9,28	16,25	7,22	12,50	11,25	21,88	13,75	21,25
Bod 4	4,12	8,75	4,12	7,50	6,25	6,25	10,00	0,00

Tabuľka 4: Hrúbky základného materiálu – DN 800 (mm)

Ľavé potrubie DN 800					Pravé potrubie DN 800				
Vzdialenosť/ Merací bod	1	2	3	4	Vzdialenosť/ Merací bod	1	2	3	4
1,5 m	9,5	9,3	9,1	9,4	1,5 m	9,4	9,3	9,3	9,4
8 m	8,9	8,8	8,5	9	8 m	9,5	9,1	8,3	9,5
16 m	7,3	8,7	8,6	7,4	16 m	7,5	7,3	7,3	7,9
24 m	7,8	7,7	7,4	7,7	24 m	7,6	7,7	6,4	7,4
32 m	7,7	7,7	7,3	7,5	32 m	7,5	7,8	7,0	7,6

Tabuľka 5: Korózne úbytky – DN 800 (%)

Ľavé potrubie DN 800					Pravé potrubie DN 800				
Vzdialenosť/ Merací bod	1	2	3	4	Vzdialenosť/ Merací bod	1	2	3	4
1,5 m	5,0	7,0	9,0	6,0	1,5 m	6,0	7,0	7,0	6,0
8 m	11,0	12,0	15,0	10,0	8 m	5,0	9,0	17,0	5,0
16 m	8,8	13,0	14,0	7,5	16 m	6,3	8,8	8,8	1,3
24 m	2,5	3,8	7,5	3,8	24 m	5,0	3,8	20,0	7,5
32 m	3,8	3,8	8,8	6,3	32 m	6,3	2,5	12,5	5,0

Na výtokovej časti ČS 2 bolo vykonané meranie hrúbky základného materiálu z vnútornej strany potrubia. Vstup do potrubí bol cez otvory DN 800; do DN 800 fyzicky vstupoval pracovník a vykonal obhliadku. Do otvorov DN 600 bola vložená videokamera na podvozku a kontrola prebehla nepriamo. Na DN 800 boli hrúbky merané približne každých 8 m (pri montážnych zvaroch) do vzdialenosti cca 32 m; v každom profile boli 4 body, v bode min. 3 merania s priemerom do tabuľky. Pôvodná hrúbka bola zvolená 10 mm pre vzdialenosť 1,5 a 8 m a 8 mm pre ostatné vzdialenosti. V Tabuľke 4 sú teda uvedené merané hodnoty a v Tabuľke 5 z týchto meraných hodnôt vypočítané korózne úbytky.

3.2 PVE VLČIA DOLINA – PRÍVODNÉ TLAKOVÉ POTRUBIE

3.2.1 Charakteristika objektu a rozsah merania

Tlakové potrubie vedie vodu oceľovým potrubím od uzáverovej komory do vodnej elektrárne vo Vlčej doline. Potrubie má celkovú dĺžku 1176 m a prekonáva výškový rozdiel 244 m. Priemer potrubia je premenlivý: 318 m s priemerom 1800 mm, 457 m s priemerom 1700 mm a 401 m s priemerom 1600 mm. Potrubie je uložené v záreze hlbokom približne 2–3 m na betónových sedlách, zasypané, izolované a na lomoch spádu kotvené betónovými blokmi.



Obrázok 3: Schematická situácia uloženia prírodného potrubia na PVE Vlčia Dolina

3.2.2 Spôsob merania

Pre každý merací bod bolo potrebné lokálne odstrániť asfaltový náter v ploche približne 1 cm². Tento typ náteru nie je vhodný pre meranie metódou Thru- Coat® a bolo nevyhnuté ho pred meraním obrúsiť. Na každom meracom bode boli vykonané tri merania a do výsledkov sa zapisoval aritmetický priemer. Meracie body neboli vybrané na rovnakých miestach po obvode, ale preferenčne tam, kde už asfaltový náter chýbal, aby sa minimalizovalo nové poškodenie. V prípadoch, kde sa náter odstraňoval, po meraní nebol obnovený. Rozmiestnenie meracích profilov bolo navrhované vzhľadom na obslužné šachty; profily boli identifikované vzdialenosťou od vlezov a schémou rozmiestnenia bodov.

3.2.3 Výsledky merania hrúbky a statický prepočet

Hodnoty hrúbky základného materiálu odmerané na jednotlivých profiloch vykazovali len malý rozptyl. Prevádzkovateľ nemal k dispozícii podklady o pôvodných hrúbkach ani o triede ocele použitej na meraných miestach. Pre orientačný výpočet minimálnej potrebnej hrúbky (API 570

2024) bolo uvažované maximálne dovolené napätie 170 MPa a súčiniteľ tvaru zvarov 0,8. Uvedené hodnoty zároveň vedú ku konzervatívnemu odhadu, vzhľadom na predpoklad nižšej triedy ocele (voľba prísnejšieho bezpečnostného faktora) a prísnejšieho súčiniteľa tvaru zvarov. Vypočítané a namerané hodnoty sú uvedené v Tabuľke 6.

Tabuľka 6: Statický prepočet minimálnej hrúbky potrubia

Priemer potrubia	Max. povolená hladina	Výška zmeny potrubia	Rozdiel výšok hladín	Tlak od výšky hladiny	Dovolené napätie	Min. hrúbka základného materiálu vypočítaná	Priemerná nameraná hodnota
[mm]	[m n.m.]	[m n.m.]	[m]	[MPa]	[MPa]	[mm]	[mm]
1800	786,6	687,3	99,3	0,97	170	6,47	13,68
1700	786,6	599,4	187,2	1,84	170	11,56	17,41
1600	786,6	491,7	294,9	2,89	170	17,20	38,36

3.3 VODNÉ DIELO ŽILINA – PRÍVODNÉ POTRUBIA MVE

3.3.1 Charakteristika situácie a rozsah merania

Na Vodnom diele Žilina prebiehali prípravné práce na obnovu protikorózných náterov (pieskovanie pôvodných náterov). Počas pieskovania bol zaznamenaný priesak vody (strikajúca voda) na potrubí DN 500. Tlak vody v potrubíach bol približne 180 kPa. Priesak bol operatívne opravený prekrytím oceľovým plechom a jeho privarením obvodovým kútovým zvarom; ide o dočasné riešenie a práce boli dočasne pozastavené.

3.3.2 Spôsob merania

Na potrubíach bolo vykonané meranie korózných úbytkov ultrazvukovou metódou. Meracie profily boli umiestnené približne každých 8 m, pričom nulovým bodom bola stenová prierečka smerom od MVE. Na profiloch boli očistené plošky do kovového lesku (cca 2 cm²). V meracom bode bolo vykonaných 5 meraní a výsledná hodnota bola priemerom nameraných hodnôt.



Obrázok 4: Prívodné potrubia DN 500 a DN 800 na MVE

3.3.3 Výsledky merania

Pôvodné hrúbky nebolo možné z dokumentácie jednoznačne určiť; uvádzané pôvodné hrúbky boli odhadnuté na základe nameraných výsledkov (API 570 2024). Predpokladaná pôvodná hrúbka potrubia DN 800 bola 8 mm a DN 500 bola 6 mm. Z prepočtu vyplývalo, že maximálny korózný úbytok na DN 800 dosiahol približne 18,75 % (1,5 mm), priemerný približne 10 %. Na DN 500 bol priemerný úbytok okolo 6 %, avšak lokálne bol zaznamenaný maximálny úbytok približne 53 % (3,2 mm) a v danom bode aj jemný priesak.

4. INTERPRETÁCIA VÝSLEDKOV A DISKUSIA

Priemerné hrúbky základných materiálov namerané na tlakovom potrubí PVE Vlčia Dolina výrazne, až dvojnásobne, prekračujú orientačne vypočítané minimálne hrúbky zo zjednodušeného statického prepočtu založeného na výške hladiny. Je potrebné zdôrazniť, že použitý prepočet nezohľadňuje nespojitosti pri prúde ani hydrodynamické rázy pri ovládaní uzáverov. Výsledky teda indikujú priaznivý stav z hľadiska hrúbky steny tlakového potrubia a jeho ďalšej bezpečnej prevádzky.

Pri ČS Stretávka sa prejavuje typický vplyv prevádzkových podmienok: výraznejšie korózne úbytky sa vyskytujú v spodných častiach potrubí, kde sa trvalo udržuje voda alebo vlhkosť. Úbytok na úrovni približne 20 % už predstavuje zvýšené riziko lokálneho poškodenia (API 570 2024); pri netlakovom charaktere potrubí však nemusí bezprostredne znamenať ohrozenie prevádzkyschopnosti, ale vyžaduje plán údržby a sledovania.

Prípád VD Žilina poukazuje na riziko lokálneho jamkového napadnutia, ktoré sa môže prejavíť výrazne nerovnomerne a bodovo (lokálne až desiatky percent úbytku) a môže viesť až k priesakom. Pri takomto charaktere poškodenia môže byť bodová sieť meraní nedostatočná a pre objektívne zmapovanie stavu je vhodné zahustenie bodov alebo plošné skenovanie s tvorbou mapy/3D profilu korózneho napadnutia, ak sú na to podmienky (Oh et al. 2019).

Vo viacerých prípadoch nebola dostupná výkresová dokumentácia a pôvodné hrúbky sa odhadovali (napr. ako maximálna nameraná hodnota v profile) (API 570 2024). Takýto prístup je v prevádzkovom TBD použiteľný ako orientačný, no prináša neistotu do výpočtu korózných úbytkov. Preto je vhodné tieto prepočty vnímať ako konzervatívne, odhadové a posilniť ich buď archiváciou referenčných údajov do budúcnosti, alebo rozšírením merania na väčší rozsah.

5. ZÁVER

Nedeštruktívne metódy kontroly v rámci TBD, najmä ultrazvukové meranie hrúbky, predstavujú kľúčový nástroj pri kontrole stavu oceľových konštrukcií na vodných stavbách. Umožňujú včasné odhalenie korózných úbytkov a ďalších degradácií bez poškodenia konštrukcie. Výsledky z pravidelných kontrolných meraní ukazujú, že väčšina sledovaných konštrukcií nevykazuje zásadné poškodenia a nachádza sa v dobrom technickom stave. Súčasne sa však vyskytujú aj prípady významného lokálneho stenčenia (nad 30 %), ktoré predstavujú riziko pre bezpečnosť a vyžadujú okamžité opatrenia – opravy, obnovu protikorózneho ochrany alebo výmenu potrubí.

Pravidelné prehliadky a kontrolné merania s využitím NDT metód sú zásadne dôležité pre predĺženie životnosti oceľových konštrukcií a udržanie bezpečnej prevádzky vodných stavieb. Zároveň možno z hľadiska rozvoja diagnostiky vodných stavieb výstupy z použitia týchto metód vnímať aj ako primárnu dátovú vrstvu pre systematický monitoring a prediktívne riadenie ich technického stavu. V tomto koncepte tvoria NDT výstupy kontrolný podklad pre modelové hodnotenia, čím sa vytvára kontinuita od bodovej diagnostiky až po dátovo riadené, prediktívne posudzovanie rizík a optimalizáciu plánovania zásahov v životnom cykle kritických častí vodných stavieb.

POĎAKOVNIE

Predložený článok je spracovaný v rámci projektu „Strategické partnerstvo pre výskum zelenej a udržateľnej energetiky s využitím umelej inteligencie pre významné vodné diela“ – AIHydroHUB, ktorý je spolufinancovaný Európskou úniou v rámci Programu Slovensko. Za finančnú podporu ďakujeme.



LITERATÚRA

[1] AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. API 570: Piping Inspection Code – In-service Inspection, Rating, Repair, and Alteration of Piping Systems (5th ed., Feb 2024); API: Washington, DC, 2024.

[2] BAUMRUKOVÁ, L.; SKALA, M.; ŘÍHOVÁ AMBROŽOVÁ, J.; KŮS, P. Využití biologického monitoringu při optimalizaci provozu technologické linky s chladicími vodami; Vodní hospodářství: Praha, 2020.

[3] DVOŘÁK, J. Nedeštruktivní zkoušení – Měření tloušťky ultrazvukem; TLAKinfo: Praha, 2006.

[4] KASANA, A.; NIKOLAJ, M. Problematika merania posunov vodných stavieb v zmysle technicko-bezpečnostného dohľadu; KGK (PDF príspevok): Slovenská republika, 2014.

[5] MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ. Technickobezpečnostní dohled nad vodními díly: Vybrané informace pro vodoprávní úřady a vlastníky vodních děl; MZe: Praha, 2014.

[6] OH, S.-B.; CHEONG, Y.-M.; KIM, D.-J.; KIM, K.-M. On-Line Monitoring of Pipe Wall Thinning by a High Temperature Ultrasonic Waveguide System at the Flow Accelerated Corrosion Proof Facility; Sensors: Basel, 2019.

[7] PALANISAMY, R. P.; PYUN, D.-K.; FINDIKOGLU, A. T. Accurate Ultrasonic Thickness Measurement for Arbitrary Time-Variant Thermal Profile; Sensors: Basel, 2024.

[8] PEREZ-DIEGO, M.; THIBBOTUWA, U. C.; CORTÉS, A.; IRIZAR, A. Coating Thickness Estimation Using a CNN-Enhanced Ultrasound Echo-Based Deconvolution; Sensors: Basel, 2025.

[9] SONATEST. Thickness and Coating Measurement: Echo-to-Echo Technique on the Alphagage+ (Application Note); Sonatest: Milton Keynes, 2023.

Ing. Jakub Porubčan, PhD., Ing. Michal Novoveský, Ing. Boris Petříček a Ing. Matej Bokor
Odbor špecializovaných meraní, Oddelenie defektoskopie, VODOHOSPODÁRSKA
VÝSTAVBA, ŠTÁTNY PODNIK, Bratislava, SR
E-mail: jakub.porubcan@vvb.sk; michal.novovesky@vvb.sk; boris.petricek@vvb.sk; matej.bokor@vvb.sk

Ing. Alena Šoltisová, PhD., Ing. Tomáš Lajoš
Odbor vodohospodárskej prevádzky, SLOVENSKÝ VODOHOSPODÁRSKY PODNIK, štátny podnik, Povodie Bodrogu, odštepný závod so sídlom v Trebišove, SR
E-mail: alena.soltisova@svp.sk; tomas.lajos@svp.sk

PROVÁDĚNÍ TBD A GTM PŘI VÝSTAVBĚ LEVOBŘEŽNÍHO VSTUPU DO GRAVITAČNÍ ČÁSTI HRÁZE VD LIPNO I

D. Richtř

VODNÍ DÍLA – TBD a.s., Praha, Česká republika

ABSTRAKT: Na vodním díle Lipno I se dodatečně vybudoval v levém zavázání tělesa hráze vstup do horní revizní chodby v gravitační části hráze. Nový vstup do hráze je vytvořen pomocí přístupové šachty a štol. Vstup do šachty je přes nadzemní objekt situovaný u komunikace na levém břehu nedaleko od provozní budovy. Zásadní stavební práce při výstavbě přístupové šachty a přístupové štol byly prováděny hornickým způsobem za použití trhacích prací. Příspěvek stručně popisuje zvolené stavební řešení i činnosti TBD a geotechnického monitoringu prováděného s cílem zajistit bezpečnost vodního díla i vlastní výstavby podle příslušných předpisů, včetně báňských.

1. ÚVOD

Stavba VD Lipno I započala v roce 1953 a dokončena byla v roce 1959. Vzdouvací objekt tvoří přímá sypaná zemní hráz, u levého břehu kombinovaná s betonovou tížnou částí. Zemní část hráze je s návodním těsnícím jádrem z písčitých a sprašových hlín. Na VD je umístěna malá vodní elektrárna využívající sanační průtok mezi Lipnem a Vyším Brodem. Podzemní elektrárna o jmenovitém výkonu 2×60 MW je provozovaná jako špičková.

Gravitační betonová část hráze na levém břehu je složena z 8-mi tížných bloků (č. 0 až 7) založených na zdravé dvojslídne žule. Délka betonové části hráze je 87,9 m a max. výška nad základy je 38,0 m.

Základová spára byla před betonáží očištěna tlakovou vodou, spáry a pukliny vyškrobány na dosažitelnou hloubku. Blok č. 7 byl z části založen na studnokesonech č. 11 a č. 12, které navazovaly na keson č. 10 těsnící clony zemní části hráze.

Utěsnění skalního podloží bylo prováděno nejprve „fortifikačními vrty“ po vybetonování prvních lamel do výše 2 m. Dále byla provedena jednořadá injekční clona z úrovně injekční chodby svisle do hloubky 10–12 m v konečných vzdálenostech 1,25 až 1,5 m.

V betonové části hráze jsou umístěny funkční objekty hráze. Zhruba uprostřed (bloky č. 4 a 5) dva bloky spodních výpustí a přelivů (jedna výpust a jedno pole přelivu jsou umístěné nad sebou), při levém břehu (v bloku č. 3) odběrný objekt průmyslového vodovodu. Po koruně hráze je vedena vozovka, napojená na místní silniční síť.

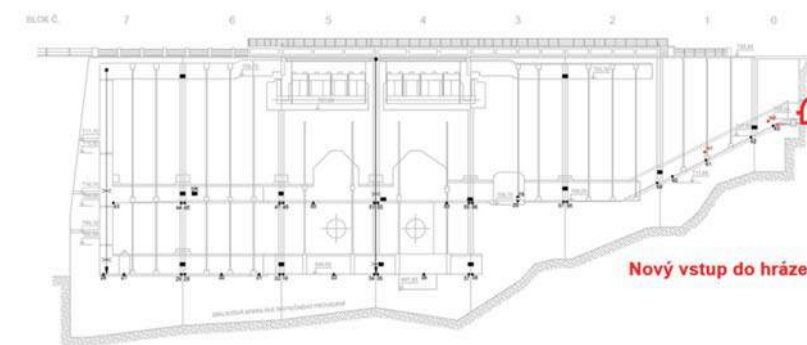
Vodní dílo Lipno I je z hlediska TBD zařazeno do I. kategorie.

V letošním roce byla na vodním díle dokončena stavební akce „VD Lipno – levobřežní vstup do hráze“, která spočívala ve výstavbě vstupu do horní revizní chodby v gravitační části hráze. Nový vstup do hráze je vytvořen pomocí přístupové šachty a štol. Vstup do šachty je přes nadzemní objekt situovaný u komunikace na levém břehu nedaleko od provozní budovy.

Protože zásadní stavební práce při výstavbě přístupové šachty a přístupové štol byly prováděny hornickým způsobem, bylo třeba i zajistit bezpečnost výstavby podle příslušných (báňských) předpisů. Při výstavbě podzemních objektů hornickým způsobem observační metodou ražby NRTM je standardně zaváděn geotechnický monitoring stavby (GTM). Činnosti TBD a GTM při této stavební akci spolu úzce souvisely.

2. POPIS STAVBY

Předmětem stavby je zřídit operativní přístup do vnitřních prostor gravitační části hráze. Nový vstup do hráze z levého zavázání navazuje na stávající střední revizní chodbu v bloku č. 0. Pro spojení s revizní chodbou bylo potřebné vybudovat přístupovou šachtu se schodištěm a přístupovou štolu. Na konci přístupové štol je v místě zvětšeného výrubu provedeno propojení do stávající střední revizní chodby. Propojení v definitivní obezdívce je obdélníkového profilu. Přístupová šachta vnitřních rozměrů $2,5 \times 2,5$ m a hloubky cca 8,5 m je situována v levobřežním svahu nad komunikací od koruny hráze k provozní budově. Vstup do šachty je ze vstupního objektu (domku) situovaného přímo nad šachtou. Přístup do objektu je z odstavné plochy navazující na místní komunikaci. Nové objekty jsou vybaveny osvětlením a rozvody NN napojeným na rozvody ve střední revizní chodbě. Součástí stavby bylo i napojení hráze na vodovod z provozní budovy. Touto komunikační trasou bude možné vést i další inženýrské sítě (např. sdělovací kabely atp.). Vstup je vybaven odvětráním a dveřmi zajištěnými proti vstupu nepovolaných osob. Součástí stavby byla i obnova injekční clony v místě levobřežního zavázání.



Obrázek 1: Podélný řez gravitační hráze s vyznačením profilu štol nového vstupu do hráze

Nejprve bylo provedeno odtěžení a **zajištění svahu** nad budoucím vstupem. To sloužilo i pro realizaci ohlubňového rámu šachty a zajištění potřebných ploch a prostoru pro realizaci ražeb.

S postupným odtěžováním svahu byl očištěný skalní svah provizorně zajištěn stříkaným betonem v tl. cca 10 cm s výztuží z Kari sítě $8/150 \times 8/150$. Zajištění bylo doplněno samozávrtnými injektovanými svorníky dl. 4 m. Rozmístění kotevních prvků bylo přizpůsobeno zastiženým geotechnickým poměrům po obnažení svahu.

Vstup do hráze

Ze dna výkopu pro ohlubňový rám byla hloubena šachta a po záběrech zajišťována stříkaným betonem a horizontálními příhradovými ocelovými rámy. Provizorní zajištění bylo pomocí stříkaného betonu s jednou výztužnou sítí. Zajištění výrubů bylo dle zastižených poměrů doplňováno injektovanými svorníky.

Ze dna výrubu šachty byla provedena rozrážka. Z přístupové šachty byla dále ražena přístupová štola směrem k návodnímu lici a čelu bloku č. 0. Štola byla ražena úpadně ve spádu 6,2%, převážně v žulovém masivu.

Předpokládalo se, že postupem ražby k nádrži se mohou zvětšovat přítoky vody z podloží a svahu, které se mohou zvětšovat s postupem ražby k návodnímu lici hráze. Vzhledem k tomu,

že v době provádění byla v letním období hladina vody v nádrži níže, než bývá obvyklé, byly průsaký minimální.

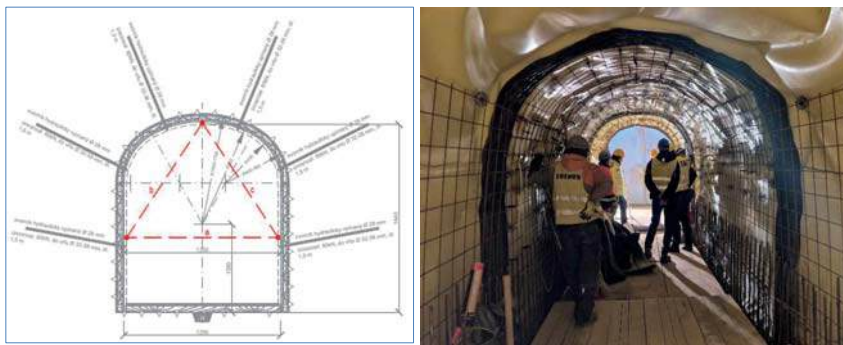
Rozpojování probíhalo převážně s použitím trhacích prací po dílčích záběrech a malé mechanizace (sbíjecí kladiva) pro zajištění výrubů. Zajištění výrubů bylo dle zastižených poměrů doplňováno svorníky.

Přístupová štola byla zakončena čelbou ze stříkaného betonu se sítí. Poslední částí ražené štoly je přechodový „krček“ na konci zvětšeného profilu k betonům tělesa hráze. Zde byla na levé straně z boku štoly provedena krátká rozrážka pro propojení s revizní chodbou v bloku č. 0. Je obdélníkového profilu se světlou šířkou 1,73 m a výškou 2,8 m. Propojení bylo provedeno bez použití trhacích prací. Zbývající část byla vedena v betonu bloku č. 0. Pro vybourání otvoru byly provedeny jádrové obrysové vrty a proříznutí diamantovým lanem.

Stříkaný beton primárního ostění štoly byl - SB25, typ II, obor J2, tl. 8-13 cm, příhradové rámy P50-20-25, á 1,5m, s rovnými stojkami a vrchním obloukovým dílem. Spojení dílů příhradové výztuže jsou šroubované.

Definitivní konstrukce šachty a štoly byla provedena z betonu třídy C30/37 – XA2, DI, D MAX – Dmax -22, S1. Pro minimalizaci průsaků do štoly a šachty byla provedena celoplošná hydroizolace za rubem definitivního ostění konstrukcí, typ „ponorka“. Složení hydroizolačního souvrství: ochranná geotextilie + vodotěsně napojovaná izolační fólie.

Šachta je zakončena ž.b. vstupním objektem s ocelovým točitým přístupovým schodištěm. Na líc provizorního zajištění svahu byla provedena obkladová zeď zděná z regulačního lomového kamene do 60 kg. Vodorovné plochy v okolí objektu byla upraveny jako parkoviště pro obsluhu hráze.



Obrázek 2, 3: Příčný řez raženou štolou – provizorní obezdívka, hydroizolace štoly

3. VÝKON TECHNICKOBEZPEČNOSTNÍHO DOHLEDU

Výkon TBD nad vodním dílem Lipno I je zajišťován vlastníkem díla, ČR s právem hospodařit pro Povodí Vltavy, s. p., podle platných předpisů, ve spolupráci s organizací pověřenou výkonem TBD nad vodními díly. TBD nad vodním dílem je zajišťován vždy v souladu platným Programem TBD pro dané období provozu vodního díla. V tomto dokumentu jsou podrobně specifikovány jednotlivé druhy měření a sledování, jejich četnosti a je zde rozdělena i odpovědnost za provádění těchto činností. Období změny VD stavbou řešil dodatek k Programu TBD.

3.1 TBD V OBDOBÍ STAVBY

Stavba levobřežního vstup do hráze může ovlivnit vybrané části stávajícího vodního díla (gravitační část hráze, injekční clonu v levém zavázání atp.). Rozsah dohledu byl proto koncipován tak, aby řešil dva následující okruhy:

- 1) Stanovení podmínek pro vlastní výkon technickobezpečnostního dohledu (TBD) z hlediska vybavení vodního díla vhodnými zařízeními pro sledování deformací a polohových změn dotčených konstrukcí a stability jejich podloží včetně okolních konstrukcí, a to v takovém rozsahu, aby bylo možné v maximální možné míře sledovat a minimalizovat dopady stavebních prací (zejména ražby podzemních objektů) na stávající konstrukce VD z hlediska jejich bezpečnosti a provozuschopnosti.
- 2) Definování rozsahu měření a sledování na nově realizované konstrukci levobřežního vstupu do hráze.

3.1.1 Vliv na stávající konstrukce vodního díla

Realizace nového vstupu do hráze představuje stavební zásah v těsné blízkosti vzdouvacího prvku (hráze) významného vodního díla. Ovlivnění stability a bezpečnosti gravitační hráze je reálné. Stavební zásah musel být proto velice šetrný a precizně provedený. O možnostech bezproblémové realizovatelnosti akce lze usuzovat i podle zkušeností s obdobnými stavebními zásahy na vodních dílech v České republice, kde byly dodatečně hornickým způsobem budovány podzemní objekty hornickým způsobem. Například na vodních dílech Mšeno, Bystřička a Janov byly budovány injekční štoly přímo pod základy hráze i s použitím trhacích prací.

Z pohledu TBD je tedy jednoznačně největším rizikem provádění stavby a její vliv na stávající konstrukce vodního díla, zejména na gravitační část hráze a injekční clonu v levém zavázání. Ovlivněny mohou být deformace, polohová stálost a stabilita gravitačního bloku č. 0.

Dále může být ovlivněn průsakový režim v levém zavázání. Předpokládalo se, že bude porušena těsnost původní injekční clony, která bude již při stavebních pracích obnovována.

Rizikové samo o sobě je i provádění stavby hornickým způsobem. Pro výstavbu podzemních objektů byl použit cyklický systém ražby dle zásad NRTM (nová rakouská tunelovací metoda). Při provádění byla dodržována vyhláška ČBÚ 55/1996 Sb.

I když je stavba navržena v příznivých geologických podmínkách, tak nadloží je zde poměrně malé. Bylo možné proto očekávat i deformace v poklesové kotlině, zejména levého svahu a levobřežní komunikace. Tyto deformace by měly být sledovány a minimalizovány. Riziko havárie výrubu, v limitním případě zavalení štoly nebo šachty s propadem až k povrchu nebylo možné vyloučit. Prováděním měření a sledování reakce horninového masivu a vlastního geotechnického monitoringu bylo toto riziko zásadně eliminováno.

Při hloubení šachty a ražbě přístupové štoly v podloží hornin bylo využito trhacích prací, nebo opatrných trhacích prací. Dynamické účinky trhacích prací mohou mít nepříznivý vliv na okolní konstrukce. Tyto účinky bylo třeba monitorovat a minimalizovat.

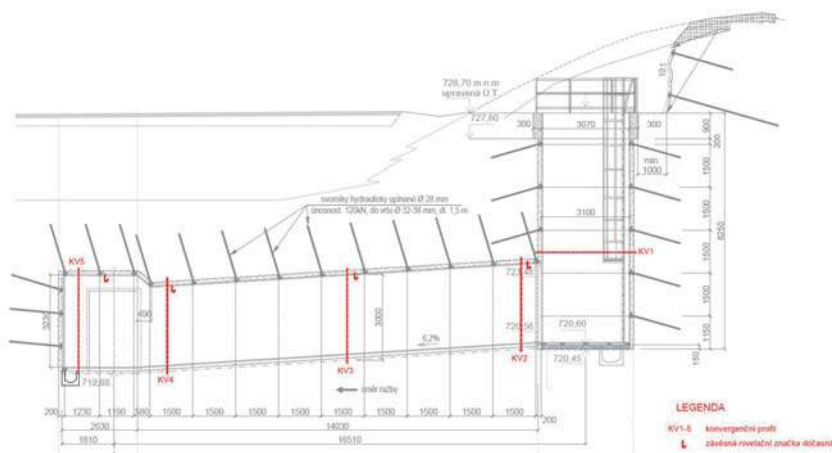
3.1.2 Sledování dopadu stavebních prací na stávající konstrukce VD

Pro sledování vlivu stavby na konstrukce tížných bloků hráze v levém zavázání a přilehlém okolí bylo možné využít stávající měřicí zařízení TBD:

- geodetické kontrolní body na koruně hráze a v chodbách gravitační části hráze,
- síť pevných (výchozích) nivelačních bodů,
- síť pevných směrových bodů (geodetické pilíře a zajišťovací body),
- roztahoměrné základny na dilatačních sparách hráze.

Doplňeno pak bylo sledování náklonů bloků č. 0 a č. 1 v úrovni revizní chodby pomocí Clinometru.

- měření svislých deformací kontrolních bodů v komunikaci nad přístupovou štolou metodou velmi přesné nivelace (VPN),
- měření 3D deformací kontrolních bodů v levobřežním svahu a skalním svahu nad komunikací po koruně hráze metodou polárního měření a výpočtu posunů z rozdílů souřadnic při vyrovnání geodetické sítě,
- měření svislých posunů kontrolních bodů v záklenku štolý při provizorním vystrojení profilu metodou VPN,
- měření relativních deformací profilu šachty a štolý při provizorním vystrojení (konvergenční měření),
- sledování případně měření přítoků do podzemního díla.



Obrázek 4: Podélný řez přístupovou štolou a šachtou - provizorní vystrojení

3.1.4 Sledování na nově realizované konstrukci levobřežního vstupu do hráze

Na nově realizované konstrukci levobřežního vstupu do hráze bylo zavedeno především sledování polohové stálosti ž.b. konstrukce a měření průsaků:

- měření svislých posunů kontrolních bodů v přístupové šachtě a štolě,
- měření relativních deformací na dilatačních sparách v přístupové šachtě a štolě,
- měření celkového průsaku z drenážního systému přístupové štolý,
- měření celkového průsaku do podzemních objektů (přístupové šachty a štolý).

3.1.5 Sledování dynamických účinků

Při budování přístupové šachty a štolý s propojením do revizní chodby bylo použito thracích prací, rozpojovacích nebo bouracích prací vyvolujících otřesy a vibrace. Účinky těchto prací bylo nutné monitorovat a minimalizovat. Při návrhu thracích prací byla zohledněna podmínka ochrany horninového masivu před nadměrným porušením, ochrana vlastní hráze, technologie, okolních objektů i ochrana nově budovaných objektů. Ve smyslu ČSN 730040 – Zatížení

stavebních objektů technickou seismicitou a jejich odezva bylo nutné v projektu trhacích a bouracích prací uvažovat stupeň poškození 0 – bez poškození. Nevznikají žádná viditelná poškození. Funkce objektů, jako např. vodotěsnost hrází, jsou plně zachovány.

Pro kontrolu byla navržena seismická měření. Seismická měření byla nutná i k ověření projektových předpokladů, stanovených mezích náloží, při úpravě technologie ražení, vrtného schéma apod. Tato měření jsou součástí technologie trhacích prací. Na podkladě vyhodnocení mohou být upřesňovány podmínky a mezní parametry náloží pro další postupy ražby.

System kontrolы provádění trhačích prací a dodržování stanovených parametrů byl zajišťován:

- Úředními seizmickými měřeními
- Průběžným seizmickým monitoringem celého průběhu trhacích prací

Úřední měření seizmických účinků

Jedná se o jednorázová kontrolní úřední měření otřesových účinků od trhacích prací na určených objektech a zařízeních VD, kterými dodavatel TP prokazuje správnost stanovených a používaných mezních náložů a ostatních parametrů trhacích prací, při respektování stanovených přípustných hodnot dynamického zatížení měřených objektů VD. Měření se provádí speciálními přístroji (seismografy) s registrací všech tří složek kmitání.

Při měření je registrován celý záznam vlnění vyvolaný odstřelem. Měření zahrnuje vyhodnocení dominantních hodnot rychlostí kmitání a vlivu otřesů na hodnocené objekty (dle ČSN 730040), dále frekvenční analýzu FFT, vyhodnocení dráhy kmitů a zrychlení.

Zajištění měření bylo v gesci dodavatele TP.

Průběžné monitorování trhacích prací

Na vodním díle byl osazen monitorovací systém, který umožnil průběžnou kontrolu veškerých trhačích a bouracích prací po dobu jejich provádění a kontrolu správnosti stanovených náložů a dodržování stanovených limitních hodnot ořesů na určených místech a zařízeních. Za optimální bylo vybráno měřicí stanoviště v revizní chodbě v bloku č. 0.

Průběžný monitoring účinků trhacích a bouracích prací na vybraných stanovištích bude v gesci odborné organizace pověřené výkonem TBD. Vlastní měření zajišťovala specializovaná organizace.

Přípustné hodnoty dynamického zatížení objektů a zařízení VD

Mez dynamického namáhání je dle ČSN 730040 „Zatížení stavebních objektů technickou seizmicitou a jejich odezva“ stanovena příslušnou hodnotou rychlosti kmitání, kdy poměrná deformace ještě nevyvolá křehká porušení zdiva, omítek, izolací u podzemních vedení, trhlínky v hrdlových spojích potrubních vedení apod.

Rychlost kmitání se měří obvykle přímo na objektu, a to na úrovni terénu, nejnižším podlaží, při základech (tzv. referenční stanoviště). Pokud se měří v nadzemních částech konstrukce, sleduje se dynamická odezva.

Závíslost stupně poškození na maximální rychlosti kmitání na druhu objektu a na základové půdě uvádí tab. 14 čl. 5.5.2.2 normy. Podle tohoto systému byly posuzované objekty, které mohou být dotčeny technikou seismicitou zaříděny. Stanovení přípustných kritérií (rychlostí kmitání) odpovídá uvedené normě i významu objektů vodního díla z hlediska TBD. Zařídění objektů z hlediska odolnosti bylo projednáno zástupci specializované organizace BARTOŠ – ENGINEERING A VODNÍ DÍLA – TBD a.s.

Výsledky monitorování trhačích prací

Při výstavbě podzemních objektů bylo realizováno 47 odstřelů. Každý z nich byl podrobně monitorován. Zejména s přibližováním se ražby štoly k hrázi a původní injekční cloně byly výsledky měření velice diskutovány a vyžádaly si režim „opatrné trhací práce“. Stanovené přípustné rychlosti kmitání pro dané frekvenční obory nebyly překročeny.

3.2 GEOTECHNICKÝ MONITORING

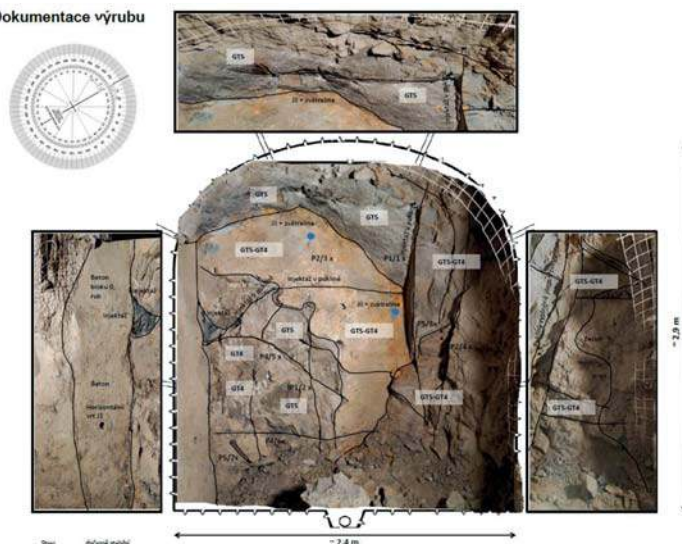
Geotechnický monitoring při stavbě byl zaměřen na zaznamenávání a vyhodnocování reakce horninového masivu a geotechnických vrstev v celém rozsahu jeho zasažení budovaným inženýrským podzemním dílem nebo probíhajícími přírodními procesy tak, aby bylo možné přijímat technická či technologická opatření, která by zajistila stabilitu a bezpečnost stávajících i nově budovaných konstrukcí vodního díla. Významným prvkem geotechnického monitoringu byla kontrola bezpečnosti dočasných konstrukcí prvků speciálního zakládání použitých k stabilizaci stavební jámy, svahu a provizorních obezdívek šachty a štoly. Vedle sledování bezpečnosti a efektivnosti prací prováděných hornickým způsobem a prací speciálního zakládání byla pozornost zaměřena i na sledování všech účinků v okolí stavby vymezené zónou vlivu stavby na okolí (v koordinaci s výkonem TBD). Významnou a potřebnou částí geotechnického monitoringu byla dokumentace zastiženého geotechnického (horninového) prostředí.

Geotechnický dozor investora (GTDI) prováděla specializovaná společnost PUDIS, a.s.

Dodavatel ražby dokumentoval skutečný tvar výrubu pro určení případných nadvýmolu. K tomu bylo po osazení hlavních nosných rámu příhradové výztuže provedeno zaměření výrubu vzhledem k vnitřní straně rámu. Celkem bylo monitorováno 9 míst v měrném profilu. Kontrolu prováděl GTDI.

Během provádění výkopových prací a výrubů při zajištění levobřežního svahu, hloubení šachty a ražbě přístupové štoly byl dokumentován geologický sled. Byly dokumentovány skutečně zastižené geologické poměry a porovnávány s předpokladem z projektové dokumentace. V případě zásadních zaznamenaných odchylek od předpokladů projektové dokumentace měl být projektant včas informován. Eventuálně měla být přijata opatření – dodatečné vyztužení apod. Kritický je především vznik kritických klínů definovaných systémem diskontinuit. Na tento jev mělo být operativně reagováno optimalizací poloh, délek a úklonu systémového kotvení nepředpjatými tyčovými kotvami.

Dokumentace výrubu



PROVÁDĚNÍ TBD PŘI VÝSTAVBĚ NOVÉHO DOPLŇKOVÉHO BEZPEČNOSTNÍHO PŘELIVU NA VD ORLÍK

D. Richtř

VODNÍ DÍLA – TBD a.s., Praha, Česká republika

ABSTRAKT: V současné době již několik let probíhá na VD Orlík zásadní stavební akce k zabezpečení tohoto významného vodního díla vltavské kaskády před účinky velkých vod. Vlastní stavební akce je poměrně rozsáhlá a představuje významný zásah do konstrukcí vodního díla i jeho současného dispozičního uspořádání. Nevýraznějším prvkem je zde výstavba nového bezpečnostního přelivu a skluzu v pravém zavázání v těsné blízkosti betonové gravitační hráze. Vzhledem k rozsahu stavebního zásahu byl řešen návrh základního rozsahu technickobezpečnostního dohledu (dále také TBD) již v době zpracování projektové dokumentace pro vydání rozhodnutí o umístění stavby.

Příspěvek popisuje činnosti TBD prováděného před vlastní stavbou, v jejím průběhu i rozšíření zařízení TBD po dokončení stavby. TBD při této stavební akci úzce souvisí i s geotechnickým monitoringem prováděným s cílem zajistit bezpečnost poměrně hlubokých stavebních jam. Stručně je zde proto popsán i základní rozsah GTM. Příspěvek popisuje i systém sledování účinků trhací prací při rozpojování hornin používaných na stavbě ve značném rozsahu.

1. ÚVOD

Vodní dílo Orlík bylo vybudováno v letech 1954 -1962 u obce Solenice, v říčním km 144,650 řeky Vltavy. K hlavním účelům VD Orlík patří zajištění spádu a akumulace vody pro potřeby energetiky, nalepšování průtoků, především pro zajištění minimálního průtoku ve Vltavě v profilu Vrané 40 m³/s ve spolupráci při hospodaření s vodou s vodními díly Lipno I a Slapy, v součinnosti s ostatními vodními díly Vltavské kaskády. Retenční prostor nádrže zajišťuje částečnou ochranu před povodněmi. Nádrž slouží i k rekreačnímu a sportovnímu využití.

Vodní dílo Orlík tvoří tři části - těleso hráze, vodní elektrárna a plavební zařízení. Hráz je přímá, betonová, délka v koruně je 450 m, výška 90,5 m. V elektrárně situované na levém břehu, jsou instalovány čtyři Kaplanovy turbíny. Na pravém břehu je umístěno plavební zařízení pro lodě do výtlačku 300 tun (nedokončené a neprovozované) a zařízení pro přepravu sportovních lodí do výtlačku 3,5 t, které bylo v roce 2021 modernizováno. Nově lze přepravovat plavidla do šířky 3,00 m, délky 10 m a výtlačku 6 t.

Vodní dílo Orlík je z hlediska technickobezpečnostního dohledu zařazeno podle rozhodnutí ústředního vodoprávního úřadu do I. kategorie. TBD nad vodním dílem Orlík je zajišťován vlastníkem díla, ČR s právem hospodařit pro Povodí Vltavy, s. p., podle platných předpisů, ve spolupráci s organizací pověřenou výkonem TBD nad vodními díly.

Současné době na vodním díle probíhá stavební akce „VD Orlík – zabezpečení VD před účinky velkých vod“. Jejím účelem je zabezpečení vodního díla pro bezpečné převedení kontrolní teoretické povodňové vlny s dobou opakování 10 000 let.

Zabezpečení vodního díla Orlík proti účinkům velkých vod bude vyřešeno vybudováním doplňkového bezpečnostního přelivu a skluzu s vysokou kapacitou v prostoru pravobřežního zavázání hráze.

Nový bezpečnostní přeliv o třech polích bude hrazen segmentovými uzávěry. Hrazený profil je 3 × 13,3 x 8,15 m. Kapacita přelivných polí při hladině 354,60 m n. m. je 3 × 588 m³/s.

Krytá část skluzu navazující na přeliv v podélném spádu cca 5 % – tři ž.b. rámy 13 m × 9 m, v délkách 53 m, 66 m a 72 m od jednotlivých polí. Navazující otevřený skluz má délku 235 m, šířku 16 m a hloubku 6 m, tvoří je ž.b. koryto v podélném sklonu až 40 %.

2. VÝKON TECHNICKOBEZPEČNOSTNÍHO DOHLEDU

Výkon TBD nad vodním dílem je zajišťován vždy v souladu platnými Programy TBD a jejich dodatky pro dané období provozu vodního díla. V těchto dokumentech jsou podrobně specifikovány jednotlivé druhy měření a sledování, jejich četnosti a je zde rozdělena i odpovědnost za provádění těchto činností.

2.1 TBD V OBDOBÍ PŘED STAVBOU

Vzhledem k rozsahu stavebního zásahu bylo potřebné zajištění podrobnějšího sledování deformací stavebních konstrukcí a jejich podloží v pravé části hráze s dostatečným předstihem před vlastní stavbou. Toto sledování je potřebné pro definování vlivu výstavby nových objektů na stávající konstrukce hráze, žlabů lodních zdvihadel a jejich podloží. Požadováno bylo minimálně jedno roční období. Rozšířený výkon TBD před stavbou začal od června 2018 a ukončen byl v září 2021 se zahájením stavby. Vzhledem k oddálení plánovaného zahájení stavby tak byl k dispozici dostatečný soubor výsledků měření.

Sledování bylo rozšířeno o měření svislých a vodorovných posunů, náklonů a relativních pohybů na dilatačních spárách bloků v pravém zavázání. Před stavbou byly provedeny i pasportizace nejbližších objektů.

2.2 TBD V OBDOBÍ STAVBY

TBD nad vodním dílem Orlík po dobu stavby je zaměřen na zajištění bezpečnosti a provozní spolehlivosti hráze i jejích objektů a zařízení. Zahnuje všechna sledování a měření, která je nutné provádět při výše uvedené stavební akci. Toto sledování je potřebné pro definování a eliminování vlivu výstavby nových objektů na stávající konstrukce hráze, žlabů lodních zdvihadel a jejich podloží. Dále jsou předmětem sledování nově budované konstrukce vtokového objektu a zakryté i otevřené části skluzu. U nově budovaných konstrukcí je předmětem TBD měření a sledování deformací, vztlakového a průsakového režimu a vlastností použitých materiálů a konstrukcí. V neposlední řadě je pozornost věnována provozní spolehlivosti a životnosti ocelových hradicích konstrukcí.

Protože se budují i zcela nové konstrukce je náležitá pozornost TBD věnována i jejich založení, respektive stavu a kvalitě podloží. Činnost TBD proto bezprostředně souvisí s geotechnickým monitoringem stavby (GTM), od kterého přebírá výsledky a doporučení.

Mezi hlavní činnosti výkonu TBD prováděného v souvislosti se stavbou patří:

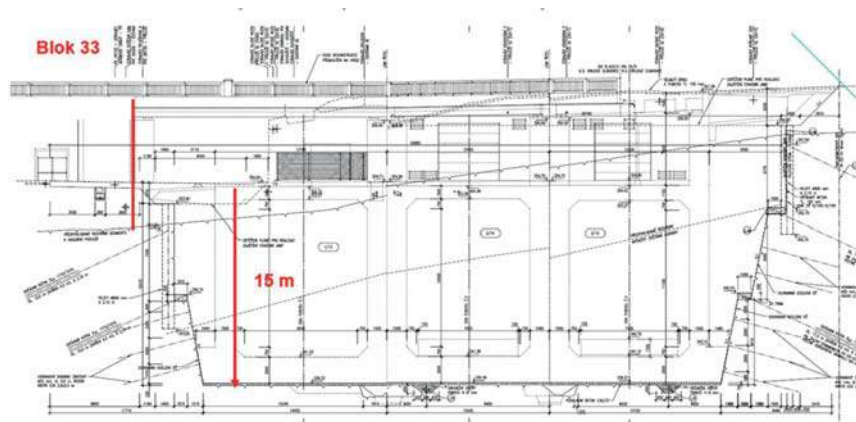
- kontrolní geodetické měření deformací pravé části tělesa hráze ve svislém směru,
- kontrolní geodetické měření deformací pravé části tělesa hráze ve vodorovném směru, včetně proměření stability sítě pevných bodů,
- náklony třech tížných bloků v pravé části hráze měřené náklonoměrem (manuální měření),
- vodorovné deformace podloží hráze pod blokem 28P měřené inverzním kyvadlem (manuální měření obsluhou díla),
- měření relativních deformací na dilatačních spárách bloků v pravém zavázání, (automatický monitoring – 3 dilatační spáry vždy po 3 snímačích na jednotlivé směry),
- kontrolní geodetické měření deformací konstrukcí lodního výtahu a zdvihadla ve svislém a vodorovném směru,
- měření relativních deformací na dilatačních spárách lodního zdvihadla 300 t,
- sledování dynamických účinků trhacích a stavebních prací,
- prohlídky stavby prováděné hlavním pracovníkem pověřené organizace nebo jeho zástupcem,

- měření deformací na nově vybudovaných objektech,
- měření vztakového a průsakového režimu na nově vybudovaných objektech,
- sledování postupu výstavby a skutečností souvisejících s bezpečností VD, včetně nově budovaných objektů.

Při výkonu TBD kromě pověřené organizace a obsluhy VD spolupracují i pracovníci investora, TDI, GTDI, dodavatele stavby a specializovaných organizací (zejména specialistů na sledování účinků trhacích prací).

2.2.1 Sledování polohové stálosti bloků v pravém zavázání hráze

Rozsah podrobnějšího sledování polohové stálosti bloků hráze, které bylo zavedeno již před zahájením stavby, byl popsán v předchozích kapitolách. Hlavní obava o stabilitu předmětných bloků hráze vyplývá z faktu, že v jejich těsné blízkosti bude vyhloubena hluboká stavební jáma zasahující až pod úroveň základové spáry bloků.



Obrázek 1: Stavební jáma SO 02 pod úrovní založení krajních bloků hráze

Vedle poměrně standardního měření svislých posunů kontrolních bodů metodou velmi přesné nivelace jsou sledovány vodorovné posuny kontrolních bodů ve směru toku a kolmém na tok. Kontrolní body tvoří fixní odrazné hranoly na nepřístupných místech a trny pro přenosné hranoly na přístupných místech. Vodorovné posuny jsou určovány polární metodou s proměření sítě vztazných bodů. Pro měření je používána přesná totální stanice Leica TM30, hranoly a podložky Leica, minihranoly Leica. Naměřená data jsou pak robustně vyrovnána jako rovinná geodetická síť metodou nejmenších čtverců (MNC) v programu EasyNet. Výsledné směrodatné odchylky (apriorní a aposteriorní) jsou pro jednotlivé body a jednotlivé souřadnice jsou vždy uvedeny ve výpočetním protokolu. Mez statisticky prokazatelného posunu Δ_{met} dosahuje velikosti od $\pm 0,8\text{mm}$ do $\pm 1,0\text{mm}$.

Síť vztazných bodů, kterou tvoří pevné observační pilíře a zajišťovací body je využívána i pro měření deformací dočasných konstrukcí zajištění stěn stavebních jam.

V době zpracování tohoto příspěvku je dokončen vtokový objekt SO 01, otevřená část skluzu SO 03 a postupně se hloubí stavební jáma zakryté části skluzu SO 02 v těsné blízkosti hráze. Podle dosavadních výsledků TBD je možné konstatovat, že stávající konstrukce hráze a lodních výtahů jsou polohově stabilní, jejich deformace jsou příznivě nízké, ovlivněné především teplotními vlivy. Vlivy stavby jsou příznivě malé nebo neprokazatelné.



Obrázek 2: Observační pilíř sítě vztazných bodů, totální stanice Leica TM30

2.2.2 Deformace nových stavebních konstrukcí vodního díla

Polohová stálost konstrukcí vtokového objektu a obou částí skluzů bude ověřována měřením svislých a vodorovných posunů kontrolních bodů, relativních deformací na dilatačních spárách a relativních deformací na extenzometrech. Pro zajištění těchto měření jsou postupně prováděny instalace:

- zajišťovacích nivelačních bodů (pevných výchozích) v oblasti pravého zavázání hráze,
- zajišťovacích nivelačních bodů v oblasti spodní části otevřeného skluzu,
- nivelačních bodů na dilatačních blocích konstrukcí v takovém uspořádání, aby bylo ze zjištěných svislých posunů možno posuzovat i náklony vybraných částí konstrukce,
- směrových bodů na konstrukci skluzů pro sledování vodorovných deformací metodou záměrné přímky a trigonometrie,
- třech pozorovacích pilířů na konstrukci skluzu (dva na napojení zakryté části na otevřenou a třetí v dolní části zakryté části. Pilíře budou zahrnuty do současné sítě vztazných bodů,
- několika desítek deformetrických základů na dilatačních spárách vtokového objektu a obou částí skluzů,
- čtyř dvouúrovňových extenzometrů do vrtů ve spodní části skluzu pro sledování deformací v oblasti základové spáry skluzu a jeho podloží.

Kontrolní zařízení TBD na nových konstrukcích vznikají postupně s postupem stavby. Následně jsou pak zaváděna příslušná měření. V současné době je na konstrukcích otevřené části skluzu již více jak roční řada měření. Podle výsledků je možné konstatovat, že konstrukce jsou polohově stabilní a deformace jsou příznivě nízké, vratné, ovlivněné především teplotními vlivy.

2.2.3 Vztakový a průsakový režim na nových konstrukcích

Na nových konstrukcích bude měřen vztlak v oblasti základové spáry vtokového objektu a zakryté části skluzu. Dále budou měřeny výtoky z drenážních systémů, zejména základové drenáže. Některá měření budou automatická. Dočasným měřením je například měření celkového průsaku do stavební jámy vtokového objektu. To v současné době, i při kompletně nedokončené nové injekční cloně dosáhlo maxima cca 2 l/s.

2.2.4 Sledování postupu stavby

Z hlediska TBD je důležité i sledování vlastního postupu stavby, který je při této akci velice rozsáhlý a komplexní. Velká pozornost je věnována konstrukcím, které není možné běžně vizuálně zkontrolovat, ale jejich správné provedení je pro stabilitu a bezpečnost objektů zásadní. Máme na mysli zejména injekční clonu k omezení průsaků a snížení vztaku na

konstrukce. Kontrole provádění injekčních prací byla věnována velká pozornost. Byly prověřovány technologické postupy, složení injekční směsi, její spotřeby a konečné propustnosti horninového prostředí zjištěné z výsledků vodních tlakových zkoušek (VTZ). Při provádění prací bylo potřebné reagovat na skutečně zatížené horninové prostředí, které bylo velice variabilní.

2.3 MONITORING DYNAMICKÝCH ÚČINKŮ STAVEBNÍCH PRACÍ

Při provádění zemních prací a zakládání konstrukcí nového přelivu a skluzu se používá trhacích prací nebo bouracích prací vyvolujících otřesy a vibrace. Účinky trhacích a bouracích prací je nutné monitorovat a minimalizovat. Omezení a podmínky provádění trhacích a bouracích prací musí zajistit maximální míru ochrany stávajících i nově budovaných objektů vodního díla. Při návrhu i provádění trhacích prací musí být zohledněna ochrana horninového masivu před nadměrným porušením, ochrana vlastní hráze, původní injekční clony, lodních výtahů, technologie, okolních objektů i ochrana nově budovaných objektů. Ve smyslu ČSN 730040 – Zatížení stavebních objektů technickou seismicitou a jejich odezva je nutné v projektu trhacích a bouracích prací uvažovat stupeň poškození 0 – bez poškození. Nevznikají žádná viditelná poškození. Funkce objektů, jako např. vodotěsnost nádrží, jsou plně zachovány.

Systém kontroly provádění trhacích a bouracích prací a dodržování stanovených parametrů (seismická kontrola) je zajišťován ve dvou stupních:

1. Jednorázová úřední seismická měření na více stanovištích objektů VD k prošetření správnosti používané technologie a jejich parametrů (zajišťuje generální dodavatel stavebních prací).
2. Průběžný seismický monitoring veškerých otřesů a vibrací od trhacích prací i ostatních technologií, jež jsou zdrojem technické seismicity na určených objektech VD. Tato měření slouží ke kontrole používaných technologických postupů s respektováním stanovených parametrů i přípustné seismicity (zajišťuje investor prostřednictvím specializované firmy).

Vzhledem k rozsahu stavby a použití trhacích prací se zatížení objektů technickou seismicitou mění podle polohy i výškové úrovně jednotlivých odstřelů, což je i časově závislé na postupu výstavby a dokončenosti některých nově budovaných objektů. Tomu se přizpůsobuje i rozmístění snímačů monitorovacího systému.

Dalším prvkem kontroly je **monitorovací systém Geosys (SEISMIC)**, který je dlouhodobě využíván na vodním díle Orlik v rámci činnosti TBD. V současném uspořádání je zapojen od roku 2017. Systém umožňuje sledovat dynamické charakteristiky případných dynamických impulzů. V systému jsou osazeny čtyři snímače (seismometry) rozmístěné v pravé části hráze. I když není systém přímo konfigurován pro měření účinků trhacích prací (omezení rychlosti kmitání do 10 mm/s, frekvencí do 100 Hz a omezené možnosti sdílení naměřených dat) lze ho využít pro orientační porovnání.

2.3.1 Přípustné hodnoty dynamického zatížení objektů a zařízení VD

Mez dynamického namáhání je dle ČSN 730040 „Zatížení stavebních objektů technickou seismicitou a jejich odezva“ stanovena příslušnou hodnotou rychlosti kmitání, kdy poměrná deformace ještě nevyvolá křehká porušení zdiva, omítek, izolací u podzemních vedení, trhlíny v hrdlových spojích potrubních vedení apod.

Rychlost kmitání se měří obvykle přímo na objektu, a to na úrovni terénu, nejnižším podlaží, při základech (tzv. referenční stanoviště). Pokud se měří v nadzemních částech konstrukce, sleduje se dynamická odezva.

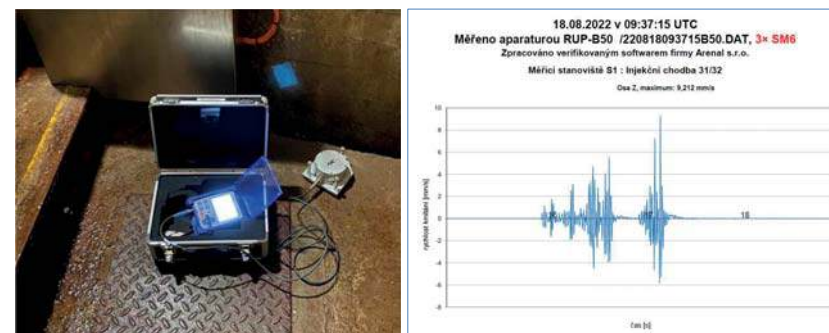
Závislost stupně poškození na maximální rychlosti kmitání, na druhu objektu a na základové půdě uvádí tab. 14 čl. 5.5.2.2 normy. Podle tohoto systému byly posuzované objekty, které mohou být dotčeny technickou seismicitou zatříděny. Stanovení přípustných kritérií (rychlostí

kmitání) odpovídá uvedené normě i významu objektů vodního díla z hlediska TBD. Zatřídění objektů z hlediska odolnosti bylo projednáno zástupci specializované organizace BARTOŠ – ENGINEERING a VODNÍ DÍLA – TBD a.s.

2.3.2 Úřední měření seismických účinků stavebních prací

Jedná se o zejména jednorázová kontrolní úřední měření otřesových účinků od trhacích prací na určených objektech a zařízeních VD, kterými dodavatel prokazuje správnost stanovených a používaných náložů a ostatních parametrů trhacích prací, při respektování stanovených přípustných hodnot dynamického zatížení měřených objektů VD. Měření se provádí ověřenými měřidly (seismografy) s registrací všech tří složek kmitání. Při měření je registrován celý záznam vlnění vyvolaný odstřelem nebo dílčí úsek fáze rozpojování strojními mechanismy. Měření zahrnuje vyhodnocení dominantních hodnot rychlostí kmitání a vlivu otřesů na hodnocené objekty (dle ČSN 730040), dále frekvenční analýzu FFT, vyhodnocení dráhy kmitů a zrychlení. Finálním výsledkem hodnocení měření je doporučení pro další postup trhacích prací s případnou úpravou parametrů trhacích prací a mezních náložů, návrhem úpravy vrtného i časového schéma apod.

Trhací práce mohou být upraveny podle výsledku seismických měření zkušebních i dalších odstřelů, dosažené přesnosti a kvality rozpojení a dle stanoviska odborného dozoru.



Obrázek 3, 4: Stanoviště seismografu v ICH blok 32, Záznam ze seismografu

2.3.3 Průběžné monitorování trhacích prací

Průběžná kontrola seismicity na objektu hráze je zajištěna nepřetržitým monitorováním veškerých otřesů od trhacích i stavebních prací. Tato měření zajišťuje pro investora specializovaná firma BARTOŠ – ENGINEERING. Jejich účelem vedle průběžné kontroly účinků trhacích prací i kontrola správnosti stanovených náložů a dodržování stanovených limitních hodnot otřesů na určených místech a zařízeních. Podle výsledků měření se předpokládají i případné úpravy technologie provádění trhacích prací i maximálních náložů.

Byla osazena dvě měřicí stanoviště. Jedno v injekční chodbě v blok 32 na betonovém ostění chodby a druhé ve velině na podlaze (keramická dlažba).

K měření vibrací jsou použita ověřená měřidla chvění (třísložkové snímače) se záznamem na monitorovací jednotku s orientací registrace otřesových účinků ve třech směrech kmitání x, y, z (složka vodorovná podélná, vodorovná příčná a složka svislá) a trvale snímanou hladinou vibrací. Naměřené hodnoty rychlosti kmitání jsou kontrolně odečítány v pravidelných intervalech a současně zasílány k okamžitému vyhodnocení.

2.3.4 Výsledky monitorování trhacích prací

Trhací práce byly využívány v menším rozsahu při výstavbě otevřeného skluzu SO 03, ve značném rozsahu pak na vtokovém objektu SO 01 a zakryté části skluzu SO 02. V době zpracování tohoto příspěvku bylo již realizováno více jak 250 odstřelů. Každý z nich byl podrobně monitorován. Zejména v prostoru sousedícím s hrází a původní injekční clonou byly výsledky měření velice diskutovány a vyžádaly si úpravy technologických postupů (TP) včetně zřízení řady odcloňovacích (ochranných) nenabíjených vrtů.

V době, kdy nebyly prováděny trhací práce, nebylo zařízení pro průběžné monitorování TP v provozu. Funkční byl jen monitorovací systém Geosys využívaný v rámci TBD. Zajímavé je, že této době se podařilo na VD zaznamenat účinky několika přirozených zemětřesení.

2.4 GEOTECHNICKÝ MONITORING

Geotechnický monitoring (GTM) při stavbě je zaměřen na zaznamenávání a vyhodnocování reakce horninového masivu a geotechnických vrstev v celém rozsahu jeho zasažení budovaným inženýrským dílem nebo probíhajícími přírodními procesy tak, aby bylo možné přijímat technická či technologická opatření, která by zajistila stabilitu a bezpečnost stávajících i nově budovaných konstrukcí vodního díla. Významným prvkem geotechnického monitoringu je i kontrola bezpečnosti dočasných konstrukcí prvků speciálního zakládání použitých k stabilizaci stavebních jam. Vedle sledování bezpečnosti a efektivnosti zemních prací a prací speciálního zakládání je pozornost zaměřena i na sledování všech účinků v okolí stavby vymezené zónou vlivu stavby na okolí. Významnou a potřebnou částí GTM je dokumentace zastiženého geotechnického (horninového) prostředí. Ta bude potřebná i pro TBD v průběhu ověřovacího a následného trvalého provozu vodního díla.

Monitoring v průběhu výstavby zajišťuje geotechnický dozor investora (GTDI) v součinnosti se zhotovitelem stavby. GTDI provádí investorem najatá specializovaná společnost PUDIS, a.s.

Geotechnický monitoring v průběhu výstavby bude složen z následujících prvků:

- Inklinometrické vrty
- Geodetické pozorovací body
- Dynamometry
- Extenzometrické dráhy
- Náklonměr
- Měřiče totálního tlaku

Zhotovitel stavby zajišťuje instalace zařízení pro monitoring (inklinometrické vrty, dynamometry, pozorované body, měřiče totálního tlaku atp.) a zajišťuje i vybraná měření (geodetické měření pozorovaných bodů prostřednictvím geodetické skupiny VODNÍ DÍLA – TBD a.s.). Základní rozsah instalací a činností je popsán v projektové dokumentaci stavby. K drobným změnám dochází v reakci na postup stavby a zastižené geotechnické prostředí. Měřicí zařízení jsou osazována v měrných profilech stěn a svahů stavebních jam.

Přesný obsah GTM je dán v projektu geotechnického monitoringu. Zde jsou uvedena i kritéria pro mezní stavy (meze bdělosti a kritické meze). Vedle dokumentace IG sledu (inženýrskogeologická dokumentace zastiženého geotechnického prostředí) se provádí měření na výše popsaných zařízeních. Výsledky GTM zpracovává a prvotně hodnotí GTDI.

Výsledky GTM a souvisejícího TBD hodnotí rada monitoringu stavby (**RAMO**). Rada monitoringu stavby je ustanovena ve složení zástupců: Investora, TDI, GTDI, TBD, zhotovitele a projektanta. Tato pracovní skupina řeší výsledky GTM, TBD a dalších specializovaných monitoringů stavby. Rada monitoringu bývá svolávána cca 1× měsíčně. Četnost může být zvýšena podle potřeby stavby v závislosti na postupu prací. Všechny výsledky GTM jsou k dispozici všem zúčastněným prostřednictvím centrálního datového skladu stavby. Na jednání RAMO jsou vždy zhodnoceny aktuální výsledky GTM a TBD.

3. ZÁVĚR

Celkově lze konstatovat, že doposud prováděné stavební práce neměly žádný negativní vliv na bezpečnost a provozuschopnost vodního díla. Nové konstrukce bezpečnostního přelivu jsou podle výsledků postupně zaváděných měření TBD stabilní a bezpečné.

Dále je potřebné zmínit příznivé výsledky geotechnického monitoringu. Doposud nebyly zaznamenány žádné skutečnosti, které by signalizovaly ohrožení stability dočasných konstrukcí stavebních jam, nebo poukazovaly na nepříznivé skutečnosti v založení nových konstrukcí přelivu a skluzu do okolního horninového prostředí.

Výjimkou bylo jen zaplavení jímky stavební jámy SO 01 netěsnostmi v horninovém podloží pod čelní štětovou stěnou, ke kterému došlo v dubnu 2023 při plánovaném zvyšování hladiny vody v nádrži. Tato nepříjemná skutečnost nikterak neovlivnila bezpečnost vodního díla, zásadně však negativně ovlivnila časové postupy výstavby.

Po nezbytných doplňujících průzkumných pracích a jejich vyhodnocení se pro zamezení „nezvadatelných“ průsaků do jímky úspěšně realizovala sanace (těsnění) průsaků podloží pod podzemní těsnicí stěnou (PTS).

Při zakládání objektu byly zjištěny nepříznivé geotechnické podmínky na návodní straně objektu tubusů 2 a 3. Problematika byla týmem stavby intenzivně řešena. Výsledkem byly projekční změny v poloze objektů tubusu 2 a 3 (zkrácení délky, situování blíže k ose hráze) a poloze definitivní injekční clony objektu (posunutí k návodní patě objektu) a konstrukční úpravy provedení protivztlakových základových drenů (založení přímo na horninu na základové spáře, přizpůsobení trasy drenu významných geologickým poruchám). V dalším období stavby již nedošlo k žádným anomáliím.

PODĚKOVÁNÍ

Poděkování patří všem mým kolegům z organizace pověřené výkonem TBD, kteří se na této poměrně rozsáhlé akci podílejí. Zajištění výkonu TBD není jen činností pověřené organizace, poděkování patří i provozním pracovníkům vodního díla, kteří během stavby zvýšili četnost kontrolních obchůzek a vybraných měření na vodním díle. V neposlední řadě patří poděkování všem pracovníkům investora, TDI, GTDI, projektanta, dodavatele stavby a specializovaných organizací kteří při výkonu TBD během stavby spolupracují. Tato spolupráce byla vždy dobrá a věcná.

LITERATURA

- [1] BARTOŠ, L. Návrh trhacích prací a stanovení přípustných hodnot zatížení objektů VD technikou seismicitou od rozpojování skalních hornin při rekonstrukci VD Orlík - Znalecký posudek č. 343/19; BARTOŠ – ENGINEERING, Brno, 2019.
- [2] RICHTR, D. VD Orlík, Dodatek č. 2 k PTBD č. 4 pro období změny VD stavbou; VODNÍ DÍLA – TBD a.s., Praha, 2020.
- [3] ŠVANCARA, J. VD Orlík – zabezpečení VD před účinky velkých vod, Projektová dokumentace pro provádění stavby; AQUATIS a.s., Brno, 2019.
- [4] VÍŽDA, P. VD Orlík – zabezpečení VD před účinky velkých vod, Realizační projekt geotechnického monitoringu pro období výstavby; GEOTest, a.s., Brno, 2022.

Ing. David Richtř

VODNÍ DÍLA – TBD a.s., Hybernská 1617/40, 110 00 Praha 1

richtr@vdtbd.cz

VS ŽILINA - MONITORING ZOSUVNÝCH ÚZEMÍ

R. Stanček, D. Berezňaninová, Z. Žuffová & H. Antol

VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA, š. p., Bratislava, Slovenská republika

ABSTRAKT: Vodná stavba Žilina je nateraz posledná väčšia vodná stavba (v prevádzke je od roku 1998), zaradená do I. kategórie, ktorá bola na Slovensku vybudovaná. Súčasťou výkonu technicko-bezpečnostného dohľadu nad touto stavbou je aj monitoring zosuvných území, pričom sa jedná o väčšie zosuvné územie Dubeň I. a dva lokálne zosuvy s označením „Hyza“ a „Mojšová Lúčka“. Úlohou monitoringu zosuvných území je pozorovať, zaznamenávať a hodnotiť akékoľvek morfológické zmeny v svahových deformáciách, a to najmä prostredníctvom siete vybudovaných memných objektov. Cieľom príspevku je informatívne oboznámenie sa s vodnou stavbou, so samotným monitoringom zosuvných lokalít ako aj s obnovou, resp. skvalitňovaním siete monitorovacích objektov.

1. VS ŽILINA

Jednou z najmladších vodných stavieb, ktoré boli zaradené do I. kategórie vodných stavieb, je VS Žilina, ktorá je v prevádzke od roku 1998 a je situovaná na juhovýchodnom okraji intravilánu mesta Žilina, v úseku rieky Váh (v rkm 248,685 až 262,420), pričom os stupňa je v rkm 254,900. Správcom vodnej stavby je VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA, ŠTÁTNY PODNIK (ďalej aj VV).

Prioritným účelom vodnej stavby je vzdúvať hladinu Váhu nad VS Hričov v nadväznosti na vybudované energetické stavby Vážskej kaskády a vytvoriť zásobný priestor pre energetické využitie vody na vodnej elektrárni.

Hlavné objekty vodnej stavby: hydrouzol (vodná elektrárňa, hať), zdrž, pravostranná a ľavostranná hrádza zdrže, biokoridor, malá vodná elektrárňa a prehĺbenie Váhu pod hydrouzлом.

Vodná elektrárňa (ďalej aj VE) má 2 vertikálne hydroagregáty s Kaplanovými turbínami s inštalovaným výkonom 2 x 41,5 MW, pričom je využívaný max. spád 28,7 m. **Hať** má tri polia, svetlá šírka jedného haťového poľa je 12 m, pričom samotné hradenie poľa je realizované kombináciou segmentu a klapky. Hradiaca výška segmentu je 11,0 m, klapky 3,3 m čo je spolu 14,3 m.

Zdrž má dĺžku 7,5 km, šírka zdrže sa pohybuje od 250 m do 600 m a jej celkový objem je 18,2 mil. m³.

Pravostranná hrádza zdrže s celkovou dĺžkou 7,3 km je napojená na pravé vtokové krídlo VE a končí napojením na teleso železničnej trate Žilina - Košice pod sútokom Varínky a Váhu. Šírka koruny je 6,0 m a max. výška hrádze 15,0 m, na korune je vozovka so šírkou 4,5 m. Po km 6,100 má hrádza návodné fóliové tesnenie, ktoré je napojené na podzemnú tesniacu stenu v jej podloží, od km 6,100 pokračuje ako homogénna hrádza s návodným prirodzeným kobercom.

Ľavostranná hrádza zdrže v dĺžke 209 m od ľavého vtokového krídla (úsek prehradenia koryta Váhu, ktorého teleso je nasýpané z kameňa a hrubého štrku) má návodné fóliové tesnenie napojené na podzemnú tesniacu stenu zaviazanú do paleogénnych vrstiev. Návodný svah je opevnený gabiónovými matracmi a štrkopieskom, päta hrádze je opevnená kamennou pátkou. Zvyšnú časť ľavostrannej hrádze a ľavej strany zdrže až po obec Strečno tvorí úprava pôvodných svahov, a to vytvorením štrkopieskových prísypov.

Biokoridor je umelo vytvorený kanál na pravom brehu zdrže za pravostrannou hrádzou, ktorý je trvalo napájaný vodou zo sútoku Váhu a Varínky a plní funkciu rybovodu. Nápuštný objekt do biokoridoru je vybudovaný v km 7,124 pravostrannej hrádze. Jeho celková dĺžka je 9,0 km a v spodnej časti je využívaný aj pre športovú plavbu (vodný slalom). Nadlepšenie bežného prietoku v biokoridore 2,0 - 2,5 m³.s⁻¹ na hodnotu 6,0 - 8,0 m³. s⁻¹ (využíva sa pre športovú plavbu) je možné realizovať odberom vody zo zdrže cez odberný objekt v bloku 2 pravého vtokového krídla VE.

Malá vodná elektrárňa (ďalej aj MVE) - objekt pre odber vody na MVE je umiestnený v ľavobrežnom piliera hate, MVE má 2 turbogenerátory (horizontálne Francisove turbíny) s inštalovanými výkonmi 100 kW, resp. 69,5 kW.

Prehĺbenie Váhu pod hydrouzлом - prehĺbenie koryta bolo realizované na dosiahnutie vyššieho spádu pre energetické využitie, na zabezpečenie protipovodňovej ochrany mesta a výhľadovo na zabezpečenie plavebnej dráhy pod stupňom. Celková dĺžka prehĺbenia je 5,35 km, pričom jeho hĺbka sa mení od 0,0 m do 9,0 m.

2. VÝKON TBD

VS Žilina sa skladá zo zemných a betónových objektov a tomuto sú podriadené aj zariadenia na meranie a pozorovanie, ktoré prihládajú na špecifiká a očakávané javy pre jednotlivé objekty. V rámci výkonu TBD sú vykonávané deformačné merania (výškové, resp. polohové deformácie jednotlivých objektov, relatívne posuny dvoch susedných betónových blokov hydrouzla, náklon stredného bloku vodnej elektrárne), monitoruje sa hladinový režim podzemných a priesakových vód (meranie hladín v pozorovacích sondách, vztlakov vo vztlakomerných vrtoch, priesakov), sledujú sa poveternostné a prevádzkové pomery a dohľad sa vykonáva aj nad technologickými zariadeniami. Samotný výkon technicko-bezpečnostného dohľadu realizujú zamestnanci VODOHOSPODÁRSKEJ VÝSTAVBY, š. p., úseku TBD (ďalej aj VV TBD).

Je potrebné spomenúť, že na VS Žilina je prevádzkovaný vodohospodársky informačný a riadiaci systém (VIRS), ktorý automatizovane sníma, prenáša a spracováva namerané dáta v reálnom čase a poskytuje ich správcovi vodnej stavby v požadovaných časových intervaloch a požadovanom množstve. Systém, vybudovaný v rokoch 2001 - 2003, monitoruje režim prúdenia podzemných a priesakových vód v okolí hrádzi, vodnej elektrárne, hate, pod stupňom a v úseku prehĺbenia Váhu, meria hladiny a teploty vody na toku, prietoky cez turbíny, haťové polia a MVE a meria parametre kvality vody.

3. MONITORING ZOSUVNÝCH ÚZEMÍ

V súvislosti s výkonom dohľadu nad VS Žilina sú monitorované aj zosuvné územia - Dubeň I., ktoré sa nachádza nad pravou stranou prehĺbenia Váhu a lokálne zosuvy s označením Hyza a Mojšová Lúčka, ktoré sa nachádzajú nad ľavým brehom zdrže. Pri lokálnom zosuve Mojšová Lúčka uvádzame, že monitoring je vykonávaný len pravidelnými vizuálnymi kontrolnými obhliadkami.

3.1 DUBEŇ I.

Z hľadiska geologického zloženia patria svahy zosuvného územia Dubeň I. k bradlovému pásu, ktoré budujú súvrstvia pieskovcov, ílovcov a siltovitých slieňov, tzv. druhohorné (mezozoické) súvrstvia. Priepustné pieskovce sa nachádzajú na najvyššie položených častiach svahu a ílovce so slieňovcami tvoria stredné a spodné časti svahu. Úložné pomery súvrství sú komplikované, s prevládajúcim úklonom vrstiev proti sklonu svahu. Kvartérne sedimenty reprezentujú kamenito-hlinitá suť, zeminy zosuvného delúvia a fluviálne sedimenty Váhu,

ktoré sa nachádzajú v najnižších partiách záujmovej lokality, kde prekrývajú druhohorné útvary.

Súčasná geomorfológia územia je výsledkom geologickej stavby, tektonických pomerov, klimatických pomerov, dynamiky povrchových vôd, intenzívnej eróznej činnosti Váhu a v neposlednom rade aj činnosťou človeka. Vhodné podmienky a faktory vytvorili zo svahov Dubňa zosuvné územie, ktoré je postihnuté svahovými deformáciami rôzneho rozsahu, tvaru, dosahu, typu a stupňa aktivity.

V rámci sanačných, resp. stabilizačných opatrení boli zrealizované: odvodňovacie vrty, kotvený zárubný múr založený na mikropilótach (vybudovaný v roku 2003, zložený z dvoch častí označených ako A a B) a priťažovací prísyp nad zárubným múrom a v novom cestnom telese aj s brehovým opevnením gabiónmi (z roku 2003).

3.2 LOKÁLNE ZOSUVY

Územie ľavostranných svahov zátopy tvoria fluvialné kvartérne sedimenty, kde terasové štrky rôznej hrúbky sú prekryté nerovnomerne hrubým pokryvom jemnozrnných ílovitých zemín a paleogénne podložie kvartérnych sedimentov (zvetrané ílovce), ktoré je výrazne tektonicky ovplyvnené.

V úseku Strečno - Mojšová Lúčka je úroveň eróznej bázy, nad maximálnou prevádzkovou hladinou VS Žilina (352,00 m n. m.), t. j. na úrovni 353,70–357,80 m n. m. Na svahoch bolo dokumentované zliezanie a plazenie súťi spolu s výmoľovou eróziou, plošné zosuvy, zosúvanie vrstvy deluviálnych, okrajových fluvialných zemín po šmykovej ploche zvetraných a rozložených podložných hornín, ale aj blokové svahové deformácie s odtrhnutím a poklesom celého okrajového bloku terasy vrátane podložných hornín. Väčšina svahových deformácií je v súčasnosti stabilizovaná. V území ľavostranných svahov zátopy sú svahové deformácie vyvinuté najmä v úseku medzi motelom Šibenice a lanopásom (vápenka Varín).

Pozornosť v rámci monitoringu je zameraná na dve zosuvné lokality: zosuvné územie Hyza a zosuvné územie Mojšová Lúčka. V rámci sanačných, resp. stabilizačných opatrení boli zrealizované: priťažovacia lavica/prísyp v podobe ľavostrannej obvodovej komunikácie (rok 1998), drenážne ryhy nad úrovňou priťažovacieho prísypu v uvedených lokálnych zosuvoch (rok 2002) a odvodňovacie vrty na zosuve Hyza (rok 2002).

3.3 MERANIA A POZOROVANIA

Monitoring horninového prostredia je vykonávaný v tej časti zosuvného územia Dubeň, kde boli prehĺbením Váhu (v roku 2005) bezprostredne narezané akumulácie už existujúcich zosuvov a existuje potenciál pre ďalšie aktivity.

Druhou oblasťou, kde sa vykonáva monitoring horninového prostredia, sú ľavostranné svahy zátopy VS Žilina náchylné na zosúvanie (existuje hrozba zosuvu zemín do zdrže vodnej stavby, ohrozenie stability pätky elektrického vedenia, plynovodu a pod.).

Je historicky známe, že obe uvedené územia boli zosuvnými územiami aj pred realizáciou VS Žilina. Úlohou monitoringu horninového prostredia je pozorovať, zaznamenávať a hodnotiť akékoľvek zmeny v existujúcich, už zaevidovaných svahových deformáciách, ako aj zaevidovať a hodnotiť každú novú zmenu v morfológii zosuvného svahu územia Dubeň I. ako aj ľavostranných svahov zátopy, a taktiež merať tie geodynamické javy, ktoré sú dlhodobé monitorované prostredníctvom siete memých zariadení.

3.3.1 Inklinometrické merania

Prostredníctvom inklinometrických meraní sú zisťované horizontálne pohyby (veľkosť, smer) v jednotlivých hĺbkových úrovniach horninového masívu zosuvných území.

Pozorovacie vrty (18 ks) boli v 1992 vybudované ako polyfunkčné (hydrogeologické a inklinometrické), pažnica je perforovaná a obsypaná štrkom. Z toho dôvodu je potrebné pri

vyhodnocovaní meraní zohľadniť, že takto technicky realizované vrty (obsyp štrkom) môžu ovplyvňovať samotné výsledky meraní.

Od roku 2017 realizujú inklinometrické merania, v početnosti raz za rok, zamestnanci VV TBD - oddelenie Žilina pomocou inklinometrického prístroja od firmy GLOETZL.

3.3.2 Geodetické merania

Geodetickými meraniami (meranie zvislých a vodorovných posunov) sú zisťované horizontálne pohyby (veľkosť, smer) na povrchu zosuvných území a taktiež pohyby oporného múra, resp. kotveného zárubného múra založeného na mikropilótach v lokalite Dubeň I., a to prostredníctvom vybudovanej siete vzťažných a pozorovaných bodov.

Meranie zvislých posunov sú realizované geometrickou niveláciou zo stredy - metóda veľmi presnej nivelácie. Pri ostatnom meraní v roku 2025 boli použité digitálne nivelačné prístroje Leica DNA 003, invarové kódové nivelačné laty a ostatné príslušenstvo.

Meranie vodorovných posunov sú vykonávané terestrickou metódou merania smerov a dĺžok. Pri ostatnom meraní v roku 2025 bola použitá totálna stanica LEICA MS 50 s príslušenstvom.

Merania vykonávajú, raz za rok, zamestnanci VV TBD - oddelenie geodézie.

3.3.3 Monitoring podzemných vôd

Hladina podzemných vôd je monitorovaná prostredníctvom siete vybudovaných vertikálnych (pozorovacích) a horizontálnych (odvodňovacích) vrtov.

Stabilitu zosuvného územia výrazne ovplyvňuje aj úroveň hladín podzemných vôd, hladina podzemných vôd v lokalite Dubeň I. je monitorovaná od roku 1992 sieťou vertikálnych pozorovacích vrtov (19 ks) s rôznou dĺžkou (22–30 m) a priemerom pažnice 75 mm. V súčasnosti hladinu vody vo vrtoch monitorujú automatizované snímače Solinst Levellogger Edge. Hlavným dôvodom inštalácie snímačov bol monitoring kolísania hladín vo vrtoch pri zrážkových a teplotných zmenách, nakoľko manuálne merania (raz za týždeň) sa javili ako nedostačujúce pri náhlých zrážkových úhrnoch a rýchlych teplotných zmenách (snímače merajú hladiny v intervale raz za 4 hodiny). Správnosť nameraných hladín automatizovanými snímačmi je pravidelne overovaná manuálnymi meraniami, ktoré sú realizované svetelno-akustickým hladinomerom. Nevýhodou v súčasnosti používaných snímačov je, že namerané údaje je možné stiahnuť len fyzicky, t. j. zamestnanec musí prísť k vrtu, odčítať jednotkou sa pripojiť na snímač a dáta stiahnuť. Z uvedeného dôvodu plánuje prevádzka vodnej stavby výmenu snímačov za nové, ktoré by boli technicky vstrojené tak, že by bolo možné ich pripojenie do systému VIRS, čím by bol vytvorený on-line prístup k nameraným hodnotám.

Zosuvné územie Dubeň I. je odvodňované systémom odvodňovacích vrtov s rôznou dĺžkou (30–130 m) a priemerom pažnice 89 mm, vrty boli vybudované prevažne v rokoch 1997 až 1999. Odvodňovanie horninového masívu za oporným múrom A zabezpečuje celkovo 16 odvodňovacích vrtov, za oporným múrom B je 39 odvodňovacích vrtov. Intenzita výtokov je pravidelne manuálne meraná, raz za týždeň, za pomoci odmernej nádoby a stopiek.

Na monitoring lokálneho zosuvu Hyza v súčasnosti slúžia 4 horizontálne odvodňovacie vrty, 2 vertikálne pozorovacie vrty a 1 inklinometrický vrt. Merania sú vykonávané manuálne, a to v intervale raz za týždeň (s výnimkou inklinometrie - raz za rok).

Všetky merania spojené s monitoringom podzemných vôd na zosuvných územiach, v rámci VS Žilina, realizujú zamestnanci VV TBD - oddelenie Žilina.

Na základe doterajších meraní a pozorovaní vykonaných v rámci dohľadu nad zosuvnými územiami Dubeň I. a na ľavostranných svahov zátopy konštatujeme, že nateraz neboli zaznamenané skutočnosti, ktoré by vzbudzovali, z hľadiska výkonu TBD, obavy o bezpečnosť VS Žilina ako takej.

3.4 ZLEPŠOVANIE ÚROVNE A ROZSAHU DOHĽADU

V súvislosti so zlepšovaním úrovne a rozsahu dohľadu nad predmetnými zosuvnými územiami zabezpečila prevádzka VS Žilina realizáciu viacerých aktivít.

V roku 2018 boli v lokalite Dubeň I. nahradené 2 pôvodné vrtý pre inklinometrické merania novými vrtmi, ktoré boli realizované už technicky korektnéjšie (priestor medzi stenou vrtu a inklinometrickou pažnicou bol vyplnený bentonitovo-cementovou zálievkou).

V roku 2024 na zosuvnom území Dubeň bola sieť vertikálnych pozorovacích vrtov rozšírená o 1 hydrogeologický a 1 inklinometrický vrt (vybudované nad oporným múrom A), rovnako bola doplnená aj sieť horizontálnych odvodňovacích vrtov, a to o 3 ks, ktoré sú vyústené v opornom múre A. Ďalej bolo realizované čistenie odvodňovacích vrtov frézovacou tryskou vyústených v opornom múre A a B, resp. zo zbernej betónovej šachty pred oporným múrom A, videomonitoring odvodňovacích vrtov (pred a po ich čistení), ošetrovanie všetkých vrtov protikoróznym náterom a obnovenie ich označenia.

V lokalite lokálneho zosuvu Hyza rovnako v roku 2024 pribudol 1 hydrogeologický a 1 inklinometrický vrt, pričom všetky vrtý boli ošetrované protikoróznym náterom a bolo obnovené ich označenie.

Pri realizácii nových inklinometrických vrtov v roku 2024 bol priestor medzi stenou vrtu a pažnicou vyplnený bentonitovo-cementovou zálievkou, po ich dokončení bola ich priechodnosť overená pomocou slepej inklinometrickej sondy a následne bolo realizované základné meranie.



Obrázok 1: Realizácia nových vertikálnych, resp. horizontálnych vrtov v roku 2024



Obrázok 2: Čistenie odvodňovacích vrtov v lokalite Dubeň I. v roku 2024

Na základe výsledkov z videomonitoringu odvodňovacích vrtov môžeme konštatovať, že neboli zaznamenané ich výraznejšie poškodenia, resp. deformácie. Technický stav vrtov hodnotíme ako uspokojivý, t. j. odvodňovací systém si v súčasnosti spoľahlivo plní svoju funkciu. Pozitívne hodnotíme aj prečistenie odvodňovacích vrtov, nakoľko sa podarila mierne zvýšiť ich účinnosť, preto prevádzke vodnej stavby odporúčame takéto prečistenia pravidelne opakovať.

4. ZÁVER

Cieľom príspevku bolo informatívne oboznámenie sa s vodnou stavbou Žilina, so samotným monitoringom zosuvných lokalít ako aj s obnovou, resp. skvalitňovaním siete monitorovacích objektov. Z hľadiska výkonu TBD a monitoringu zosuvných území v rámci VS Žilina konštatujeme, že na zosuvnom území Dubeň I. v súčasnosti predstavuje najväčšie riziko jeho juhozápadná časť - západne od oporného múra A, a to na základe výsledkov z meraní (inklinometrické a geodetické), terénnych obhliadok a v súvislosti s neustále prebiehajúcou stavebnou činnosťou (výstavba nehnuteľností). Z hľadiska komplexného posudzovania zosuvného územia Dubeň I. je potrebné danej oblasti venovať zvýšenú pozornosť, avšak zároveň konštatujeme, že v súčasnosti aktívne zosuvné oblasti nie sú dôsledkom prehĺbenia Váhu realizovaného v rámci výstavby VS Žilina.

Na lokálnych zosuvoch, v rámci ľavostranných svahov zátopy, sú rizikové hlavne časti zosuvov nad obslužnou komunikáciou, resp. stabilizačným prísypom, z uvedeného dôvodu je venovaná zvýšená pozornosť práve stavu obslužnej komunikácie.

LITERATURA

- [1] BEREŽŇANINOVÁ, D.; VOŠTINÁR, I. Etapová správa o TBD nad VS Žilina za hydrologický rok 2024; VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA, š. p.; Žilina, 2025.
- [2] VOŠTINÁR, I. Výkon TBD nad VS Žilina. 50 rokov výkonu TBD; Bratislava: OZ Vodohospodári a VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA, š. p.; 2025, s. 131 - 135.

Mgr. Róbert Stanček

Vodohospodárska výstavba, štátny, podnik, úsek TBD, oddelenie TBD - Žilina
robert.stancek@vvb.sk

Ing. Dušana Berezňaninová

Vodohospodárska výstavba, štátny, podnik, úsek TBD, oddelenie TBD - Žilina
dusana.bereznaninova@vvb.sk

Ing. Zuzana Žuffová

Vodohospodárska výstavba, štátny, podnik, úsek TBD, oddelenie TBD - Žilina
zuzana.zuffova@vvb.sk

Ing. Horst Antol

Vodohospodárska výstavba, štátny, podnik, úsek výroby, odbor prevádzky a údržby VS Žilina
horst.antol@vvb.sk

ZÁVERY VÝKONU TBD NA MALÝCH VODNÝCH NÁDRŽIACH A DOPAD NA ICH PREVÁDZKOVANIE

M. Stančíková & B. Písečná
SLOVENSKÝ VODOHOSPODÁRSKY PODNIK, štátny p., Bratislava, Slovenská republika

ABSTRAKT: Na území východného Slovenska je v správe Slovenského vodohospodárskeho podniku, š. p. Bratislava 46 malých vodných nádrží, ktoré sú z hľadiska technicko-bezpečnostného dohľadu (ďalej „TBD“) zaradené do III. a IV. kategórie. Ide prevažne o nádrže, ktoré boli vybudované Štátnou melioračnou správou v šesťdesiatych rokoch 20. storočia pre účely zavlažovania a ktoré boli v roku 1989 delimitované do správy našej organizácie. Výnimku tvoria vodné nádrže slúžiace na vyrovnávanie prietokov v energetických sústavách a historická vodná nádrž Úhorná, vybudovaná pre účely banského priemyslu. V súvislosti s výskytom stavebno-technických a technologických problémov bolo ku koncu roka 2025 v spravovanom území vypustených päť vodných nádrží. V priebehu uplynulého roka orgány štátnej vodnej správy rozhodli o mimoriadnej manipulácii na ďalších troch vodných stavbách - vypustení vodných nádrží resp. uvedení nádrže do neškodného stavu. Príspevok je venovaný problematike limitujúcich faktorov, ktoré spravidla bývajú príčinou prikrôčenia k mimoriadnym manipuláciám na vodných stavbách, výkonu preventívnych opatrení na vodných stavbách pre uvedenie vodných stavieb do bezpečného a prevádzkyschopného stavu ako aj konkretizácii aktuálnych prípadov nevyhnutných revízií, opráv, sanácií hrádzi, prípadne rekonštrukcií funkčných zariadení na vodných nádržiach III. a IV. kategórie.

1. PODIEL MVN V RÁMCI VÝKONU TBD, ICH ÚČEL A VÝZNAM V REGIÓNE

SVP, š. p., oddelenie TBD - pracovisko Košice vykonáva dohľad nad vodnými stavbami (ďalej „VS“) v rámci Východného Slovenska na území s rozlohou 14 493 km², čo predstavuje 30% plochy územia Slovenskej republiky [1]. Výkon TBD je vykonávaný na všetkých VS III. a IV. kategórie v územnej pôsobnosti Povodia Bodrogu, odštepného závodu Trebišov a na prevažnom počte stavieb III. a IV. kategórie v územnej pôsobnosti Povodia Hornádu, odštepného závodu Košice. Malé vodné nádrže (ďalej „MVN“) predstavujú najpočetnejšiu skupinu VS, na ktorých správca a prevádzkovateľ VS vykonáva dohľad, ich celkový počet je 46.

Vo všeobecnosti je účel MVN lokálny – miestny. Spravidla slúžia resp. slúžili pre poľnohospodárstvo (najmä závlahy), chov rýb, zachytávanie splavenín, pre potreby menšieho priemyslu i protipovodňovú ochranu. Ide prevažne o nádrže, ktoré boli vybudované v šesťdesiatych rokoch 20. storočia pre účely zavlažovania, s výnimkou historickej vodnej nádrže Úhorná vybudovanej pre účely banského priemyslu v 18. storočí a vodných nádrží slúžiacich na vyrovnávanie prietokov v energetických sústavách:

- vyrovnávacej nádrže Dobšiná patriacej do energetickej sústavy vodných stavieb Dobšiná
- a vyrovnávacej nádrže Slovenská Kajňa, situovanej pod vodnou stavbou Domaša.

Človek dnešnej doby by mal v súvislosti s neodškriepiteľným procesom zmeny klimatických pomerov, zhoršujúcej sa dostupnosti a finančnej náročnosti energetických surovín prijať myšlienku pozdvihnutia významu všetkých vybudovaných MVN a k vyššie uvedeným účelom pridať i ďalšie benefity vyplývajúce z ich existencie ako sú: zadržiavanie vody v krajine, vyrovnávanie prietokov pod nádržou v čase sucha, dotácia podzemných vôd v alúvii,

vytváranie vhodnejšej mikroklimy v regióne, v ktorom sa nachádzajú, optimalizovanie podmienok pre faunu a flóru, vytváranie oddychovej a rekreačnej zóny pre obyvateľstvo regiónu a v neposlednom rade výroba obnoviteľnej energie [2].

2. NERIEŠENIE EVIDOVANÝCH PORÚCH NÁS DOBIEHA

Všetko podlieha prirodzenému procesu starnutia a keďže možnosť budovania nových VS na území Slovenska sa v súčasnosti javí ako vec nedosiahnuteľná, je z pohľadu správcu a prevádzkovateľa VS len prirodzeným a nutným postojom v tomto rozporení dbať a náležitú starostlivosť venovať vodným stavbám už postaveným.

Pre správcu VS je to úloha náročná v procese nezastaviteľnej a postupnej degradácie stavebných, konštrukčných a technologických súčastí VS v kombinácii s dlhodobým podceňujúcim postojom k ich dôležitosti pre človeka a krajinu v porovnaní s inými vodnými stavbami a to navyše v čase konsolidácie verejných financií.

Súčasný správca prevzal VS do majetku onoho času bez personálnu - materiálového zabezpečenia nákladov na ich opravu a údržbu, čo sa prirodzene odrazilo na ich súčasnom stave. Dlhé roky neriešenia evidovaných porúch, chátrania a neodstraňovania pozorovaných defektov nás v poslednom období dobieha.

V súvislosti s výskytom stavebno-technických a technologických problémov bolo ku koncu roka 2025 v spravovanom území odštepných závodov Povodia Bodrogu a Povodia Hornádu vypustených päť vodných nádrží. V priebehu uplynulého roka (2025) orgány štátnej vodnej správy rozhodli o mimoriadnej manipulácii na ďalších troch VS – v dvoch prípadoch rozhodol úrad o vypustení vodných nádrží a v jednom, veľmi nevhodnom prípade vzniesol požiadavku na uvedenie vodnej stavby do neškodného stavu.

3. PREHĽAD VODNÝCH STAVIEB S POTREBOU URGENTNEJ SANÁCIE OBJEKTOV

Z dôvodu stavebno-technických a technologických problémov pristúpil prevádzkovateľ VS v priebehu rokov 2023 až 2025 k **mimoriadnej manipulácii** na vodných nádržiach – **vypusteniu piatich malých vodných nádrží: VN Hrčel', VN Tovarné, VN Mlynčeky II, VN Hrušov II. a VN Košické Ofšany** (Tabuľka 1). S vypúšťaním na VN Klčov sa začalo v apríli 2026.

Tabuľka 1: Aktuálne vypustené MVN na území východného Slovenska v správe SVP, š. p.

	Vodná stavba	Kategória VS	Organizačná jednotka	Povolenie na mim. manipuláciu vydané dňa	Termín začiatku vypúšťania
1.	VN Hrčel'	IV.	Povodie Bodrogu	riešené v rámci PA	7.10.2024
2.	VN Tovarné	III.	Povodie Bodrogu	oznámenie OÚ	21.3.2025
3.	VN Mlynčeky II	IV.	Povodie Hornádu	14.2.2024 prolong. 29.4.2026	10/2023
4.	VN Hrušov II	IV.	Povodie Hornádu	28.8.2025	1.10.2025
5.	VN Košické Ofšany	IV.	Povodie Hornádu	26.1.2024	02/2024
6.	VN Klčov	IV.	Povodie Hornádu	27.11.2025	29.4.2026

Pre VS VN Úhorná bolo vydané povolenie na vypustenie v novembri 2025. K jej vypusteniu v plánovanom termíne (do konca r.2025) z technických príčin nedošlo; nádrž bude vypustená po ukončení tohtoročnej rekreačnej sezóny (september 2026). VS Barský rybník bola rozhodnutím Okresného úradu Trebišov prevezená do správy majetku SVP, š. p. v mesiaci marec 2025. Nakoľko vodná stavba nespĺňa základné požiadavky na bezpečnú prevádzku, uložil vodohospodársky orgán v rámci vodoochranného dozoru správcovi VS vykonať opatrenia na uvedenie VS do neškodného stavu. Opatrenie nebolo doposiaľ vykonané.

4. DÔVODY VEDÚCE K MIMORIADNEJ MANIPULÁCII NA MVN

V ďalšej časti uvádzame popis poškodení objektov jednotlivých vodných stavieb, ktoré viedli k mimoriadnej manipulácii na konkrétnych MVN [3] , [4].

4.1 MVN HRČEL

Poškodenia hrádze spôsobené činnosťou bobrov pozorované v novembri 2023, boli operatívne zasanované v decembri 2023. V ďalšom období bolo pozorované zväčšovanie rozsahu poškodenia a počas prehliadok TBD v septembri 2024 boli v miestach sanácií na korune hrádze pozorované prepadliny. V októbri 2024 došlo k ďalšiemu poškodeniu hrádze, kedy na vzdušnom svahu hrádze MVN Hrčeľ bol pozorovaný otvor o priemere cca 15–20 cm, z ktorého vytekala voda. Otvor bol situovaný vo výške cca 1,0 m pod korunou telesa hrádze. Z dôvodu obavy z ohrozenia stability hrádze bol na VS vyhlásený III. SPA. Správca vodnej stavby operatívne vykonal opatrenia na zabezpečenie stability hrádze – prítlačovanie vzdušného svahu vrecami s pieskom, v súbehu so znižovaním hladiny na nádrži - prečerpávaním vody z nádrže pomocou veľkokapacitného čerpadla do priestoru bezpečnostného priepadu, z dôvodu zanesenia priestoru odtokového potrubia na dnovom uzávere, s ktorým nebolo možné manipulovať. Po odstránení sedimentu z priestoru dnového výpustu bola viacnásobne vykonaná manipulácia s dnovým uzáverom až po moment úplného vypustenia vody z akumuláčného priestoru nádrže.

4.2 MVN TOVARNÉ

Na VN Tovarnej správca vodnej stavby dlhodobo evidoval opatrenie týkajúce sa opravy betónovej konštrukcie výpustného objektu vodnej nádrže. Na VS došlo začiatkom mája 2023 k poklesu hladiny v nádrži, ktorý bol spôsobený poškodením hradidlovej steny pravej šachty výpustného objektu a chýbajúcim ílovým tesnením medzi hradidlami. Na vodnej stavbe neboli pozorované deformácie, ktoré by mohli byť spôsobené vyplavovaním jemnej frakcie zeminy zabudovanej v telese hrádze, zemná hrádza bola stabilná. Následne bola hradidlová stena provizórne utesnená vrecami naplnenými hlinou, ktoré boli spúšťané do priestoru medzi hradidlami a tiež voľne sypaným zeolitom, ktorý vyplnil prípadné medzery. Po utesnení bolo zistené chýbajúce hradidlo na dne šachy a ďalšie dve boli vzpríčené. Po utesnení hradidlovej steny došlo k zníženiu odtoku vody z nádrže výpustným objektom na bežnú prevádzkovú úroveň. Od mesiaca júl 2024 bol opäť registrovaný mierny pokles hladiny v nádrži. Stavba bola zaradená do plánu opráv a údržby na rok 2025. V marci 2025 bolo zahájené vypúšťanie nádrže a výlov rýb. VN je toho času vypustená, a prebiehajú tam sanačné práce na oprave výpustného objektu.

4.3 MVN MLYNČEKY II (K3)

Vodná nádrž je súčasťou sústavy vodných stavieb, pod ňou je situovaná VN Mlynčeky I (K2). V septembri 2023 bol v rámci pravidelnej obhľadky VS správcom vodnej stavby zistený pokles hladiny vodnej nádrže Mlynčeky II o 80 cm oproti bežnému stavu. Zistená skutočnosť bola operatívne nahlásená MO SRZ Kežmarok a OU Kežmarok. Po odlove rybej obsádky bola nádrž vypustená. Po odčerpaní vody z výpustného objektu a odstránení sedimentov bolo zistené poškodenie hradiačnej steny v hĺbke cca 7,0 m. Bol konštatovaný havarijný stav výpustného objektu. Správca VS zabezpečil usmernenie prietoku do obtokového kanála, aby nedochádzalo k plneniu nádrží. Voda, ktorá drénuje do vodnej nádrže plynulo odteká výpustným objektom do nižšie situovanej VN Mlynčeky I, na ktorej sú taktiež evidované nedostatky v súvislosti s priesakmi cez teleso hrádze a z uvedeného dôvodu je dlhodobo prevádzkovaná pri zníženej hladine.

4.4 MVN HRUŠOV II

Vodná nádrž je hornou nádržou v rámci sústavy vodných stavieb Hrušov I a Hrušov II. Po zistení prudkého poklesu úrovne hladiny v nádrži začiatkom mája 2025 boli realizované opatrenia na zabránenie nekontrolovaného odtoku vody z nádrže. Polámané a poškodené fošne v hornej časti hradidlovej steny, ktoré boli ľahšie dostupné, boli odstránené a nahradené novými. Poškodené fošne v spodnej časti hradidlovej steny však operatívnym nebolo možné operatívne nahradiť. Zároveň chýbala ílovitá tesniaca vrstva medzi hradidlovými stenami. Na základe uvedených skutočností bolo v rámci prehliadok TBD koncom mesiaca máj 2025 prijaté opatrenie zabezpečiť opravu hradidlovej steny na VN Hrušov II., s termínom plnenia koniec apríla 2027. V priebehu mesiaca júl 2025 bol navyše zistený výraznejší priesak na vzdušnej strane hrádze, ktorého dôvodom môže byť poškodenie opevnenia jej návodného svahu hrádze. Do doby udelenia súhlasu na mimoriadnu manipuláciu na vodnej stavbe – vypustenie nádrže, bola nádrž prevádzkovaná pri zníženej hladine. VN Hrušov II bola vypustená v priebehu októbra 2025.

4.5 MVN KLČOV

Pôvodným i súčasným účelom VN je akumulácia vody pre závlahové účely. Súčasťou vodnej stavby je aj objekt prehrádzky. Voda sa z VN odoberá v zmysle právoplatného rozhodnutia, ktorým bol povolený odber vody z vodnej nádrže pre Hydromeliorácie, š. p, Bratislava v množstve 165 000 m³/rok [4]. V hláseniach z obhľadok sa opakovane uvádza poškodenie sita na vtoku do mnícha. Z hľadiska TBD je umiestnenie sit pred hrablicami nevhodné, po ich zanesení môže dôjsť k nekontrolovanému navýšeniu hladiny v nádrži. V mesiaci máj 2024 bola zistená porucha na závlahovom potrubí – nebolo možné zabezpečiť závlahovú vodu pre odberateľa. V mesiaci júl bolo v rámci podvodného prieskumu zistené, že tyč uzáveru pre závlahy je na dvoch miestach pretrhnutá. Nefunkčnosť závlahového systému pretrváva. Vypúšťanie MVN bolo započaté v závere mesiaca apríl 2026, k úplnému vypusteniu vody zo zásobného priestoru došlo koncom mája 2026 s následným výlovom rybej obsádky.

4.6 MVN KOŠICKÉ OĽŠANY

Nádrž je toho času zanesená sedimentami po úroveň koruny bezpečnostného priepadu. Nádrž nie je voľne prístupná, čo spôsobuje problémy pri zabezpečovaní výkonu TBD i výkone prevádzkových činností. Od roku 2014 bol pozorovaný znížený prítok do nádrže, pravdepodobne z dôvodu zachytenia vody z prameňov situovaných nad nádržou. Na výpustnom objekte je pozorovaná degradácia betónov, v hradidlovej stene chýbajú hradidlá a je

podtekaná. Odpadové korytá od výpustných zariadení sú zavegetované, problematický je aj prístup k Oľšianskemu potoku, ktorý preteká záhradkárskou osadou pod vodnou nádržou.

4.7 MVN ÚHORNÁ

Historická nádrž, uvedená do prevádzky v roku 1779, je dlhodobo prevádzkovaná na úrovni maximálnej prevádzkovej hladiny [4], bez možnosti ovládania dnových výpustov. Od roku 2020 je sledované zamokrenie v ľavostrannom zaviazaní hrádze v mieste vytvorenia lavičky – dodatočným prísypom hrádze po jej kolapse v roku 1813 (horizont 638,00 – 642,00 m n. m.), V mesiaci júl 2024 došlo k zhoršeniu stavu zamokrenia; zamokrenie naďalej pretrváva. V septembri 2024 bolo na vodnej stavbe vykonané geofyzikálne meranie, v rámci ktorého boli identifikované miesta možných priesakových ciest cez teleso hrádze. Počas prehliadok TBD v roku 2025 boli okrem už uvedeného konštatované i problémy v súvislosti so stavom uzáverov a potrubí dnového výpustu, prečistením prehrádzky na bezmennom pravostrannom prítoku potoka Smolník, stavom kamenného opevnenia bezpečnostného priepadu. Správca VS sa dlhodobo zaoberá pretrvávajúcimi problémami. Keďže sa nepodarilo identifikovať polohu a stav výpustného objektu naplánoval správca vypustenie vodnej nádrže vyčerpaním vody dočasným potrubným vedením, násoskou cez objekt bezpečnostného priepadu. V mesiaci december 2025 započali prípravné práce k výkonu mimoriadnej manipulácie, avšak po zistení netesností spájacích komponentov sacieho potrubia boli práce prerušené. Vo vypúšťaní nádrže sa bude pokračovať po odstránení problému s netesnosťou potrubia za vhodných klimatických podmienok mimo rekreačnej sezóny.

4.8 MVN BARSKÝ RYBNÍK

Na vodnej stavbe bola vykonaná úvodná kontrolná obhliadka TBD v novembri 2025. Do správy SVP, š. p., Bratislava bola vodná stavba prevedená v marci 2025 v rámci projektu pozemkových úprav. Hrádza vodnej stavby bola zriadená Vinárskymi závodmi Tokaj, š. p., Slovenské Nové Mesto v 70 – rokoch 20.storočia na Barskom potoku v rkm 5,450. Rekonštruovaná bola v roku 1996. Po roku 2009 boli na hrádzi vykonané neoprávnené úpravy. Teleso hrádze bolo postupne rozširované na terajšiu šírku (v korune cca 30 m) prisypávaním rôznych materiálov bez akéhokoľvek povolenia a technického dozoru. V rámci ústneho konania zvolaného OÚ Trebišov spojeného s miestnym šetrením bolo v roku 2011 z úrovne poverenej organizácie vydané stanovisko k stavu vodnej stavby z hľadiska jej bezpečnosti, v ktorom bolo konštatované, že vodná stavba nespĺňa základné požiadavky na bezpečnú prevádzku. Nie sú na nej vybudované objekty umožňujúce manipuláciu s hladinou vody v nádrži, ani objekty na spoľahlivé odvedenie povodňových prietokov. OÚ Trebišov v roku 2024 nariadil uviesť vodnú stavbu do neškodného stavu a predložiť návrh riešenia situácie na Barskom potoku. Opatrenie nebolo doposiaľ vykonané. Správca vodnej stavby v rámci prípravných prác realizoval výruby pre zabezpečenie prístupu k vodnej stavbe. Na vodnej stavbe bude na jeseň 2026 zvolaná iniciálna prehliadka TBD, kde bude prerokovaný postup riešenia situácie a spôsob prevádzkovania vodnej stavby.

5. REALIZOVANÉ A PLÁNOVANÉ SANAČNÉ PRÁCE

Ku konkrétnym vodným stavbám následne uvádzame kroky správcu vodných stavieb vedúce k zabezpečeniu realizácie opatrení, potrebných na uvedenie vodných stavieb do bezpečného a prevádzkyschopného stavu [3].

5.1 MVN HRČEL

- v apríli 2025 správca vodnej nádrže pristúpil k prípravným prácam sanácie poškodenej hrádze vodnej nádrže - odstráneniu koreňového systému a vodného rastlinstva z návodnej strany hrádze, odstráneniu poškodeného opevnenia na návodnej strane hrádze (melioračné tvárnice),
- z dvoch miest dna zátopy nádrže zabezpečil odobratie vzorky zeminy na počiatočnú skúšku súdržnosti zeminy, zrnitosti, vlhkosti a indexových skúšok,
- v priebehu júna 2025 zabezpečil prípravu zemníka v prietochom profile vodného toku Ondava (inundácia) v katastrálnom území obce Zemplínske Hradište; odstránenie trávneho porastu, nežiadúcej vegetácie a koreňov nadeponovanej zeminy, realizáciu a úpravu prístupovej cesty k zemníku a dovoz zeminy z pripraveného zemníka na depóniu pri MVN Hrčel,

od apríla tohto roku pokračuje správca v sanácii výpustného objektu v rámci vyhláseného II. SPA.

Voda z nádrže počas celého obdobia odtéka prirodzene cez odvádzacie potrubie dnového výpustu. Ak má VN do budúcnosti plniť vodohospodársku funkciu, je potrebné realizovať stabilizáciu telesa hrádze, obnovu opevnenia jej návodného svahu, opravu bezpečnostného priepadu a odstránenie nánosov z priestoru stálego nadhrázania.

5.2 MVN TOVARNÉ

- správca v mesiaci február 2026 zabezpečil vyčistenie zátopy nádrže,
- počas kontrolnej obhliadky realizovanej v apríli 2026 prebiehali prípravné práce ako osadenie a montáž pomocného lešenia v rámci plánovaných rekonštrukčných prác na stavebnej časti výpustného objektu.

Predmetom plánovaných prác bude dodatočné vystuženie betónovej konštrukcie funkčného objektu, ukladanie dlažby na sucho do cementovej malty, spevnenie dna a oprava návodného svahu drevným kamenivom, oprava vtokového objektu vrátane armatúr. Súčasťou prác bude aj čiastočné odstránenie nánosov z plochy zátopy.

5.3 MVN MLYNČEKY II

So sanačnými prácami na tejto VS zatiaľ nebolo začaté. Po posúdení objektu mnícha na vodnej nádrži, bol spracovaný projekt jeho opravy. Aktuálne prebieha verejná súťaž na výber dodávateľa – zhotoviteľa prác.

5.4 MVN HRUŠOV II

- s realizáciou sanačných prác sa začalo v apríli 2026.
- Počas doby vypustenia nádrže správca plánuje realizovať opravu hradidlovej steny s doplnením tesniacej vrstvy, opravu opevnenia návodnej strany hrádze v dĺžke 100 m od ľavého zaviazania a čiastočné odstránenie nánosov z priestoru stálego nadhrázania.

5.5 MVN KLČOV

Stavba je čerstvo po vypustení a výlove rýb; sanačné práce nezačali. V krátkom čase bude zrealizovaná obhliadka vodnej stavby v stave po vypustení a následne bude spracovaný realizačný projekt opravy hradenia a potrubného vedenia využívaného na odber vody na hnojovicovú závlahu v rámci združeného funkčného objektu. Ak výsledky obhliadky poukážu i na iné problematické okolnosti v súvislosti s ovládaním odberov resp. výpustného zariadenia a stavebnotechnickým stavom FO, je potrebné rátať so sanáciou resp. opravou aj ďalších zistených nedostatkov.

5.6 MVN KOŠICKÉ OLEŠANY

- v roku 2016 bola po prehliadkach TBD prijatá úloha: „Realizovať povrchovú úpravu profilu hrádze a odstrániť nános z priestoru nádrže“;
- začiatkom roka 2020 správca zabezpečil odťazenie časti sedimentov pri výpustnom objekte a informatívne zistil množstvo sedimentov v zásobnom priestore. Za účelom presušenia nánosov správca VS zabezpečil zníženie prepadovej hrany hradiacej konštrukcie cca o 1/3 z celkovej výšky, aby boli priaznivé podmienky na odvedenie vôd zo sedimentu,
- v mesiaci november 2022 boli v úrovni dna nádrže vytvorené odvodňovacie ryhy a prúdnicia vodného toku bola usmernená k výpustnému objektu,
- vo februári 2024 bola vodná stavba uvedená a technicky prispôsobená povolenému stavu mimoriadnej manipulácie a tento trvá do dnešného dňa.

Starosta obce Košické Olešany opakovane požaduje od správcu VS prečistenie nádrže od sedimentov, aby po plánovanej výstavbe vodovodného radu pre obec a následnom obnovení prítoku do nádrže z troch existujúcich vrtov, bolo možné nádrž naplniť a využívať ju na rekreačné účely.

Ak by mala nádrž plniť svoj účel, ktorým je akumulácia povrchovej vody, je potrebné odstrániť nánosy z celého retenčného priestoru, zrekultivovať teleso hrádze a opraviť výpustný objekt.

5.7 MVN ÚHORNÁ

S realizáciou sanačných prác sa zatiaľ nezačalo, nakoľko VS nebola doposiaľ vypustená. V rámci prípravných prác na oprave nefunkčných dnových výpustov boli zabezpečené prieskumy miniponorkou a batymetrické zameranie dna vodnej nádrže. Vypustenie nádrže je plánované nasledovným spôsobom: presmerovanie drobného vodného toku (miestny názov Medvedí potok), ktorý napája VN, jeho zaústením do vodohospodársky významného toku Smolník v mieste obtoku VN poníže zhybky a pozvoľné odčerpanie vody z VN cez bezpečnostný priepad. Po znížení hladiny pod úroveň vtoku výpustného objektu (podľa podkladov z r. 1978 by malo ísť o prefabrikovanú šachtu výšky cca 2,0 m) bude možné pristúpiť k odstráneniu nefunkčných uzáverov dnového výpustu DN 300. Následne postupným rozoberaním vtokovej šachty, ak to množstvo sedimentu umožní, bude zabezpečené kontinuálne odvodnenie sedimentu v zásobnom priestore nádrže. Postup prác je súčasťou aktuálne pripravovanej projektovej dokumentácie.

V súvislosti s výskytom zamokrenia na ľavej strane lavičky hrádze bude po vypustení vody z nádrže vykonané v ďalšej etape geofyzikálnych prác opakované meranie na rovnakých profiloch za rovnakých poveternostných podmienok ako v septembri 2024, ktoré potvrdí alebo vyvráti podozrenie ohľadom výskytu priesakov z porušenia hrádzového systému.

5.8 MVN BARSKÝ RYBNÍK

Nakoľko vodná stavba bola identifikovaná ako stavba riziková a nesplňajúca základné požiadavky na bezpečnú prevádzku, sanačné práce v tomto prípade spočívajú v úlohe prevádzkovateľa a správcu vykonať opatrenia na uvedenie VS do neškodného stavu – t. j. vypustenie VS a prevádzkovanie VS v bezpečnom režime, ktorý za súčasných technických podmienok nie je možný.

Ďalší postup riešenia situácie a spôsob prevádzkovania vodnej stavby bude prerokovaný na prehliadkach TBD, ktoré budú zvolané na jeseň 2026.

6. ZÁVER

Jediným možným riešením situácie starnutia vodných stavieb v podmienkach ich súčasného správcu je selekcia a prioritizácia najviac poškodených vodných stavieb a postupná realizácia sanačných prác revíziou zistených poškodení. V prípade malých vodných nádrží sa ako optimálne javí posúdenie ich technického stavu a výkon rekonštrukčných prác pri ich úplnom vypustení. V rámci takto nastaveného pracovného postupu je benefitom, ak je v danej situácii naplánovaná a schodná i možnosť odťazenia aspoň časti naplavených sedimentov. Dúfajme a držíme si palce, aby sa všetky jestvujúce vodné stavby „dožili“ náležitej obnovy a do tej doby veríme, že sa im prírodné živly budú vyhýbať.

LITERATURA

- [1] E. BEDNÁROVÁ a kol. Priehradné staviteľstvo na Slovensku; Priehradný výbor, Bratislava 2010.
- [2] MAGULA, P.; TOMANOVÁ, E. Súčasný technický problémy na vodných stavbách III. a IV. kategórie v správe PDV, odštepny závod Piešťany a PHV, odštepny závod Ružomberok, Zborník 50 rokov TBD, Jasná 2025 s. 73-86.
- [3] SVP š. p., Bratislava Záznamy o výsledkoch dohľadu z prehliadok vodných stavieb, vykonaných do roku 2025, Oddelenie TBD, pracovisko Košice r.2025.
- [4] SVP, š. p., Bratislava Manipulačné poriadky VS.

Ing. Martina Stančíková

SLOVENSKÝ VODOHOSPODÁRSKY PODNIK, štátny podnik, Oddelenie TBD,
Ďumbierska 14, 041 59 Košice
martina.stancikova@svp.sk

Ing. Božena Písečná

SLOVENSKÝ VODOHOSPODÁRSKY PODNIK, štátny podnik, Oddelenie TBD,
Ďumbierska 14, 041 59 Košice
bozena.pisecna@svp.sk

TBD DOHLED PŘI ZMĚNĚ VD KLECANY – ROZTOKY STAVBOU „MVE KLECANY II“

Š. Turnová

VODNÍ DÍLA – TBD a.s., Praha, Česká republika

ABSTRAKT: Příspěvek popisuje činnosti TBD prováděného s cílem zajištění bezpečnosti a plné provozuschopnosti vodního díla při jeho změně stavbou. Konkrétně se jedná o vodní dílo Klecany – Roztoky, které se nachází na řece Vltavě. Na tomto vodním díle je ve výstavbě nová malá vodní elektrárna „MVE Klecany II“. Stavba je v blízkosti stávajícího jezu a funkční „MVE Klecany I“. Výstavbou ve stavební jámě (hloubka až 14 metrů, pod původní terén) může být ovlivněna stabilita pravé části jezu a velínu i stávající MVE Klecany I. Kontrolní měření TBD na nově instalovaných zařízení TBD bylo zahájeno před samotnou výstavbou MVE a je tudíž možné po porovnání výsledků kontrolních měření kvantifikovat vliv jednotlivých stavebních činností na jednotlivé konstrukce VD.

1. VD KLECANY - ROZTOKY

1.1 ZÁKLADNÍ INFORMACE O VODNÍM DÍLE

Vodní dílo Klecany – Roztoky leží na řece Vltavě v ř. km. 37,080 (jez) a 36,080 (plavební komory), ve Středočeském kraji. Na levém břehu je obec Roztoky na pravém břehu obec Klecany. Původní hradlový jez byl postaven v letech 1897 - 1898. Zásadnější rekonstrukcí vodní dílo prošlo v roce 1978 – 1981, kdy byl původní hradlový jez nahrazen novým železobetonovým jezem s dutými klapkami. Současná MVE Klecany I zde byla vybudována v roce 2001 a nahradila původní MVE z roku 1985. Hlavním účelem vybudování VD Klecany - Roztoky bylo zajištění plavby pro vodní dopravu.

Vodní dílo je složeno z těchto objektů:

- Pohyblivého jezu o 3 polích
- Jezové zdrže
- Původní vorové propusti upravené pro nátok k MVE
- Malé vodní elektrárny
- Horního plavebního kanálu
- Dvou plavebních komor v Roztokách umístěných za sebou (vlaková komora)
- Dolního plavebního kanálu
- Zázemí vodního díla (jezu a plavební komory)



Obrázek 1: VD Klecany – Roztoky, velín a stávající MVE před zahájením stavby

1.2 POPIS STAVBY

Stavba MVE Klecany II bude sloužit k energetickému využití vody odebírané z nadjezí VD Klecany – Roztoky.

Nová MVE Klecany II bude osazena jednou Kaplanovou turbínou o hltnosti 70 m³/s a výkonem 1,8 MW.

Pro zajištění vhodných podmínek migrace ryb na jezu bude vedle objektu strojovny při pravém břehu realizován i rybí přechod. Rybí přechod má délku 145 m a nachází se na pravém břehu koryta Vltavy mezi MVE Klecany II a ulicí Povltavská. Štěrbínový rybí přechod je navržen do žlabu šířky 2,2 m tvořeného železobetonovým polorámem.

2. POPIS A ROZBOR RIZIK SPOJENÝCH SE STAVBOU

Z pohledu TBD je jednoznačně největším rizikem provádění stavby a její vliv na stávající konstrukce vodního díla, zejména na stávající MVE Klecany I, pravobřežní pilíř s velínem, pravý říční pilíř a případně i pravé jezové pole.

Z projektové dokumentace [1] i přehledných 3D modelů je zřejmé, že vlastní vodní elektrárna Klecany II se nachází v bezprostřední blízkosti stávající MVE Klecany I a břehového jezového pilíře s velínem. S uvedenými konstrukcemi bezprostředně sousedí i hluboká stavební jáma pro vlastní MVE Klecany II i vtokový a výtokový objekt. Důvodem k obavám jsou především rizika spojená s hloubením stavební jámy v blízkosti stávajících konstrukcí MVE Klecany I a jezu.

Zmíněné konstrukce společně se zavazujícími a břehovými stěnami vtoku a výtoku z MVE Klecany II jsou vystaveny určitým změnám zatěžovacích stavů způsobených budováním stavební jámy a použitými pracemi speciálního zakládání. Existence poměrně velké a hluboké (4 až 8 m pod založení pilíře) stavební jámy může negativně ovlivnit stabilitu konstrukcí změnou napjatostních poměrů v geotechnickém prostředí. Značný vliv může mít i kotvení stěn a používání tryskových injektáží. Vedle očekávaných poklesů tak může docházet i k nekontrolovaným zdvihům konstrukcí. Práce speciálního zakládání jsou proto prováděny velice „citlivě“. Určitý vliv mohou mít i vlastní stavební práce, vibrace od stavebních strojů, od beranění a přesuny hmot.



Obrázek 2: Provádění tryskové injektáže u velínu jezu

3. VÝKON TECHNICKOBEZPEČNOSTNÍHO DOHLEDU

Výkon TBD nad vodním dílem Klecany - Roztoky je zajišťován vlastníkem díla, ČR s právem hospodařit pro Povodí Vltavy, s. p., podle platných předpisů, ve spolupráci s organizací pověřenou výkonem TBD nad vodními díly. TBD nad vodním dílem je zajišťován vždy v souladu s platným Programem TBD pro dané období provozu vodního díla. V tomto dokumentu jsou podrobně specifikovány jednotlivé druhy měření a sledování, jejich četnosti a je zde rozdělena i odpovědnost za provádění těchto činností. Období změny VD stavbou řešil dodatek k Programu TBD.

4. KONTROLNÍ ZAŘÍZENÍ TBD

Stávající kontrolní zařízení TBD je funkční a je ve velké míře využitelné i pro TBD během stavby. Navrženo bylo jen drobné doplnění měřících zařízení na konstrukcích stávajícího velínu a stávající MVE Klecany I. Dále byla realizována modernizace a doplnění kontrolních bodů na pilířích jezu, velínu a stávající MVE Klecany I pro měření vodorovných posunů.

Na základě dosavadních zkušeností z výkonu TBD nad tímto vodním dílem bylo realizováno doplnění těchto kontrolních zařízení TBD a zavedeno měření a sledování v těchto oblastech:

- Sledování náklonů konstrukce velínu ve třech výškových úrovních
- Sledování náklonů zdi v MVE Klecany I
- Sledování relativních deformací na dilatačních spárách v pravé části revizní chodby jezu
- Sledování svislých posunů kontrolních bodů na konstrukci velínu
- Sledování (modernizace) vodorovných posunů kontrolních bodů na pilířích jezu a velínu a v revizní chodbě

4.1 METODY MĚŘENÍ A SLEDOVÁNÍ

4.1.1 Měření náklonů konstrukce velínu a MVE Klecany I náklonoměrem

Pro sledování relativních náklonů velínu jezu byly na jednotlivých podestách komunikační šachty velínu jezu (napojení do jezové chodby) osazeny náklonoměrné základny pro odečítací zařízení Clinometru Huggenberger AG, typu ECS1000VD. Celkem byly osazeny 3 měřicí základny.

Další náklonoměrné základny byly osazeny ve stávající MVE (zevnitř na pravé zdi ve dvou výškových úrovních).

Základny umožňují měřit náklony ve dvou směrech, ve směru toku a kolmo na tok. Rozsah měření je $\pm 2 \text{ mm/m}$ s přesností $0,0025 \text{ mm/m}$.

4.1.2 Měření relativních deformací na dilatačních spárách jezové chodby

Původní měření pomocí sázecího deformometru (měření pouze ve dvou směrech - rozevírání spáry a vzájemný vodorovný posun dilatačních částí) bylo modernizováno, tak aby umožňovalo určení všech tří relativních pohybů na jedné základně. Osazeny byly trojrozměrné roztahoměrné základny.

Základny byly osazeny na dvou krajních dilatačních spárách v pravém zavázání na protivodní straně chodby. Jedna na spáře mezi velínem a nátokem do MVE Klecany I a druhá na spáře mezi nátokem do MVE Klecany I a pravým říčním pilířem.

Na základnách je možno měřit relativní posuny ve všech třech směrech:

- dx – svírání a rozevírání spáry,
- dy – vzájemné vodorovné posuny dilatační spárou oddělených částí,
- dz – vzájemné svislé posuny dilatační spárou oddělených částí.

Měření se provádí s přesností $\pm 0,05 \text{ mm}$.

4.1.3 Svislé posuny kontrolních bodů

Svislé posuny jsou měřeny metodou velmi přesné nivelace (VPN) obousměrně (tj. tam a zpět), pro měření se používá odpovídající digitální nivelační přístroj pro VPN a pár 3 m invarových latí, opatřených kódovým měřítkem.

4.1.4 Vodorovné posuny kontrolních bodů

Původní metoda měření vodorovných posunů pomocí záměrné přímky byla modernizována na měření rovinné (prostorové) geodetické sítě. Princip této metody spočívá v určení vodorovných posunů ze souřadnicových rozdílů. Jsou vypočítány souřadnice x a y všech zajišťovacích a kontrolních bodů, přičemž souřadnicový systém bude orientován tak, že osa x bude ve směru toku a osa y ve směru na tok kolmém. Souřadnicové rozdíly mezi jednotlivými etapami měření pak budou prezentovat jejich vodorovné posuny.

Přesnost určení posunů je cca $\pm 1 \text{ mm}$.

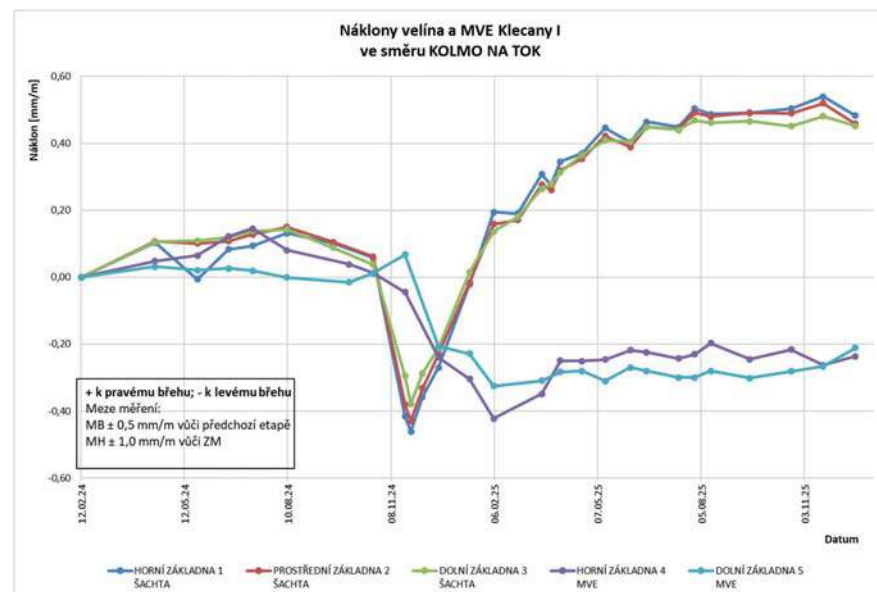
5. VÝSLEDKY MĚŘENÍ TBD V PRŮBĚHU STAVBY

Jak již bylo zmíněno v kapitole 2, z hlediska TBD je největším rizikem této stavby provádění tryskové injektáže a hloubení stavební jámy. Během těchto prací došlo na stavbě k prokazatelně největším posunům a pohybům sledované části vodního díla. Níže v této kapitole jsou popsány výsledky měření v dosavadním průběhu stavby. Četnost měření byla upravována dle průběhu stavby, u každého z uvedených měření byla četnost jiná. U náklonoměru byla četnost na začátku jednou měsíčně, v průběhu tryskové injektáže jednou za 14 dní, při těžbě stavební jámy opět jednou za měsíc a od počátku betonáže je četnost jednou za dva měsíce.

U měření roztahoměrných základen, které od počátku tryskové injektáže provádí i zaměstnanci Povodí Vltavy s.p., byla tato četnost dvakrát denně, po skončení tryskové injektáže byla tato četnost snížena na jedno měření denně a v současné době je četnost jednou týdně. Toto měření

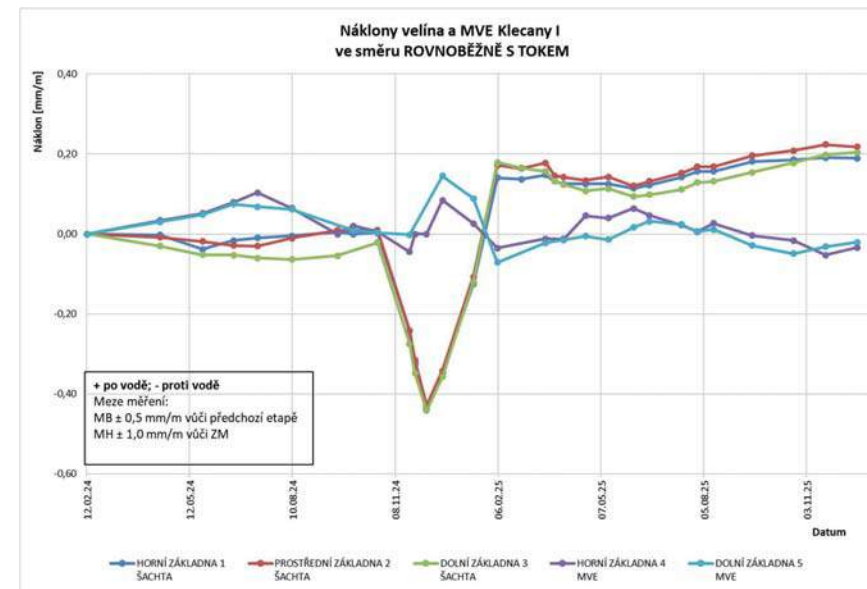
provádí i hlavní pracovník TBD pověřené organizace se stejnou četností jako výše popsany náklonoměr.

5.1 NÁKLONOMĚŘ CLINOMETR HUGGENBERGER



Obrázek 3: Výsledky měření náklonoměrem ve směru kolmo na tok

Na obrázku 3 je znázorněn náklon velínu jezu a stávající MVE Klecany I ve směru kolmo na tok. Kladné hodnoty značí náklon k pravému břehu, záporné naopak k levému břehu. Od počátku měření až do půlky října 2024 je patrný relativně ustálený vývoj náklonu. V listopadu 2024 došlo ke skokovému nárůstu měřených hodnot jak u velínu jezu (základny 1 - 3), tak u MVE (základny 4 a 5). Tato skoková změna hodnot byla způsobena prováděním tryskové injektáže v bezprostřední blízkosti velínu a MVE Klecany I. Trysková injektáž byla ukončena v lednu 2025. Od doby ukončení tryskové injektáže až do podzimu 2025 probíhala těžba stavební jámy. Z grafu je patrné, že během těchto stavebních prací docházelo naopak k náklonu velínu směrem k pravému břehu, tedy do stavební jámy. Od ukončení těžby stavební jámy na podzim 2025 až do současné chvíle probíhají na stavbě betonáže a instalace nové technologie MVE Klecany II. Výsledky tohoto měření jsou od podzimu 2025 stabilní.



Obrázek 4: Výsledky měření náklonoměrem ve směru toku

Na obrázku č. 4 je taktéž znázorněn náklon velínu jezu a stávající MVE Klecany I, avšak ve směru rovnoběžně s tokem. Kladné hodnoty znázorňují náklon po toku a záporné proti toku. I zde je vidět vliv provádění tryskové injektáže, kdy došlo k nárůstu hodnot. Během těžby stavební jámy jsou zde výsledky měření stabilnější než při měření náklonu ve směru kolmo na tok.

Ani v jednom směru ovšem nedošlo k překročení stanovených mezních hodnot (MH = ± 1 mm/m).

5.2 MĚŘENÍ NA ROZTAHOMĚRNÝCH ZÁKLADNÁCH V JEZOVÉ CHODBĚ

Měření na roztahoměrných základnách probíhá ve třech směrech, jak je popsáno v kapitole 2. Od počátku stavby zde docházelo k minimálním posunům. Změna nastala při zahájení tryskové injektáže, kdy došlo ke skokovému nárůstu měřených hodnot ve všech třech směrech. Více byla ovlivněna základna umístěna na spáře u paty velínu. Největší nárůst hodnot byl naměřen ve směru svislém, kdy byl tímto měřením potvrzen zdvih celého velínu. I během těžby stavební jámy zde docházelo ke zvyšování hodnot. Od ukončení těžby jsou hodnoty relativně stabilní. Na spáře, která se nacházela dále od stavby, k žádným výraznějším posunům ani v jednom směru nedošlo.

5.3 SVISLÉ POSUNY KONTROLNÍCH BODŮ

Před zahájením stavebních prací byla síť kontrolních bodů pro měření svislých posunů rozšířena tak, aby pokryla i objekty v těsné blízkosti stavby. K nejvýraznějším posunům došlo při provádění tryskové injektáže, kdy celý velín vykazoval zdvih cca o 11 mm. K dalším, avšak

méně výrazným posunům došlo na stávající MVE Klecany I, konkrétně na straně, kde byla prováděna injektáž, a to v řádu cca 4 mm.

Zdvih velínu během stavby potvrdilo i měření v jezové chodbě, které probíhá jednou ročně. Zde došlo ke zdvihu o 10,5 mm.

Během hloubení stavební jámy k žádným výraznějším posunům na žádném objektu již nedošlo.

5.4 VODOROVNÉ POSUNY KONTROLNÍCH BODŮ

I v případě měření vodorovných posunů je patrný výrazný náklon velínu jezu a MVE Klecany I během provádění tryskové injektáže. Nejprve došlo k mírnému náklonu k levému břehu a následně posunu k pravému břehu. Po skončení tryskové injektáže zde došlo k výraznějším posunům k pravému břehu, tedy do stavební jámy. Trend náklonu směrem do stavební jámy je zde patrný stále.



Obrázek 5: Pohled na nátok do MVE Klecany II (09/25),
pohled na technologickou část nové MVE Klecany II (05/26)

6. ZÁVĚR

Doposud provedené stavební práce měly vliv především na velín jezu a stávající MVE Klecany I, kde byly zaznamenány zvýšené deformace. Na zbylé části VD, které se nenachází v těsné blízkosti stavby, k žádným výraznějším deformacím nedošlo.

Během stavebních prací nebyly zaznamenány jevy, které by ohrožovaly bezpečnost a stabilitu jednotlivých částí VD.

PODĚKOVÁNÍ

Poděkování patří všem mým kolegům z organizace pověřené výkonem TBD, za jejich cenné rady. Poděkování patří i provozním pracovníkům vodního díla, kteří během stavby zvýšili četnost kontrolních obchůzek a vybraných měření na vodním díle. V neposlední řadě patří poděkování pracovníkům investora, dodavatele stavby a ostatním účastníkům této stavby.

LITERATURA

- [1] NEUMAYER O., MVE KLECANY II, Dokumentace pro výběr zhotovitele“, AQUATIS a.s.: Brno, 2023.
- [2] VODIČKA M., VD Klecany – Roztoky: Program TBD č. 1; VODNÍ DÍLA – TBD a.s. Praha, 2002.
- [3] TURNOVÁ Š., VD Klecany – Roztoky: Rozsah měření dohledu pro období změny VD stavbou MVE Klecany II; VODNÍ DÍLA – TBD a.s. Praha, 2023.
- [4] TURNOVÁ Š., VD Klecany – Roztoky: Dodatek PTBD č.1; VODNÍ DÍLA – TBD a.s. Praha, 2024.
- [5] TURNOVÁ Š., MVE Klecany II: 1. dílčí zpráva o TBD při změně VD stavbou; VODNÍ DÍLA – TBD a.s. Praha, 2025.
- [6] TURNOVÁ Š., MVE Klecany II: 2. dílčí zpráva o TBD při změně VD stavbou; VODNÍ DÍLA – TBD a.s. Praha, 2026.

Ing. Mgr. Štěpánka Turnová

VODNÍ DÍLA – TBD a.s., Hybernská 1617/40, 110 00 Praha 1

turnova@vdtbd.cz

POSÚDENIE BEZPEČNOSTI VS LIPTOVSKÁ MARA POČAS POVODŇOVÉHO ZAŤAŽENIA, SLOVENSKO

R. Výleta¹, J. Škvarka², M. Orfánus³, A. Liová^{1,4}, P. Valent¹, T. Bacigál⁵, K. Hlavčová¹, S. Kohnová¹, M. Danáčová¹ & J. Szolgay¹

¹ Katedra vodného hospodárstva krajiny, Stavebná fakulta, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Bratislava, Slovenská republika

² Katedra geotechniky, Stavebná fakulta, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Bratislava, Slovenská republika

³ Katedra hydrotechniky, Stavebná fakulta, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Bratislava, Slovenská republika

⁴ Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava, Slovenská republika

⁵ Katedra matematiky a deskriptívnej geometrie, Stavebná fakulta, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Bratislava, Slovenská republika

ABSTRAKT: Cieľom príspevku bolo komplexne posúdiť bezpečnosť VS Liptovská Mara počas extrémneho povodňového zaťaženia v súlade s národnými princípmi na Slovensku. Odolné riadenie povodňových rizík si vyžaduje spoľahlivé odhady projektovaných hydrologických hodnôt, ktoré sú nevyhnutné nielen pre navrhovanie štrukturálnych protipovodňových opatrení, ale aj pre hodnotenie bezpečnosti existujúcich protipovodňových opatrení a stavieb. V rámci hydrologickej časti bol navrhnutý konzistentný viacrozmerný pravdepodobnostný rámec pre tvorbu súboru kontrolných povodňových vln s pridruženými pravdepodobnostnými parametrami (vrcholmi, objemami a trvaním povodní), ktoré umožňujú štúdium viacerých aspektov bezpečnosti nádrží (hydrologických, hydraulických a geotechnických). To poskytuje dobrú rozmanitosť riadiacich vln na robustné a presné posúdenie bezpečnosti vodných stavieb v extrémnych situáciách pri typických rizikách scenárov poruchy. Hydraulické posúdenie overilo kapacitu rozhodujúcich funkčných objektov vodnej stavby pri prevádzaní extrémnych povodňových prietokov kombináciou analytických postupov, 2D hydrodynamického modelovania a 3D CFD analýz. Na základe transformácie variantne určených kontrolných povodňových vln bola stanovená úroveň medznej hladiny a vyhodnotené viaceré prevádzkové scenáre vrátane obmedzenia alebo výpadku výpustných zariadení s cieľom identifikovať kritické podmienky bezpečnej prevádzky. Geotechnické posúdenie vychádza z numerického modelovania filtračného prúdenia metódou konečných prvkov, kalibrovaného inverznou analýzou na základe meraných údajov. Výsledky stabilitných výpočtov potvrdili, že pri dodržaní manipulačných zásad a uvažovaných prevádzkových obmedzení je vodná stavba schopná bezpečne previesť návrhové povodňové zaťaženie bez prekročenia medzných a kritických hodnôt. Na základe komplexného hydrologického, hydraulického a geotechnického posúdenia vyplýva, že VS Liptovská Mara vykazuje pri extrémnom povodňovom zaťažení dostatočnú mieru bezpečnosti a tým zároveň preukazuje schopnosť bezpečného prevedenia aj veľmi zriedkavých povodňových prietokov, bez prekročenia kritických limitných hodnôt.

1. ÚVOD

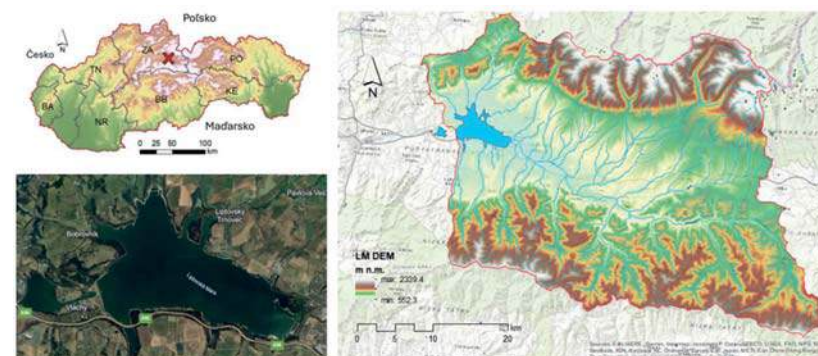
Posudzovanie bezpečnosti vodných stavieb počas povodňového zaťaženia patrí medzi dôležité úlohy technicko-bezpečnostného dohľadu, pretože pri extrémnych povodniach je potrebné overiť nielen kapacitu funkčných objektov, ale aj celkovú odozvu vodnej stavby. V súčasnej

praxi na Slovensku sa po roku 1989 postupne upustilo od záväzného predpisovania postupov vodohospodárskych výpočtov technickými normami, čo síce umožnilo väčšiu voľnosť pri výbere metód, zároveň však zvýšilo potrebu ich odborného zjednotenia a overenia. To však zároveň otvára rad problémov, s ktorými je potrebné sa zaoberať, aby sa tieto riadili najlepšími dostupnými metódami a využívali všetky dostupné údaje. Táto potreba viedla k spracovaniu rozborovej štúdie, ktorej cieľom bolo vypracovať a pilotne overiť súbor takýchto metodík pre naplnenie cieľov metodického pokynu generálneho riaditeľa sekcie vód MŽP SR [1], [2].

Predmetom príspevku je posúdenie bezpečnosti VS Liptovská Mara počas extrémneho povodňového zaťaženia. Hodnotenie vychádza z prepojenia hydrologických, hydraulických a geotechnických analýz, pričom sa nezameriava iba na kulminálny prietok, ale aj na tvar, objem a trvanie kontrolných povodňových vln (KPV). Takýto prístup umožňuje spoľahlivejšie posúdiť transformáciu povodňovej vlny v nádrži, stanoviť úroveň medznej hladiny (ÚMH) a porovnať ju s úrovňou kritickej hladiny (ÚKH). Cieľom príspevku je stručne prezentovať metodické východiská a výsledky komplexného hodnotenia bezpečnosti VS Liptovská Mara v súlade s národnými princípmi posudzovania bezpečnosti vodných stavieb pred povodňami.

2. POPIS VODNEJ STAVBY LIPTOVSKÁ MARA - BEŠEŇOVÁ

Vodná stavba Liptovská Mara - Bešeňová bola vybudovaná na rieke Váh ako súčasť Vážskej kaskády. Vodná nádrž Liptovská Mara sa nachádza v rkm 338,4 a vyrovnávacia nádrž Bešeňová v rkm 335,22. Z administratívneho hľadiska patrí do Žilinského kraja, okresu Liptovský Mikuláš (Obrázok 1). Ide o vodnú stavbu I. kategórie, čo zodpovedá jej významu, technickému riešeniu, rozsahu prevádzkových objektov a požiadavkám na technicko-bezpečnostný dohľad.



Obrázok 1: Lokalizácia vodnej nádrže Liptovská Mara - Bešeňová a jej príslušajúceho povodia so zobrazením hypsometrie

Sústava bola vybudovaná v rokoch 1965-1975 a tvorí významný prvok vodohospodárskeho a energetického systému na Váhu. Hlavnou funkciou nádrže Liptovská Mara je akumulácia vody s viacročným vyrovnávacím cyklom, energetické využitie a zníženie povodňových prietokov, ďalšie funkcie sú spojené najmä s nadlepšovaním prietokov, rekreáciou a iným vodohospodárskym využitím. Vyrovnávacia nádrž Bešeňová slúži predovšetkým na vyrovnávanie špičkových prietokov z PVE Liptovská Mara. Pre hodnotenie bezpečnosti vodnej stavby počas povodňového zaťaženia sú rozhodujúce najmä vymedzujúce hladiny nádrže Liptovská Mara, ich príslušné výškové kóty a plochy (pozri Obrázok 3), ako aj objemové

členenie nádrže. Podľa manipulačného poriadku je nádrž Liptovská Mara členená na priestor stáleho zadržania s objemom 25 mil. m³ medzi kótami 524,59 - 539,59 m n. m. Bpv, zásobný priestor s objemom 320 mil. m³ medzi kótami 539,59 - 564,89 m n. m. Bpv a ochranný retenčný priestor s objemom 16,8 mil. m³ medzi kótami 564,89 - 565,69 m n. m. Bpv. Nad touto úrovňou je po kótu 566,34 m n. m. Bpv vymedzený výnimočný ochranný retenčný priestor. Celkový objem nádrže je 361,8 mil. m³. Ďalšie podrobnosti o zásadách manipulácie sú v manipulačnom poriadku vodnej stavby [3].

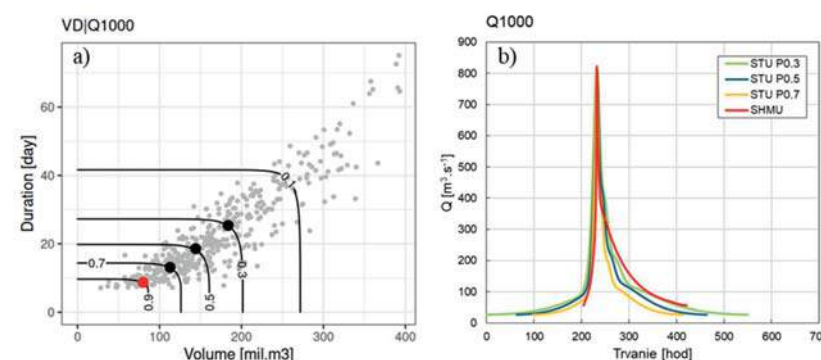
3. STANOVENIE KONTROLNÝCH POVODŇOVÝCH VĽN

Stanovenie kontrolných povodňových vln (KPV) predstavuje základný vstup do hydrotechnického a geotechnického posúdenia bezpečnosti vodnej stavby. Kontrolná povodňová vlna je chápaná ako teoretická, resp. syntetická prietoková vlna, ktorá je určená kulmináčnym prietokom so zvolenou pravdepodobnosťou prekročenia, príslušným objemom a trvaním. Pred analýzou KPV bol najskôr určený časový rad prietokov (obdobie rokov 1989–2023), resp. množstvo vody vstupujúcej do VN Liptovská Mara [4]. Intenzívne povodne majú viacrozmerný charakter, preto ich hodnotenie iba na základe kulmináčného prietoku alebo objemu môže viesť k nepresnému odhadu povodňového rizika. Z tohto dôvodu je potrebné povodňové vlny posudzovať ako stochastické udalosti charakterizované kulmináčnym prietokom, objemom, trvaním a časovým priebehom. Vlny s rovnakým kulmináčnym prietokom môžu mať rozdielny objem a tvar, a tým aj odlišný vplyv na priebeh hladiny v nádrži.

V rozborovej štúdii sa preto uplatňoval nový viacrozmerný pravdepodobnostný prístup založený na využití teórie kopúl, ktorý umožňuje opísať vzájomnú závislosť medzi základnými charakteristikami povodňových vln určenými po identifikácii a separácii povodňových udalostí pomocou softvéru FloodSep [5]. Navrhnutý rámec rešpektuje a opisuje štruktúru závislosti medzi kulmináčnymi prietokmi, objemami a trvaniami pozorovaných aj syntetických kontrolných povodňových vln. Pozostáva z piatich krokov: 1. separácia pozorovaných vln, 2. analýza charakteristík povodní a ich vzájomnej závislosti, 3. modelovanie marginálnych rozdelení, 4. modelovanie spoločného rozdelenia kulmináčnych prietokov, objemov a trvaní pomocou teórie kopúl, 5. konštrukcia syntetických povodňových vln.

Podrobné odvodenie kontrolných povodňových vln je uvedené v rozborovej štúdii [2] a opis použitej metodiky je aj v práci [6]. Pomocou prístupu založeného na kopulách sú vytvorené izočiary spojené s rovnakými spoločnými podmienenými pravdepodobnosťami prekročenia objemu a trvania povodňovej vlny pri danom kulmináčnom prietoku s marginálnou pravdepodobnosťou prekročenia. Zostrojené izočiary umožňujú analytikom rizika/projektantom špecifikovať riziko povodní reprezentované ľubovoľnou maximálnou prietokovou vlnou definovanou vrcholom povodne s vybranou pravdepodobnosťou prekročenia a určiť spoločnú podmienenú pravdepodobnosť prekročenia jej objemu a trvania (Obrázok 2a).

Výsledkom je súbor kontrolných povodňových vln pre zvolené N-ročnosti prietoku a pre podmienené pravdepodobnosti prekročenia objemu a trvania povodňovej vlny 0,3; 0,5 a 0,7. Pre posúdenie transformácie povodňovej vlny v nádrži v tomto príspevku a stanovenie úrovne medznej hladiny bola ako rozhodujúca vybraná 1000-ročná povodňová vlna so zvolenou pravdepodobnosťou prekročenia (0,5) objemu a trvania prietokovej vlny podmienená kulmináčnym prietokom $Q_{1000} = 815 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, označená ako Ročná – Q_{1000} , ktorá je hodnotená spolu s návrhovou vlnou stanovenou SHMÚ – Q_{1000} (Obrázok 2b).



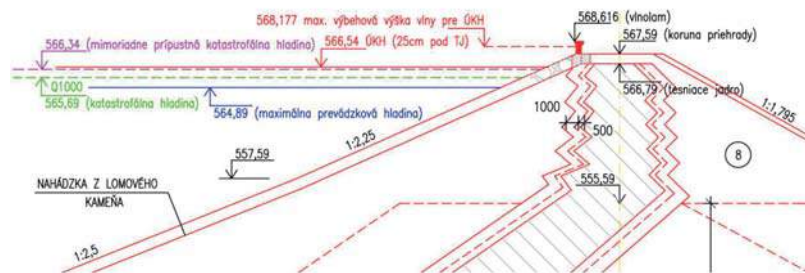
Obrázok 2: a) Izočiary spoločnej podmienenej pravdepodobnosti prekročenia objemu a trvania povodňovej vlny podmienenej kulmináčnym prietokom $Q_{1000} = 815 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Čierne body sú vybrané varianty syntetických povodňových vln s pravdepodobnosťou prekročenia 0,3; 0,5 a 0,7. Sivé body sú simulované dvojice objemu a trvania a červený bod je návrhová vlna SHMÚ. b) Súbor povodňových vln pre uvedené pravdepodobnosti prekročenia spolu s návrhovou vlnou SHMÚ pre profil VN Liptovská Mara.

4. ÚROVEŇ KRITICKEJ HLADINY

Úroveň kritickej hladiny bola stanovená v súlade s metodickým pokynom MŽP SR ako limitná hladina, pri jej prekročení môže vzniknúť bezprostredné nebezpečenstvo poruchy alebo havárie VS. Pri jej určení boli zohľadnené najmä konštrukčné riešenie hrádze, spôsob tesnenia, výsledky technicko-bezpečnostného dohľadu, predpokladané sadanie a účinky vln od vetra [1]. V prípade vodnej stavby Liptovská Mara bolo rozhodujúce konštrukčné riešenie zemnej heterogénnej hrádze s vnútorným hlinítmym tesnením. Medzi vlnolamom a tesniacim jadrom sa nachádza priestor, v ktorom by pri dlhodobom zaťažení vodným tlakom mohlo dôjsť k preliatiu koruny tesniaceho jadra. Z tohto dôvodu bola počiatočná hodnota ÚKH odvodená od projektovanej kóty koruny tesniaceho jadra vo výške 566,790 m n. m. [7].

Pri stanovení ÚKH boli následne posúdené aj účinky vetrových vln. Na základe dostupných údajov o rýchlosti a smere vetra bola stanovená výška výbehovej vlny $h_v = 1,637 \text{ m}$. Z hľadiska výsledného stanovenia ÚKH bolo rozhodujúce aj zohľadnenie dlhodobého sadania. Merania GNSS preukázali, že koruna priehrady sa nachádza približne na projektovanej úrovni, pričom najnižšie zamerané miesto dosiahlo úroveň 567,566 m n. m., čo je o 24 mm menej ako projektovaná úroveň 567,590 m n. m. Keďže skutočnú výškovú úroveň koruny tesniaceho jadra nebolo možné bez doplnkových meraní alebo prieskumu priamo overiť, bol zvolený konzervatívny prístup. Na základe regresnej analýzy sadania bola výsledná ÚKH stanovená na kótu 566,540 m n. m., o 0,25 m nižšie ako projektovaná úroveň koruny tesniaceho jadra [2].

Stanovená ÚKH predstavuje teoretickú limitnú hladinu podľa metodického postupu hodnotenia povodňovej bezpečnosti. Je potrebné zdôrazniť, že táto hodnota sa nachádza 0,20 m nad mimoriadne prípustnou katastrofálnou hladinou 566,340 m n. m., ktorá je uvedená v platnom manipulačnom poriadku vodnej stavby a ktorá nesmie byť za žiadnych okolností prekročená. Všetky výškové úrovne v rámci manipulačného poriadku vodnej stavby, spolu so stanovenou ÚKH, sú znázornené na nasledujúcom obrázku (Obrázok 3).



Obrázok 3: Výrez priečného profilu hrádze so znázornením charakteristických výškových úrovní hladín v nádrži

5. HYDROTECHNICKÉ POSÚDENIE PREVEDENIA KONTROLNÝCH POVODŇOVÝCH VŮN

Hydrotechnické posúdenie VS Liptovská Mara bolo zamerané na overenie schopnosti vodnej stavby a jej funkčných objektov bezpečne previesť kontrolné povodňové vlny pri zohľadnení retenčného účinku nádrže. Podkladom hydrotechnického riešenia boli variantne určené KPV, čiara zatopených objemov nádrže, merné krivky funkčných objektov a prevádzkové zásady a pravidlá vyplývajúce z manipulačného poriadku. V rámci rozborovej štúdie boli analyzované kapacity rozhodujúcich funkčných objektov, t. j. bezpečnostného priepadu, dnových výpustov a technologických zariadení vodnej elektrárne. Kapacity funkčných objektov podľa manipulačného poriadku boli overované aj CFD modelovaním, pričom bola dosiahnutá veľmi dobrá zhoda s pôvodnými predpokladmi [2].

Samotná transformácia KPV bola riešená viacerými výpočtovými postupmi a prevádzkovými scenármi. V rozborovej štúdiu bola použitá analyticko-iteračná aj numerická metóda, pričom analyticko-iteračný model vychádzal zo základnej rovnice nádrže. S cieľom identifikovať rozhodujúce podmienky bezpečného prevedenia KPV boli posúdené viaceré alternatívy transformácie. Tento postup je v súlade s metodickým pokynom, podľa ktorého sa využiteľná kapacita hradiacich zariadení pri splošťovaní povodňovej vlny určuje individuálne (0 – 100 %). Pokyn však neposkytuje exaktný metodický rámec na toto posúdenie a zhodnotenie spoľahlivosti výpustných zariadení. Výsledkom hydrotechnického posúdenia bolo stanovenie maximálnej hladiny dosiahnutej pri transformácii jednotlivých variantov KPV a jej porovnanie s ÚKH. Podľa metodického pokynu je výsledkom posúdenia vzťah medzi ÚKH a ÚMH, pričom VS sa pri prevádzaní KPV pokladá za bezpečnú, ak je splnená podmienka $ÚMH \leq ÚKH$.

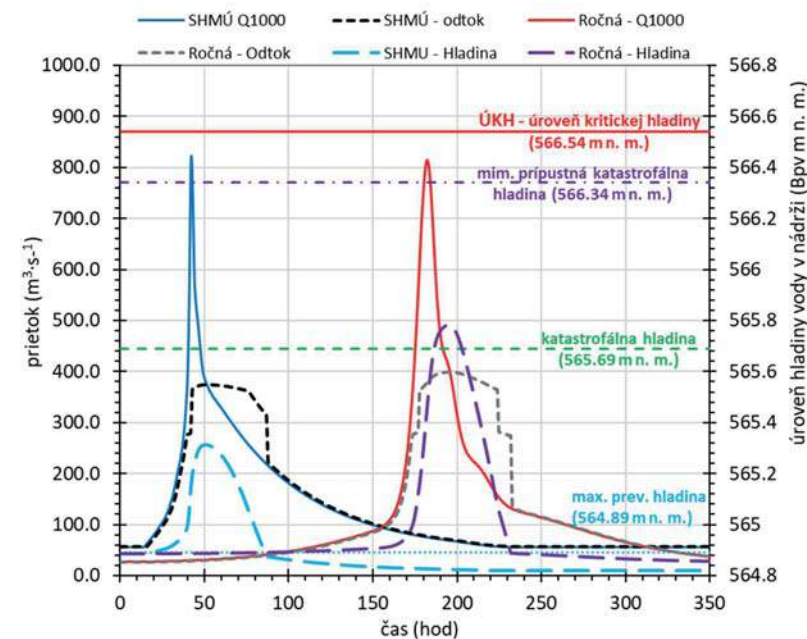
5.1 VÝSLEDKY TRANSFORMÁCIE KONTROLNÝCH POVODŇOVÝCH VŮN

Pri transformácii kontrolných povodňových vln boli posúdené viaceré výpočtové scenáre. Celková maximálna kapacita výpustných zariadení VS Liptovská Mara je cca $1088,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, pričom hodnota neškodného odtoku pod priehradou Bešeňová je $540 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Podľa manipulačného poriadku sa uvažovali tieto maximálne kapacity jednotlivých zariadení [3]:

- Kaplanove turbíny s kapacitou $280 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,
- reverzibilné turbíny s kapacitou $260 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,
- bezpečnostný priepad s kapacitou $268,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,
- dnové výpusty:
 - o ľavý tunel s kapacitou $160 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
 - o pravý tunel s kapacitou $120 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Ako je zjavné, vodná stavba disponuje viacerými výpustnými zariadeniami a bolo možné jednotlivé scenáre prepúšťania povodňových prietokov zostaviť viacerými kombináciami. Základný scenár vychádzal z platného manipulačného poriadku, ktorý predpisuje množstvo vypúšťania vody z nádrže v závislosti od hladiny vody v nádrži. Ďalšie scenáre zohľadňovali modifikované zásady podľa STN 73 6814 – pre hydraulické dimenzovanie priepadov a preskúmaný bol aj najnepriaznivejší, resp. kritický prevádzkový stav s obmedzenou prevádzkyschopnosťou vybraných bezpečnostných a výpustných zariadení. V rámci kritického scenáru sa skúmalo, za akých prevádzkových podmienok je VS Liptovská Mara schopná ešte bezpečne previesť dané KPV.

V tomto príspevku je z rozsiahleho súboru výpočtov (analytických a numerických) prezentované porovnanie dvoch kontrolných povodňových vln s rovnakým kulmináčnym prietokom $Q_{1000} = 815 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Ide o KPV SHMÚ Q_{1000} a KPV STU Q_{1000} (ročná) stanovená navrhovanou metodikou. Porovnanie týchto dvoch prípadov je na obrázku (Obrázok 4).



Obrázok 4: Porovnanie transformácie kontrolných povodňových vln Q_{1000} vo vodnej nádrži Liptovská Mara.

Z porovnania výsledkov (Tabuľka 1) vyplýva, že napriek rovnakej hodnote kulmináčneho prietoku $815 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ dosahuje ročná KPV Q_{1000} vyššiu maximálnu hladinu v nádrži. Rozdiel medzi dosiahnutými hladinami predstavuje $0,47 \text{ m}$. Zároveň je pri ročnej KPV Q_{1000} vyšší aj maximálny odtok z nádrže, a to o $24,46 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Uvedené rozdiely dokumentujú, že pri posudzovaní povodňovej bezpečnosti vodnej stavby nie je rozhodujúci iba samotný kulmináčny prietok, ale aj tvar, objem a časové rozloženie povodňovej vlny. Z tohto dôvodu je variantné

riešenie transformácie KPV nevyhnutnou súčasťou hodnotenia bezpečnosti vodnej stavby počas extrémneho povodňového zaťaženia.

Tabuľka 1: Porovnanie výsledkov výpočtov transformácie kontrolných povodňových vln.

Typ vlny N = 1000	Kulminačný prietok [m³·s ⁻¹]	Objem [tis. m³]	Trvanie [hod.]	Dosiahnutá hladina v nádrži [m n. m.]	Max. odtok z nádrže [m³·s ⁻¹]
SHMÚ	815	82 830	218	565,31	373,68
Ročná (0,5)	815	144 085	444	565,78	398,14

6. ZÁVER

Cieľom štúdie bolo komplexne posúdiť bezpečnosť vodnej stavby Liptovská Mara počas extrémneho povodňového zaťaženia v súlade s požiadavkami metodického pokynu MŽP SR. Dôležitou súčasťou riešenia bolo stanovenie súboru kontrolných povodňových vln, ktoré okrem kulminačného prietoku zohľadňujú aj objem, trvanie a tvar povodňovej vlny. Porovnanie KPV SHMÚ Q_{1000} a KPV STU Q_{1000} ukázalo, že aj pri rovnakej hodnote kulminačného prietoku $Q_{1000} = 815 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ môže rozdielny objem a časový priebeh vlny viesť k rozdielnej maximálnej hladine v nádrži. Výsledky hydrotechnických analýz preukázali, že maximálne dosiahnuté hladiny pri analyzovaných povodňových vlnách neprekročili stanovenú ÚKH ani mimoriadne prípustnú katastrofálnu hladinu podľa manipulačného poriadku. Geotechnické posúdenie zároveň potvrdilo vyhovujúcu filtračnú a konštrukčnú stabilitu priehrady pri uvažovaných zaťažovacích stavoch. V nadväznosti na sústavu vodných stavieb Liptovská Mara – Bešeňová bolo posúdené aj pôsobenie transformovaných odtokov na VS Bešeňová, pričom pri dodržaní manipulačných zásad nedochádza k prekročeniu stanovených limitných hladinových úrovní.

Na základe vykonaných hydrologických, hydrotechnických a geotechnických analýz možno konštatovať, že vodná stavba Liptovská Mara, ako aj nadväzujúca vodná stavba Bešeňová, v rozsahu posudzovaných zaťažovacích stavov vyhoveli požiadavkám na bezpečné prevedenie extrémnych povodňových prietokov a táto vodohospodárska sústava je teda hodnotená ako bezpečná. Doplnkovo preverované scenáre s dobou opakovania prietoku 10 000 rokov neprekročili stanovené kritické limitné hodnoty, pričom toto overenie predstavuje posúdenie nad rámec požiadaviek metodického pokynu MŽP SR pre vodné stavby I. kategórie.

POĎAKOVANIE

Táto práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmlúv APVV-23-0332 a VV-MVP-24-0208 a grantovou agentúrou VEGA v rámci projektu 1/0577/23.

LITERATÚRA

[1] MINISTERSTVO ŽIVOTNÉHO PROSTREDIA SLOVENSKEJ REPUBLIKY. Metodický pokyn generálneho riaditeľa sekcie vôd Ministerstva životného prostredia Slovenskej republiky k posudzovaniu bezpečnosti priehrad a odkalísk počas povodňového zaťaženia v rámci technicko-bezpečnostného dohľadu. Číslo: 05/2020-4. Bratislava, 18. 11. 2020.

[2] SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE, STAVEBNÁ FAKULTA. Rozborová štúdia pre riešenie problematiky bezpečnosti vodných stavieb počas povodňového zaťaženia pre VN Liptovská Mara. 1. časť. Bratislava, máj 2025.

[3] SLOVENSKÝ VODOHOSPODÁRSKY PODNIK, štátny podnik. Manipulačný poriadok pre vodné stavby Liptovská Mara – Bešeňová na rieke Váh v riečnom km 338,400 – priehrade Liptovská Mara a km 335,220 – vyrovnávacia nádrž Bešeňová. 2019.

[4] LIOVÁ, A. a kol. Transposition of donor daily flows to ungauged catchments for reservoir safety analysis using drainage area-based multipliers. *Acta Hydrologica Slovaca*. 2025, 26(2), 387–397. ISSN 2644-4690. DOI: 10.31577/ahs-2025-0026.02.0039.

[5] VALENT, P. FloodSep: užívateľská príručka. Bratislava: SvF STU v Bratislave, 2019.

[6] VÝLETA, R. a kol. The testing of a multivariate probabilistic framework for reservoir safety evaluation and flood risks assessment in Slovakia: A study on the Parná and Belá Rivers. *J. Hydrol. Hydromech.* 2023, 71, 4, 449-463. ISSN 0042-790X. DOI:10.2478/johh-2023-0027.

[7] VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA, š. p. Sústava vodných stavieb Liptovská Mara – Bešeňová: 8. Súhrnná etapová správa o TBD za obdobie doterajšej existencie do roku 2020. Bratislava, september 2021. 306 s.

doc. Ing. Roman Výleta, PhD.
roman.vyleta@stuba.sk

prof. Ing. Silvia Kohnová, PhD.
silvia.kohnova@stuba.sk

Ing. Peter Valent, MSc., PhD.
peter_valent@stuba.sk

doc. Ing. Michaela Danáčová, PhD.
michaela.danacova@stuba.sk

prof. Ing. Kamila Hlavčová, PhD.
kamila.hlavcova@stuba.sk

prof. Ing. Ján Szolgay, PhD.
jan.szolgay@stuba.sk

Katedra vodného hospodárstva krajiny, Stavebná fakulta, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Radlinského 2766/11, 810 05 Bratislava, Slovensko

Ing. Anna Liová, PhD.
anna.liova@stuba.sk, anna.liova@shmu.sk

Ing. Juraj Škvarka, PhD.
Katedra geotechniky, Stavebná fakulta, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Radlinského 2766/11, 810 05 Bratislava, Slovensko
juraj.skvarka@stuba.sk

doc. Ing. Martin Orfánus, PhD.
Katedra hydrotechniky, Stavebná fakulta, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Radlinského 2766/11, 810 05 Bratislava, Slovensko
martin.orfanus@stuba.sk

doc. Ing. Tomáš Bacigál, PhD.
Katedra matematiky a deskriptívnej geometrie, Stavebná fakulta, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Radlinského 2766/11, 810 05 Bratislava, Slovensko
tomas.bacigal@stuba.sk

GUDRÓNOVÉ JAMY PREDAJNÁ I A PREDAJNÁ II – VODNÉ STAVBY, ALEBO SKLÁDKY ODPADU?

M. Bakeš, K. Furindová, L. Kőszeghy-Zlatinská, L. Prefertusová & M. Winkler
VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA, ŠTÁTNY PODNIK, Bratislava, Slovenská republika

ABSTRAKT: Takzvané gudrónové jamy nachádzajúce sa pri obci Predajná, boli vybudované spoločnosťou Petrochema Dubová, n.p., za účelom ukladania tekutých ropných odpadov (gudrónov) v r. 1963 - 1984. Gudróny sú toxické látky, karcinogénne, mutagénne a teratogénne - majú schopnosť vyvolať genetickú mutáciu a vrodené vývojové vady. Vzhľadom na ich situovanie v ochrannom pásme Národného parku Nízke Tatry, boli predmetom monitoringu vplyvu na životné prostredie od 80-tych rokov až po súčasnosť. Tieto úložiská sú však z časti tvorené hrádzovým systémom, ktorého výška miestami dosahuje cca 17 m, pričom zadržáva tekutý odpad a vodu s objemom niekoľko desiatok tisícov m³. V prípade poruchy hrádzí a následného uvoľnenia tohto materiálu do nižšie položeného územia by došlo k vzniku rozsiahlych environmentálnych škôd a ohrozeniu zdravia obyvateľstva. Napriek existujúcemu riziku a uvádzaniu týchto skládok v registri kategorizovaných vodných stavieb, vlastník nezabezpečoval výkon TBD. Ten bol zabezpečený až Ministerstvom životného prostredia SR, ktoré bolo v r. 2021 určené ako tzv. „povinná osoba“ pre sanáciu týchto environmentálnych záťaží. Predkladaný článok uvádza výsledky TBD vykonávaného pracovníkmi Vodoohospodárskej výstavby, š.p., ako aj prehľad ďalších činností, ktoré boli pre objednávateľa zabezpečované. Okrem pozorovaní a meraní sa jednalo o prieskumné a najmä zabezpečovacie práce, bez realizácie ktorých by došlo k prelitiu hrádzí. Samostatná pozornosť bola venovaná hodnoteniu stability hrádzového systému so zohľadnením aktuálnych výsledkov inžiniersko-geologického a geotechnického prieskumu. Aj keď príslušný orgán štátnej vodnej správy v r. 2025 rozhodol, že gudrónové jamy nie sú vodné stavby, podliehajúce TBD, poverená osoba zabezpečuje ich technicko-bezpečnostný monitoring aj naďalej a hľadá riešenie pre ich sanáciu.

1. ÚVOD

V predkladanom príspevku sa venujeme problematike gudrónových jám (GJ) Predajná I a II z pohľadu ich technickej bezpečnosti a rizika ohrozenia priľahlého územia, najmä v dôsledku prelievania a možného poškodenia hrádzového systému. Uvádzame prehľad základných informácií o týchto stavbách, stručne sa venujeme ich histórii, prevádzke a výsledkom inžiniersko-geologických prieskumov. Z nášho pohľadu sú GJ nie len skládky nebezpečného odpadu, ale tiež bezpochyby spĺňajú aj zákonnú definíciu vodnej stavby, preto máme za to, že by mali podliehať odbornému technicko-bezpečnostnému dohľadu (TBD), v zmysle platných predpisov. Bezpečnosť hrádzového systému hodnotíme z pohľadu aktualizovaných výsledkov prieskumu, výpočtu filtračného prúdenia a stabilného posúdenia. Na záver poukazujeme na potrebu kontinuálneho monitoringu a navrhujeme možné riešenia.

2. HISTÓRIA A OPIS GUDRÓNOVÝCH JÁM V PREDAJNEJ

Gudrónové jamy – skládky tekutých odpadov v blízkosti obcí Predajná a Lopej sú tvorené dvomi samostatnými nádržami Predajná I a Predajná II (obr. 1). Sú situované v chránenej vodoohospodárskej oblasti Nízke Tatry a v ochrannom pásme Národného parku Nízke Tatry s druhým stupňom ochrany prírody. Skládky Predajná I bola vybudovaná začiatkom 60. rokov 20. storočia a prevádzkovaná v r. 1964 až 1974 ako úložisko ropných odpadov z výroby PETROCHEMA n.p. Dubová. V r. 1975 až 1976 boli odpady prečerpávané zo skládky Predajná

I do novovybudovanej skládky Predajná II [6], ktorej prevádzka trvala do r. 1984 [2]. V 80. rokoch 20. storočia boli objekty evidované vo vlastníctve podniku PETROCHEMA, n. p. Dubová ako gudrónové nádrže Dubová a zaradené do III. kategórie VS podľa vyhlášky o TBD [11]. Podnik bol následne transformovaný na štátny a po privatizácii na akciovú spoločnosť. V roku 2009 sa dostal do konkurzu a krátko na to ho odkúpila spol. PTCHEM s. r. o. Časť podniku bola v roku 2016 prevedená na PTCHEM Sulfurex s. r. o. Problematika environmentálnych záťaží nebola však riešená žiadnym vlastníkom a objekty boli dlhodobo bez systematického dohľadu, iba v starostlivosti obce Predajná. V rokoch 1980–2025 bolo na lokalite realizovaných viacero prieskumov zameraných najmä na znečistenie podzemných a povrchových vôd a horninového prostredia (IGHP Žilina, GP Spišská Nová Ves, ŠGUDŠ, STU Bratislava). V r. 2008 boli skládky zaradené medzi 257 registrovaných environmentálnych záťaží SR a lokalita sa stala verejným záujmom. Začali sa objavovať články a diskusie na internete a tlak verejnosti na odstránenie týchto environmentálnych časovaných bômb výrazne narástol [3].



Obrázok 1: Gudrónové jamy Predajná I (vľavo) a II (vpravo)

Skládku Predajná I je možné klasifikovať ako rovinné, čiastočne svahové odkalisko, s jednorazovým systémom dopravnej vody, čiastočne pretekané povrchovými vodami, so základnou hrádzou sypanou z miestnych zemín, s trvale uloženým ropným odpadom. Celkový objem uložených nebezpečných odpadov v súčasnosti predstavuje cca 100 tis. m³ a leží na ploche cca 11 tis. m². Skladba odpadov v nádrži je rôzna: najhlbšie sú tuhé gudróny, vyššie pastovitej konzistencie, nad nimi tekuté gudróny, kyseliny, oleje a na povrchu je cca 1,0 m vody (s pH cca 1) s olejovými škvrnami. Zemné obvodové hrádze, budované z miestnych hlinito-ílovitých materiálov, dosahujú výšku do 17 m. V r. 1975 hrozilo v dôsledku intenzívnych zrážok a nedostatočného odvodnenia akumuláčného priestoru prelitiu koruny hrádze, čo pravdepodobne viedlo k jej lokálnemu navýšeniu. V 80. rokoch bolo zrealizované prekrytie skládky s cieľom obmedziť dotáciu zrážkovej vody do nádrže. Prekrytie bolo realizované drevenou plávajúcou konštrukciou, na ktorej bola vrstva makadamu, humusu a zatravnenie. Uvedená konštrukcia sa ponorila a v súčasnosti sa jej pozostatky nachádzajú v nádrži.

Nádrž Predajná II je situovaná cca 200 m západne od nádrže Predajná I. Bola vytvorená prehradením údolia nízkou hrádzou (cca 7 m), budovanou tiež z miestnych materiálov, teda je možné ju klasifikovať ako údolné odkalisko. Objem uložených odpadov je cca 50 tis. m³ [3, 6].

3. TECHNICKO-BEZPEČNOSTNÝ DOHĽAD / MONITORING

TBD nad GJ Predajná I a Predajná II by mal predstavovať základný nástroj pre sledovanie a hodnotenie rizík a hodnotenie bezpečnosti týchto stavieb a ich okolia. Avšak napriek ich uvádzaniu v zozname kategorizovaných vodných stavieb bol systematicky vykonávaný až od r. 2021, pričom bol zabezpečený Ministerstvom životného prostredia SR, ktoré bolo určené ako tzv. "povinná osoba" pre sanáciu environmentálnej záťaže. V septembri r. 2021

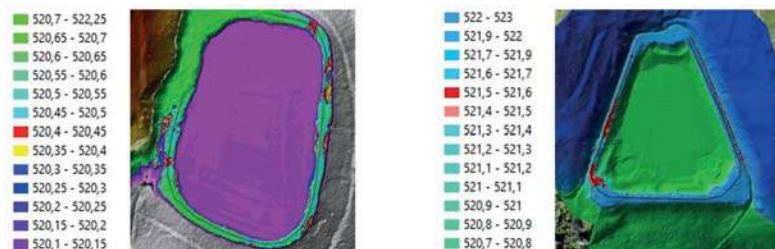
Vodohospodárska výstavba, š. p. (VV, š.p.) vypracovala Program technicko-bezpečnostného dohľadu [5], ktorý jednak uvádzal povinnosti MŽP SR, ako povinnej osoby, vo vzťahu k environmentálnej záťaži a tiež vyplývajúce z vodného zákona [12], v súvislosti so zabezpečením odborného TBD. V rámci TBD boli pravidelne mesačne zhodnocované všetky dostupné dáta, ktoré sa na GJ Predajná I a Predajná II sledujú. Jedná sa o hladinu podzemnej vody (HPV) v 2 sondách, zrážky, teplota vzduchu, ale najmä hladina vody v nádržiach. Medzi najdôležitejšie nástroje dohľadu patria vizuálne kontroly pri pravidelných obchádzkach. Význam odborného TBD podľa príslušnej legislatívy spočíval tiež v možnosti uloženia nápravných opatrení v rámci výkonu technicko-bezpečnostného dozoru.

V súčasnosti predstavuje najväčšie riziko preliate hladiny z nádrže Predajná I, ktorá sa nachádza len niekoľko cm pod kótou koruny hrádze. V minulosti k takýmto udalostiam došlo niekoľkokrát na viacerých miestach, následkom čoho bola hrádza (jej vegetačný pokryv), spolu s priesakmi cez teleso hrádze trvalo porušená kyselinovými vodami. Pôvod priesakov bol neznámy, no poukazoval na možné preferované priesakové cesty (obr. 2). Súčasný stav si vyžaduje odčerpávanie a čistenie vody z nádrže Predajná I a vytváranie dostatočného retenčného priestoru. Napriek tejto snahe nie je možné riziko preliatia počas extrémnych zrážok úplne vylúčiť.



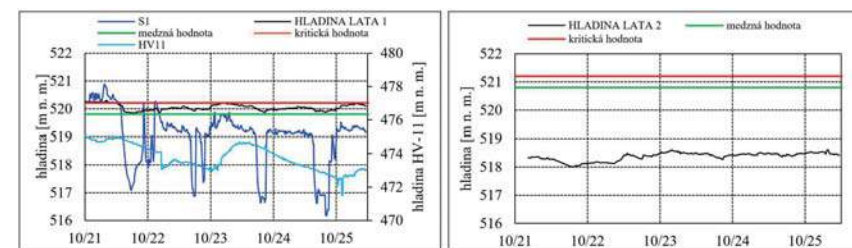
Obrázok 2: Predajná I – porušený svah hrádze a priesaky – r. 2021 (vľavo) / súčasný stav (v strede), pohľad na hladinu (vpravo)

Na základe zamerania LiDARom (obr. 3) boli identifikované rizikové (najnižšie) miesta hrádzových systémov, na základe čoho bola v PTBD stanovená medzná hodnota pre hladinu vody v nádrži Predajná I na kóte 519,80 m n. m. a kritická hodnota 520,21 m n. m. Hladina gudrónov a zrážkovej vody v nádrži Predajná II sa nachádza cca 2,5 m pod najnižšou úrovňou terénu/koruny hrádze a nepredstavuje riziko preliatia.



Obrázok 3: výškové zameranie LiDARom a vyobrazenie najnižších miest – Predajná I (vľavo), Predajná II (vpravo) [5]

V septembri 2021 zabezpečila VV, š. p. osadenie automatizovaných snímačov úrovne hladín v nádržiach a HPV vo vrtoch HV-11 a S-1. Výkon pravidelného TBD bol zo strany MŽP v období 01/2024 až 09/2025 nezazmluvnený, avšak základný monitoring bol vykonávaný naďalej, neformálne, v gescii VV, š.p. – TBD Bratislava. Pravidelný výkon monitoringu zo strany MŽP SR bol opätovne zazmluvnený od 09/2025, avšak nejedná sa o TBD podľa príslušnej legislatívy, ale o „technicko-bezpečnostný monitoring“ (vzhľadom na rozhodnutie orgánu štátnej vodnej správy, že GJ nie sú naďalej VS - viď kap. 5). V rámci monitoringu sú VV, š.p. – TBD vykonávané podľa potreby tiež niektoré špeciálne merania, ako sú geofyzikálne a geodetické merania. Na obr. 4 sú uvedené priebehy hladín v nádržiach Predajná I a II, porovnané s medznými a kritickými hodnotami, ako aj vývoj HPV vo vrte S-1 (teleso hrádze Predajná I) a vo vrte HV-11, ktorý sa nachádza v prírodnom teréne pod hrádzovým telesom.



Obrázok 4: vývoj hladín - Predajná I (vľavo) Predajná II (vpravo)

4. ZABEZPEČOVACIE A SANAČNÉ PRÁCE

Na jar 2022 podnik VV, š.p. – TBD v blízkosti telesa skládky Predajná I vybudoval a spustil mobilné zariadenie na čerpanie a následnú úpravu kvapaliny v lagúne, aby sa zabránilo preliatiu koruny hrádze. Prvou fázou procesu bolo chemické čistenie za pomoci mobilnej čistiarne, následne sa realizovalo dočistenie v komunálnej čistiarňi odpadových vôd.

Celkový pokles hladiny od februára 2022 do augusta 2022 predstavoval viac ako 35 cm pričom pre zaistenie bezpečnosti stavby bolo pôvodne plánované zníženie úrovne hladiny o cca 20 cm. Okrem zníženia hladiny vody v nádrži boli tiež vykonané opatrenia s cieľom minimalizovať dotáciu zrážkových a povrchových vôd do nádrže (vybudovanie obtokového rigola) [4].

5. GUDRÓNOVÉ JAMY Z POHĽADU LEGISLATÍVY

V 08/2024 Okresný úrad Brezno začal konanie vo veci vydania rozhodnutia podľa §52 ods. 2 vodného zákona [12], z dôvodu posúdenia pochybnosti, či stavby skládky odpadu Predajná I a II sú vodné stavby (VS) podľa definície zákona. Orgán zároveň požiadal VV, š.p. o poskytnutie súčinnosti v uvedenej veci, pričom poukázal na §52 ods. 1 písm. i) vodného zákona, kde je definovaná VS ako odkalisko tvorené hrádzovým systémom, na ktorý sa odpad UKLADÁ hydraulickým spôsobom. VV, š.p. na uvedený podnet odpovedala, že Odkaliská Predajná I a II sú zapísané v registri VS vedenom v zozname kategorizovaných VS. Obe stavby sú tvorené hrádzovým systémom, ktorý vytvára nádrže na ukladanie tekutých odpadov – gudrónov, tiež zadržiava vodu a iné tekuté látky, pričom ich uvoľnením by mohlo dôjsť k vzniku prielomovej vlny a k ohrozeniu nižšie položeného územia. Ďalej, že v zmysle všeobecnej definície uvedenej v §52 ods. 1 vodného zákona sa jedná o VS, pretože umožňujú osobitné užívanie vôd alebo iné nakladanie s vodami, majú nádrž s vodou (ktorá tiež obsahuje aj iné tekuté látky ako vodu) a tiež spĺňajú definíciu odkaliska, tvoreného hrádzovým systémom. Aj keď sa v súčasnosti odpad do nádrží už neukladá hydraulickým spôsobom, podľa

VV, š.p. predmetné VS splňajú aj uvedenú definíciu, pretože sa do nich v minulosti odpad hydraulickým spôsobom ukladal.

VV, š.p. ďalej upozornila, že nad predmetnými odkaliskami je v zmysle vodného zákona nutné vykonávať odborný TBD, pretože ich poškodenie môže spôsobiť ohrozenie príľahlého územia, života ľudí a majetku najmä uvoľnením vzdúvanej alebo zadrživanej vody a iných tekutých látok (kalu). Zároveň sú tiež splnené ustanovenia §56 ods. 4 vodného zákona (VS zadrživa vodu/kal s objemom viac ako 1 000 m³, resp. hladina je viac ako 1,0 m nad terénom).

Napriek uvedenému stanovisku v 11/2024 OÚ Brezno rozhodol, že predmetné stavby skládok odpadu nie sú VS a teda vlastník nemusí nad nimi zabezpečovať TBD. K uvedenému rozhodnutiu OÚ Brezno podala VV, š.p. odvolanie, kde okrem iného namietala, že OÚ svoje rozhodnutie nesprávne odôvodnil, pričom uviedol, že § 52 ods. 1 vodného zákona taxatívne vymenúva VS. VV, š.p. má však za to, že v uvedenom ustanovení sa uvádzajú iba niektoré príklady vodných stavieb textom „Vodnými stavbami sú najmä ...“. Zároveň upozornila, že výklad vodného zákona uplatnený OÚ by vytvoril rizikový precedens, ktorý by mohol mať následný negatívny dopad nielen na oblasť TBD, ale aj bezpečnosť VS vo všeobecnosti.

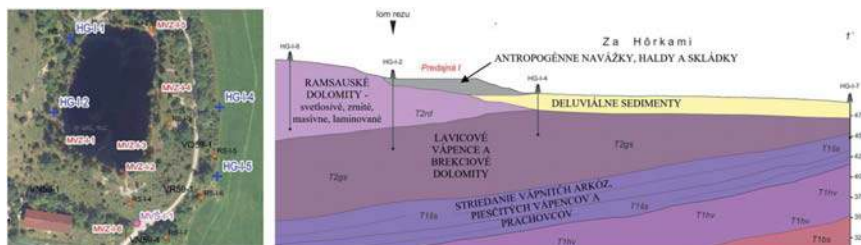
VV, š.p. podala následne podnet na preskúmanie zákonnosti postupu správneho orgánu vo veci vydania rozhodnutia na prokuratúru, avšak tento bol taktiež zamietnutý s odôvodnením, že prokuratúra nie je v uvedenej veci príslušný orgán.

6. POSÚDENIE STABILITY HRÁDZE – PREDAJNÁ I

Súčasný technický stav hrádze Predajná I je lokálne narušený prelievaním kontaminovanej vody cez korunu hrádze, resp. priesakmi cez hrádzu. V roku 2014 bola realizovaná stabilitná analýza v dvoch profiloch hrádze podľa predpokladov medznej rovnováhy [7]. Analýza v súčasnej etape bola doplnená o filtračný výpočet a bola posúdená v reprezentatívnom profile južnej hrádze, ktorý dosahuje najvyššiu výšku (cca 17 m) a predstavuje najkritickejší úsek.

6.1 VÝSLEDKY INŽINIERSKO-GEOLOGICKÉHO PRIESKUMU A GEOFYZIKÁNYCH MERANÍ

V lokalite Predajná I bol v minulosti realizovaný inžiniersko-geologický prieskum (IGP) vo viacerých etapách (podrobnejší prehľad prieskumov od r. 1960 – 2013 je uvedený v [7]), pričom za najreprezentatívnejší možno považovať prieskum z rokov 2014 [7] a 2023 [1, 9]. V rámci prieskumu [7] boli vybudované dva vrty z koruny hrádze s označením S-1 a S-2 pre zistenie geologických pomerov v mieste hrádze. V rámci rozsiahleho prieskumu [1] bolo na lokalite GJ Predajná I a v jej bezprostrednom okolí vybudovaných 11 zvislých vrtoch s označením MVZ-I-1 až MVZ-I-11 s hĺbkou do 29 m, 1 šikmý prieskumný vrt s označením MVŠ-I-1 s hĺbkou 100 m a 8 hydrogeologických monitorovacích vrtoch s označením HG-I-1 až HG-I-8. Geologická skladba podložja je znázornená v reze orientovanom v smere západ-východ (obr. 5).

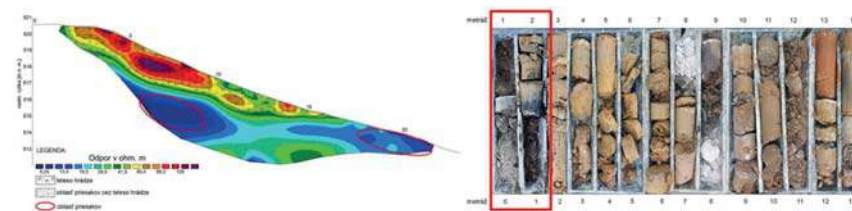


Obrázok 5: Situovanie prieskumných diel (vľavo) a geologická skladba podložja lokality Predajná I [1]

Pre zistenie geotechnických vlastností bolo z prieskumných vrtoch S-1 a S-2 [7] odobratých 8 neporušených a 1 porušená vzorka. Z prieskumných vrtoch MVZ-I-1 až MVZ-I-5 odvrtných z koruny hrádze bolo odobratých 11 neporušených a 9 porušených vzoriek zemín [9].

Podľa [7] zrnitosťné zloženie zemín podložja charakterizujú v tejto etape prieskumu krivky 2 vzoriek zemín – il piesčité CS-F4 (1 vz.) a silt piesčité MS-F3 (1 vz.). Zrnitosťné zloženie zemného telesa hrádze reprezentuje v tejto etape prieskumu 7 kriviek zrnitosti jemnozrnných zemín. Sú to prevažne íly so strednou plasticitou (CI-F6, 5 vz.) a menej íly s vysokou plasticitou (CH-F8, 2 vz.). Podľa [9] sa v telese hrádze nachádzajú íly s vysokou plasticitou, (CH-F8, 5 vz.), íly so strednou plasticitou (CI-F6, 3 vz.), silty so strednou plasticitou (MI-F5, 2 vz.), íl piesčité (CS-F4, 1 vz.), piesok ílovitý (SC-S5, 2 vz.). Zloženie zemín podložja charakterizujú piesky ílovité (SC-S5, 3 vz.), íly so strednou plasticitou (CI-F6, 2 vz.), štrk s prímiesou jemnozrnných zemín (G-F-G3, 1 vz.), íl piesčité (CS-F4, 1 vz.). Na základe analýzy odobratých vzoriek zemín z hrádze a z podložja odkaliska je zrejme, že hrádzové teleso odkaliska bolo vybudované prevažne zo zemín tvoriacich podložie odkaliska.

Prostredníctvom laboratórnych skúšok boli stanovené základné fyzikálno-mechanické vlastnosti, šmykové parametre a filtračné parametre odobratých vzoriek zemín podložja a hrádzového telesa, ktoré sú významné pre hodnoverné geotechnické výpočty. Z výsledkov laboratórnych skúšok vyplynulo, že sa jedná o veľmi málo priepustné zeminy ($k_{f,sat} \approx 1.10^{-10} \text{ m.s}^{-1}$). Na obr. 6 sa nachádza grafická interpretácia geofyzikálneho profilu, ktorý je situovaný v úseku s najvyššou výškou hrádze. Lokálne znížené hodnoty merného odporu (modrá farba) poukazovali na možné, sústredené priesakové oblasti [9]. V žiadnom z vrtoch realizovaných z koruny hrádze nebola zaznamenaná HPV, no vzorky odobraté z hrádze zároveň vykazovali vysoké hodnoty saturácie (6 vzoriek z 9 malo $S_r=97,0\sim99,8\%$). Vo vrtoch MVZ-I-2 a 4 bola v hĺbke 0~1,5 (1,6) m zaznamenaná priepustná vrstva štrku piesčitého, so zátekmi gudrónov, ukončená geotextíliou – zrejme sa jedná o lokálne miesta nadvýšenia hrádzí z r. 1975 (obr. 6).



Obrázok 6: Výsledky povrchového geofyzikálneho merania (vľavo) [10]; vrtné jadrá MVZ-I-2: priepustná poloha 0~1,5 m (vpravo) [1]

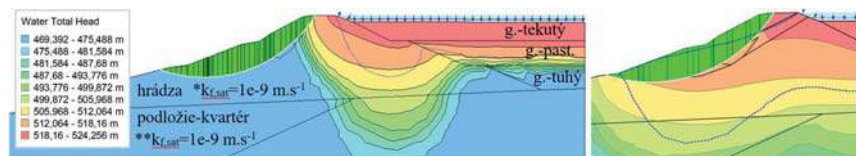
6.2 VÝPOČET FILTRAČNÉHO PRÚDENIA A STABILITY SVAHU

Za účelom posúdenia stability hrádze bolo vykonané numerické modelovanie formou nadväzujúcich analýz metódu konečných prvkov a medznej rovnováhy Morgenstern-Price. Začiatkové hydraulické podmienky boli modelované pomocou ustáleného filtračného prúdenia, s okrajovými podmienkami zodpovedajúcimi HPV cca 30 m pod terénom. Na to nadväzovalo modelovanie pomocou nestacionárneho prúdenia so zvýšením hladiny v nádrži na úroveň súčasnej kóty a následne až na úroveň koruny hrádze. Stabilitné a filtračné výpočty boli realizované formou parametrickej štúdie, pričom bol preverený aj scenár preferovanej priesakovej cesty na základe výsledkov z geofyzikálnych meraní a identifikovaných priesakov na vzdušnom svahu hrádze. Výsledný minimálny stupeň stability dosahoval hodnotu $F_s = 1,38$

(obr. 7); čo znamená, že stabilita hrádze nie je ohrozená ani za takto uvažovaných podmienok. Vzhľadom na to, že počas geologického prieskumu nebola nikde v hrádzi zistená HPV, tlakové prúdenie v telese hrádze nepredpokladáme, naopak, jedná sa o prúdenie v nesaturovanej zóne dokumentované vysokými stupňami saturácie. HPV v sonde S-1 nepovažujeme za úroveň depresnej krivky aj z dôvodu jej veľmi náhlých zmien, ktoré sú v takto málo priepustných materiáloch vylúčené. Na základe výsledkov z geofyzikálneho prieskumu, ktoré indikovali možné priesakové cesty a na základe vizuálne identifikovaných priesakov, ktoré boli zaznamenané v čase zvýšených hladín vody v nádrži predpokladáme, že sa jednalo o priesak cez lokálnu priepustnejšiu oblasť blízko povrchu vzdušného svahu (nadvýšenia hrádze priepustným materiálom). Na obr. 7 sa nachádzajú výsledky filtračnej a stabilitej analýzy aj pre scenár bez uváženia priesakov cez teleso hrádze (min. $F_s = 1,75$).

Tabuľka 1: Materiály a materiálové vlastnosti použité v numerických výpočtoch

Materiál [-]	γ [kN.m ⁻³]	c_{ef} [kPa]	ϕ_{ef} [°]	$k_{f,sat}$ [m.s ⁻¹]
gudrón-tekutý	20,0	0,0	0,0	1,00E-07
gudrón-pastovitý	20,0	0,0	0,0	1,00E-10
gudrón-tuhý	20,0	0,0	0,0	1,00E-12
hrádza	20,0	9,0	21,0	4,4E-11 – 1,0E-8*
podložie-kvartér	20,0	21,0	22,8	3,1E-10 – 1,0E-8**
podložie-dolomit	25,0	50,0	30,0	1,00E-06
pref. pries. cesta	20,0	9,0	21,0	1,00E-06



Obrázok 7: Výsledok filtračného prúdenia a tvar krit. šmykovej plochy: $F_s=1,75$ (vľavo); s uvažovaním priesaku: $F_s=1,38$ (vpravo)

7. ZÁVER

Stabilita hrádzového systému gudrónovej jamy Predajná I v súčasnosti nepredstavuje zásadný problém, kritickým faktorom však ostáva riziko jej preliatia. Bolo preukázané, že úroveň hladiny nesmie presiahnuť stanovené kritéria aj z dôvodu nadvýšenia hrádze nevhodným materiálom, čo vedie k lokálnemu presakovaniu znečisťujúcich látok na vzdušnom svahu a jeho degradácii. Dlhodobé odčerpávanie a čistenie kontaminovaných vôd nemožno považovať za trvalé riešenie. Jediným efektívnym prístupom je úplné odstránenie alebo stabilizovanie uložených gudrónov v rámci sanácie environmentálnej záťaže, ktoré inak budú aj naďalej predstavovať trvalý zdroj kontaminácie podlažia a podzemných vôd. Ako dočasné opatrenie sa ponúka presun časti gudrónov do nádrže Predajná II, s výrazne vyššou kapacitou, čím by sa zvýšila retenčná schopnosť nádrže Predajná I. Takýto krok si však vyžaduje dôkladné posúdenie súvisiacich rizík, hlavne unikanie gudrónov do podlažia nádrže Predajná II, ktoré bolo už v minulosti zdokumentované.

Bez zabezpečenia systematického monitoringu a sanačných prác by mohlo dôjsť k postupnej degradácii a preliatiu hrádze Predajná I, až nekontrolovanému úniku nebezpečných odpadov do okolia. Zároveň je potrebné reflektovať na nedostatky v legislatívnom rámci, najmä nedostatočnú zákonnú definíciu vodných stavieb a riešenie prípadných sporných rozhodnutí orgánov štátnej vodnej správy.

LITERATURA

- [1] ADIZMOVÁ, A. Závěrečná správa – Geologický prieskum vybraných environmentálnych zaťažení 4 - ŠGÚDŠ; Košice, 12/2023.
- [2] BRNOVÁ, S.: Manažment gudrónových jám, bakalárska práca, TU Zvolen, 05/2014, 43 s.
- [3] ENVIROPORTÁL, home page, [on-line].
- [4] HLAVAČKA, V.; MÚDRY, M. Závěrečná externá správa z čistenia odpadovej vody z gudrónovej lagúny Predajná I.; VV, š. p., Bratislava, 02/2023.
- [5] KASANA et al. Program technicko-bezpečnostného dohľadu; Bratislava, 08/2021.
- [6] MASAROVIČOVÁ, M.; SLÁVIK, I.; MARTINKA, L.; HORVÁTHOVÁ, T. Komplexný monitoring odkalísk SR; STU Bratislava: Bratislava, 11/2013.
- [7] MASAROVIČOVÁ, M. et al.: Experimentálny výskum geotechnických vlastností zemín skládok – odkalísk gudrónov DUBOVÁ (PREDAJNÁ I. a PREDAJNÁ II.) a posúdenie stability hrádzového systému; STU Bratislava: Bratislava, 01/2014.
- [8] SLÁVIK, I. Experimentálny výskum vlastností zemín tvoriacich podlažie a hrádzový systém odkaliska Predajná I.; STU Bratislava: Bratislava, 08/2021.
- [9] SLÁVIK, I. Experimentálny výskum geotechnických vlastností zemín odobratých z hrádze a podlažia odkaliska Predajná; STU Bratislava: Bratislava, 09/2023.
- [10] TEKULA, B. ZS – Geofyzikálne merania metódou ERT; VV, š. p., Bratislava, 11/2022.
- [11] Vyhláška č. 119/2016 Z.z o TBD nad VS v znení vyhlášky č. 265/2020 Z.z.
- [12] Zákon č. 364/2004 Z.z. o vodách a o zmene zákona SNR č. 372/1990 Zb. o priestupkoch.

Ing. Martin Bakeš, PhD.

VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA, š. p., Bratislava, Slovenská republika
martin.bakes@vvb.sk

Mgr. Katarína Furindová

VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA, š. p., Bratislava, Slovenská republika
katarina.furindova@vvb.sk

Ing. Lenka Kőszeghy-Zlatinská, PhD.

VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA, š. p., Bratislava, Slovenská republika
lenka.koszeghyzlatinska@vvb.sk

Ing. Lucia Prefertusová

VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA, š. p., Bratislava, Slovenská republika
lucia.prefertusova@vvb.sk

Ing. Matej Winkler

VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA, š. p., Bratislava, Slovenská republika
matej.winkler@vvb.sk

POTREBA OVEROVANIA SPOLĀHLIVOSTI FUNKCIE NÁDRŽÍ V PODMIENKACH KLIMATICKEJ ZMENY

E. Bednárová & J. Škvarka

Stavebná fakulta, Slovenská technická univerzita Bratislava, Slovenská republika

M. Minárik

Vodohospodárska výstavba, š.p. Bratislava, Slovenská republika

M. Kyseláková

SLOVENSKÝ VODOHOSPODÁRSKY PODNIK, š.p., Slovenská republika

ABSTRAKT: Z časového trendu vývoja výstavby priehrad v rámci ICOLD vyplýva, že drvivá väčšina z nich bola postavená v druhej polovici 20. storočia. Na území Slovenska to predstavuje až 84 % všetkých vodných diel, zaradených do registra ICOLD. Opomenúť nemožno ani fakt, že tieto dôležité vodohospodárske diela boli navrhované na úrovni poznatkov danej doby, pričom jedným z rozhodujúcich faktorov dimenzovania objemov nádrží bola hydrologia. Ostatné desaťročia vnímame, že v dôsledku klimatickej zmeny badať v hydrologických (prietokových) radoch výrazné zmeny. Krátkodobé extrémne maximá so striedajúcimi sa dlhodobými obdobiami sucha do značnej miery menia charakter prietokových radov; ich stacionarita z obdobia navrhovania objemov nádrží sa vplyvom evidovaných hydrologických extrémov vytráca. Tak sa do pozornosti vodohospodárov dostáva otázka vplyvu klimatickej zmeny na mieru spoľahlivosti funkcií nádrží. Okrem toho sú tu ďalšie významné faktory, ako je ich zanášanie, narastajúci výpar, pokles hladín podzemných vôd, ale aj starnutie priehrad. Súbor týchto faktorov, s ohľadom na súčasnosť, ale najmä budúcnosť potreby racionálneho hospodárenia s vodou, nabáda vodohospodárov k potrebe prehodnotenia objemov nádrží a overeniu spoľahlivosti ich prevádzky. V predkladanom príspevku sú prezentované poznatky z analýzy overenia spoľahlivosti funkcie nádrže Klenovec vo väzbe na hydrologické podmienky ostatných troch desaťročí. Jedná sa o vodné dielo, ktoré je súčasťou jednorúčelovej vodohospodárskej vodárenskej sústavy Hriňová – Klenovec – Málinec, slúžiacej k zásobovaniu obyvateľov južnej časti stredného Slovenska pitnou vodou.

1. ÚVOD

Významným obdobím výstavby priehrad nielen na území Slovenska, ale v celej Európe aj vo svete je druhá polovica 20. storočia. Od obdobia, kedy bola na našom území väčšina vodných diel (až 86 %) navrhnutá a realizovaná uplynuli desaťročia, poznamenané súborom zmien tak sociálno-politických, hospodársko-ekonomických, ale aj klimatických. Ich sprievodnými javmi, okrem starnutia priehrad sú aj zmeny v nazeraní na hospodárenie s vodou, zmeny v odberateľsko-dodávateľských vzťahoch, ale tiež dopady klimatickej zmeny na extrémne hydrologické javy. Krátkodobé vodné obdobia, striedajúce sa dlhodobými obdobiami sucha do značnej miery menia charakter prietokových radov; ich stacionarita z čias navrhovania objemov nádrží sa vplyvom evidovaných hydrologických extrémov vytráca. Tak sa do popredia pozornosti dostáva otázka overenia spoľahlivosti funkcie nádrží v budúcnosti, prípadne potreba ich adaptácie vo väzbe na meniace sa podmienky pôsobenia. Metodický prístup riešenia tohto problému ilustrujeme na vodnom diele Klenovec (obr. 1), ktoré je súčasťou jednorúčelovej vodárenskej sústavy Hriňová – Klenovec – Málinec.



Obrázok 1: Vodné dielo Klenovec (Zdroj: archív SVP, š.p.)

2. VODÁRENSKÁ SÚSTAVA HRIŇOVÁ – KLENOVEC – MÁLINEC

Vodné diela Hriňová – Klenovec – Málinec sú neoddeliteľnou súčasťou jednorúčelovej vodárenskej sústavy, zásobujúcej obyvateľov južnej časti stredného Slovenska pitnou vodou (obr. 2). Súčasne zabezpečujú v málovodnom období minimálne prietoky v korytách pod priehradami a v malých vodných elektrárňach využívajú hydroenergetický potenciál vody. Základné parametre priehrad a nádrží dokumentuje tab. 1 (Bednárová, E. a kol, 2010).

Tabuľka 1: Parametre vodných diel jednorúčelovej vodárenskej sústavy

Nádrž	Parametre priehrady				
	Roky výstavby	Tok	Výška nad terénom (m)	Výška nad zák. škárou (m)	Dĺžka v korune (m)
Hriňová	1960 - 1965	Slatina	41,5	51	242,8
Klenovec	1968 - 1973	Klenovská Rimava	32,5	36,5	390,0
Málinec	1989 - 1993	Ipeľ	48,5	53,0	684,5
Nádrž	Parametre nádrže				
	Vc (mil. m ³)	Vs (mil. m ³)	Vz (mil. m ³)	Vo (mil. m ³)	účel
Hriňová	7 184 595	222 120	6 864 269	98 186	S, Qas, H, C, I
Klenovec	8 455 472	858 555	6 613 714	983 203	S, Qas, H, C, I
Málinec	26 620 959	1 405 067	23 707 953	1 507 939	S, Qas, H, C, I

C - ochrana pred povodňami, H - energetika, I - chov rýb, N - plavba, R - rekreácia, S - zásobovanie, Vc - celkový objem, Vs - stály objem, Vz - zásobný objem, Vo - ochranný objem

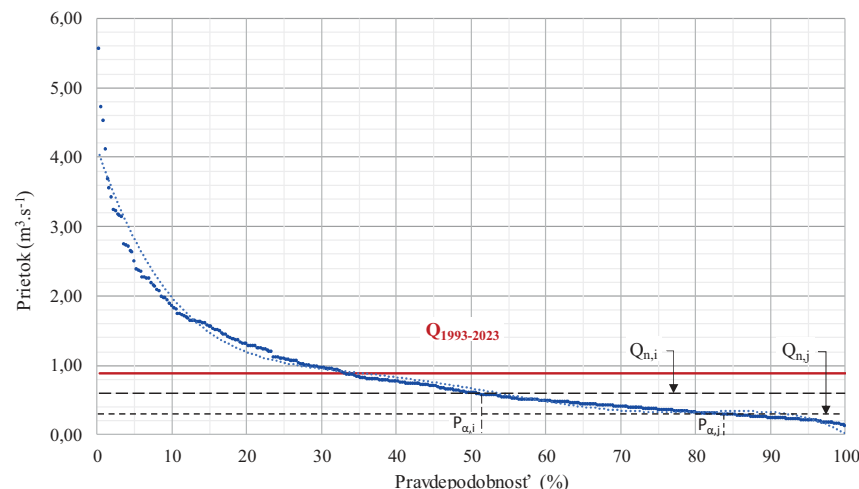
Tabuľka 3: Základné štatistické parametre prietokového radu

$Q_{\text{priem}} (\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	$Q_{\text{max}} (\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	$Q_{\text{min}} (\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	C_v	C_s
0,891	5,573	0,139	0,892	2,311

Za zmienku stojí fakt, že podľa údajov SHMÚ merania na Klenovskej Rimave (merná stanica 7840 – Ráztočné, nad priehradným profilom) sa začali vykonávať až v roku 1962, t. j. len 6 rokov pre zahájením výstavby vodného diela. Dá sa teda predpokladať, že k vodohospodárskemu riešeniu objemu nádrže boli využité nepriame (analogiou odvodené) hydrologické podklady.

3.1 OVERENIE KAPACITY ZÁSOBNÉHO OBJEMU NÁDRŽE

Smerodajnou informáciou o charaktere prietokového radu je empirická čiara prekročenia prietokov. Z trendu jej vývoja možno stanoviť hodnotu prirodzenej zabezpečivosti P_α , ktorá reprezentuje pravdepodobnosť dodávky vody bez nárokov na nádrž. Pri zaobstarávaní pitnej vody pre obyvateľov je požiadavka zabezpečenia dodávky okolo 99 %. Empirickú čiaru prekročenia prietokov Klenovskej Rimavy (k profilu priehrady) dokumentuje obr. 5.

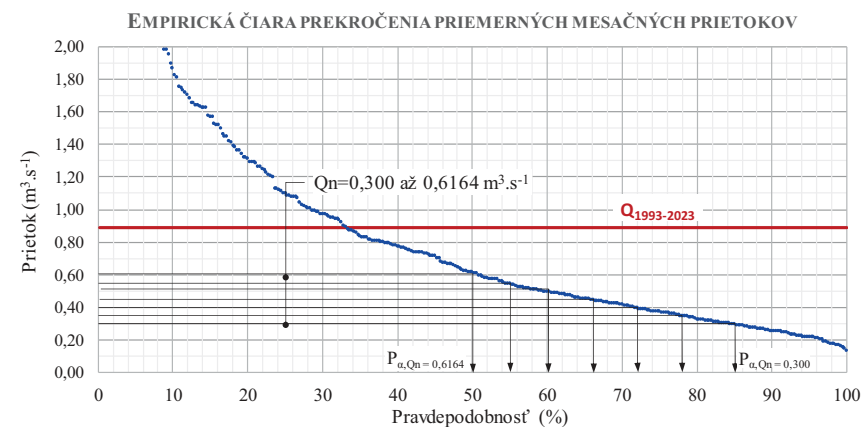


Obrázok 5: Empirická čiara prekročenia priemerných mesačných prietokov za roky 1993 – 2023 (Klenovská Rimava, SHMÚ 7840)

Z trendu jej vývoja je zrejماً ich rozkolísanosť od $Q_{\text{mes, min}} = 0,139 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ do $Q_{\text{mes, max}} = 5,573 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (súčiniteľ variácie $C_v = 0,892$), čo sa premieta aj do prirodzenej zabezpečivosti dodávky vody pre odberateľa. Ich hodnoty pri zvolených nadlepšených prietokoch od $Q_{nc} = 0,300$ do $Q_{nc} = 0,6164$ prezentuje obr. 6, tab. 4; pohybujú sa v rozmedzí od $P_{\alpha,0,300} = 85 \%$ do $P_{\alpha,0,6164} = 50 \%$. Pre orientáciu sú v tab. 4 uvedené aj súčinitele nadlepšenia α , vyjadrujúce pomernú hodnotu nadlepšeného prietoku Q_{nc} a dlhodobého priemerného prietoku Q_a ($\alpha = Q_n / Q_a$).

Tabuľka 4: Prirodzená zabezpečivosť P_α a súčinitele nadlepšenia α pre nadlepšené prietoky Q_n

$Q_{nc} (\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	0,300	0,350	0,400	0,450	0,500	0,550	0,6164
$P_\alpha (\%)$	85	78	72	66	60	55	50
α	0,337	0,393	0,449	0,505	0,561	0,617	0,692



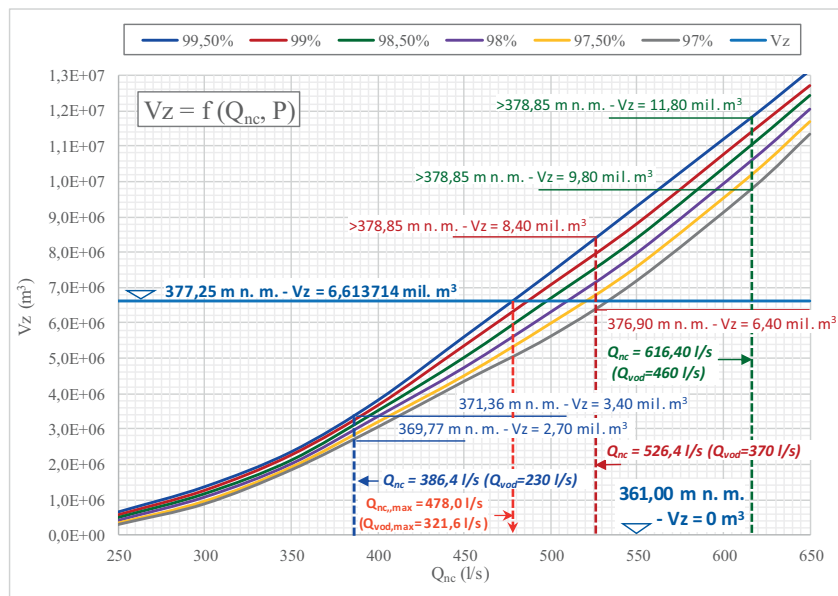
Obrázok 6: Určenie prirodzenej zabezpečivosti P_α pre zvolené Q_{nc} z empirickej čiary prekročenia prietokov (detail)

Z výsledkov je zrejماً, že v daných hydrologických podmienkach ($Q_{\text{mes}} = f(t)$) a požadovaných potrebách (Q_{nc}) sa jedná prevažne o viacročné regulovanie odtoku nádrží. Kritickými rokmi, v ktorých je priemerný ročný prietok len okolo $0,300 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ sú 2012 (0,303) a 2019 (0,308). K overeniu kapacity zásobného objemu nádrže v podmienkach ovplyvnených klimatickou zmenou (1993-2023) bola k vodohospodárskemu riešeniu aplikovaná numerická metóda. Formou parametrickej štúdie, zohľadňujúcej meniaci sa odber (Q_{nc}) v súlade s tab. 4, pri zabezpečivosti dodávky (P) v rozmedzí od 97 % do 99,5 %, boli vypočítané adekvátne hodnoty zásobného objemu nádrže (tab.5). Získaná funkčná závislosť $V_z = f(Q_{nc}, P)$ je dokumentovaná na obr. 7.

Tabuľka 5: Vstupné hodnoty pre nomogram závislosti $V_z = f(Q_{nc}, P)$; $V_z (\text{m}^3)$

$Q_{nc} (\text{l/s})$	$P (\%)$					
	99,50%	99%	98,50%	98%	97,50%	97%
300,0	1,36E+06	1,25E+06	1,15E+06	1,06E+06	9,64E+05	8,80E+05
350,0	2,35E+06	2,25E+06	2,10E+06	2,00E+06	1,92E+06	1,84E+06
400,0	3,80E+06	3,65E+06	3,50E+06	3,34E+06	3,20E+06	3,05E+06
450,0	5,60E+06	5,34E+06	5,01E+06	4,73E+06	4,51E+06	4,35E+06
500,0	7,41E+06	7,06E+06	6,69E+06	6,30E+06	5,99E+06	5,62E+06
550,0	9,30E+06	8,80E+06	8,40E+06	7,98E+06	7,60E+06	7,20E+06
616,4	1,18E+07	1,14E+07	1,11E+07	1,06E+07	1,02E+07	9,80E+06

Poznatky z analýzy, zameranej na overenie kapacity VN Klenovec v súčinnosti s evidovanou klimatickou zmenou, prezentovanou hydrologickým (prietokovým) radom 1993–2023 potvrdili pokrytie predpokladaných požiadaviek na nadlepšený prietok $Q_{nc} = 386,4 \text{ l/s}$ ($Q_{\text{vod}} = 230 \text{ l/s}$). Z výsledkov riešenia súčasne vyplýva, že maximálny nadlepšený prietok, ktorý možno pri existujúcom zásobnom objeme nádrže $6,61 \text{ mil. m}^3$ pokryť je $Q_{nc} = 478,0 \text{ l/s}$ ($Q_{\text{vod}} = 321,6 \text{ l/s}$). Projektom navrhovaný maximálny (dimenzovaný) vodárenský odber $Q_{\text{vod}} = 460,0 \text{ l/s}$ ($Q_{nc} = 616,4 \text{ l/s}$), ani manipulačným poriadkom (2013) odporúčaný odber $Q_{\text{vod}} = 370,0 \text{ l/s}$ ($Q_{nc} = 526,4 \text{ l/s}$), by za predpokladaných hydrologických podmienok nemohol byť s požadovanou pravdepodobnosťou zabezpečenia dodávky (v rozmedzí 97 – 99,5 %) zaistený.

Obrázok 7: Nomogramy závislosti $V_z = f(Q_{nc}, P)$ - VN Klenovec

Je zrejmé, že prezentované výsledky sa vzťahujú na 30-ročný hydrologický rad prietokov, ktorý bol zaznamenaný v rokoch 1993 – 2023. Takáto podobná, ale aj horšia, príp. lepšia epizóda sa v budúcnosti môže, ale aj nemusí vyskytnúť. Preto je potrebné pri overovaní miery spoľahlivosti funkcie nádrží v budúcich desaťročiach realizovať obdobné štúdie pri viacerých predpokladaných namodelovaných prietokových radoch, vystihujúcich dopady, spôsobené klimatickou zmenou. Tak možno v budúcnosti aspoň čiastočne minimalizovať riziko, vyplývajúce z klimatickej zmeny, sprevádzanej výskytom extrémov hydrologických radoch prietokov.

Na margo prezentovanej analýzy treba poznamenať, že v kontexte prezentovanej vodohospodárskej vodárenskej sústavy Hriňová – Klenovec – Málinec boli, za predpokladu zaznamenaného 30-ročného prietokového radu (1993 – 2023), preukázané dostatočné záruky zabezpečenia potrieb vody pre obyvateľstvo aj v situácii, keď jeden zo zdrojov bude z dôvodov rekonštrukcie, či sanácie určitú dobu mimo prevádzky (Bednárová, E. a kol., 2026). Berúc do úvahy širšie súvislosti vo väzbe na klimatickú zmenu a súbežne na otázku trvalo udržateľného rozvoja sa v podmienkach predmetnej vodárenskej sústavy ponúka aj možnosť energetického využitia objemu nádrže Málinec. Pri jeho veľkosti 23,707 mil. m³ a vhodných morfológických a geologických pomeroch sa tu ponúka možnosť skĺbenia vodárenského aj energetického účelu vodného diela.

Záverom treba poznamenať, že takáto analýza, spracovaná okrem empirických podkladov aj na racionálnych modelovaných hydrologických radoch môže vo väzbe na klimatickú zmenu a všetky jej sprievodné javy (hydrologické extrémny, dlhodobé obdobia sucha, výpar, pokles hladín podzemných vôd) prispieť k poznaniu miery spoľahlivosti funkcie nádrží v budúcnosti. Nemalý význam v tejto problematike má stamutie vodných diel. Pri ich potrebe obmedzenia, príp. úplného vyradenia z prevádzky z dôvodu akejkolvek rekonštrukcie či sanácie je riziko, najmä v prípadoch existencie sólo nádrží bez zálohového zdroja, značné.

4. ZÁVER

Cieľom predkladaného príspevku je ilustrácia adaptácie nazerania na vodné diela – nádrže a priehrady, na ich bezpečnosť a spoľahlivosť v podmienkach ovplyvnených klimatickou zmenou. Súčasným, nie menej dôležitým faktorom, vplyvujúcim na budúcnosť týchto významných konštrukcií je potreba trvalo udržateľného rozvoja a ochrana životného prostredia. V tejto súvislosti nemožno opomenúť ani ich starnutie, stratu objemu z dôvodu zanášania nádrží, výpar, priesaky a pod. Takto vnímané širokospektrálne faktory, vstupujúce do problematiky posudzovania bezpečnosti vodných stavieb a spoľahlivosti ich prevádzky, ako aj ich adaptácie v meniacich sa podmienkach signalizujú zložitú riešenej problematiky. V príspevku je prezentovaný krátky pohľad na poznatky z overovania kapacity jedného z vodných zdrojov jednoúčelovej vodárenskej sústavy vo väzbe na evidovanú klimatickú zmenu s prihliadnutím na ich vek - VN Hriňová (1965), Klenovec (1974), Málinec (1993) a nastupujúcu potrebu ich prípadných sanácií. Z výsledkov analýzy vodohospodárskeho riešenia funkcie nádrže Klenovec, skúmanej na hydrologickom rade prietokov (1993–2023) je zrejmé, že potreba zabezpečenia pitnej vody vo väzbe na výhľadovú bilanciu ($Q_{vod} = 230–250$ l/s) v prípade výpadku jedného z vodných zdrojov – Hriňová, príp. Málinec bude zabezpečená. Neoddeliteľnou súčasťou tohto predpokladu je ich dobrý technický stav, bezpečnosť priehrad a funkčných objektov, ako aj spoľahlivosť fungovania predmetnej jednoúčelovej vodárenskej sústavy a kapacita úpravni vody. Na margo súčasných poznatkov však treba poznamenať, že mieru spoľahlivosti doterajších výsledkov skúmania na hydrologickom rade 1993 – 2023 bude vhodné overiť aj na namodelovaných hydrologických radoch prietokov.

LITERATÚRA

- [1] BEDNÁROVÁ, E. a kol. 2010: Priehradné staviteľstvo na Slovensku. Originality – mílniky – zaujímavosti. Bratislava, Kuskus 2010, 207 s. ISBN 978-80-970428-0-6
- [2] BEDNÁROVÁ, E. a kol. 2026: Possibilities of adapting existing hydraulic structures to current conditions. In: 94th ICOLD Annual meeting – Guadalajara, Mexico 2026, 10p (v tlači)
- [3] Lukáč, M., Bednárová, E.: Vodárenské nádrže pre zásobenie pitnou vodou na Slovensku. In: Plynár * Vodár * Kúrenár + Klimatizácia. Jeseň 2007. ISSN 1335-9614. V.O.Č. Slovakia, Košice, 2007. s.56-61.
- [4] STANKO, Š. a kol. 2025: Vypracovanie vodohospodárskej bilancie a návrh vodárenskej infraštruktúry súvisiacej s PVE Málinec – Látky. Slovenská technická univerzita, Stavebná fakulta, Katedra zdravotného a environmentálneho inžinierstva. 2025, 39 s.

prof. Ing. Emilia Bednárová, PhD.,

emilia.bednarova@stuba.sk

Ing. Juraj Škvarka, PhD.

juraj.skvarka@stuba.sk

Katedra geotechniky SvF STU v Bratislave, Slovenská republika

Ing. Marian Minárik, PhD.

Vodohospodárska výstavba, š.p. Bratislava, Slovenská republika

marian.minarik@vzb.sk

Ing. Michaela Kyseláková

SLOVENSKÝ VODOHOSPODÁRSKY PODNIK, š.p. Slovenská republika

michaela.kyselakova@svp.sk

VYUŽITIE MODERNÝCH METÓD ZBERU A ANALÝZY BATYMETRICKÝCH DÁT PRI MONITORINGU ZANÁŠANIA VODNÝCH NÁDRŽÍ

I. Gacko & M. Prvý

Vodohospodárska výstavba, š. p., Bratislava, Slovenská republika

ABSTRAKT: Batymetrické merania predstavujú významný nástroj pri monitorovaní morfológie dna vodných nádrží, vodných tokov a ďalších vodohospodárskych objektov. V súčasnosti sa na zvýšenie presnosti a detailnosti meraných dát využívajú moderné hydroakustické technológie založené na akustickej detekcii, pričom významné postavenie majú najmä multilúčové sonarové systémy (MBES – Multibeam Echo Sounder). Tieto systémy umožňujú získanie hustého priestorového mračna bodov a tvorbu presných digitálnych modelov dna s kompletným pokrytím meraného územia. Príspevok sa zaoberá využitím technológie multibeam sonaru pri monitorovaní sedimentácie vodných nádrží, tvorbe objemových charakteristík nádrží, identifikácii objektov pod vodnou hladinou a pri lokalizácii sedimentov určených na odťažovanie kúpeľného bahna. Súčasťou realizovaných meraní bolo aj spracovanie batymetrických dát v GIS prostredí, tvorba digitálnych modelov dna, objemových kriviek a čiar zatopených plôch využiteľných pri aktualizácii manipulačných poriadkov vodných diel. V príspevku je stručne opísaná metodika merania realizovaná pomocou bezposádkového plavidla USV Echoboat 160 vybaveného multibeam sonarovým systémom NORBIT, GNSS RTK navigáciou a inerciálnou jednotkou. Pozornosť je venovaná aj následnému spracovaniu dát v softvéroch HYPACK, CloudCompare a ArcGIS Pro, kde boli vykonané filtrácie mračna bodov, transformácie súradnicových systémov a priestorové analýzy výsledných dát. Výsledky meraní potvrdili priestorovú presnosť hydroakustických dát, čo bolo overené porovnaním batymetrických modelov s údajmi katastra nehnuteľností. Vysoká hustota meraných bodov zároveň umožnila detailnú identifikáciu sedimentačných oblastí, objektov pod vodnou hladinou a morfológických zmien dna. Získané údaje predstavujú významný podklad pre správu vodných diel, plánovanie údržby, monitoring sedimentácie a hodnotenie technického stavu vodohospodárskych objektov.

1. ÚVOD DO PROBLEMATIKY SEDIMENTÁCIE VODNÝCH DIEL

Využitie technológie multibeam sonaru (MBES – Multibeam Echo Sounder) predstavuje v súčasnosti jednu z najpresnejších a najefektívnejších metód hydroakustického mapovania vodných nádrží a monitorovania sedimentácie. S rastúcimi požiadavkami na bezpečnosť vodných diel, efektívnu prevádzku hydroenergetických objektov a správu vodných zdrojov sa presné určovanie zmien dna nádrží stáva nevyhnutnou súčasťou moderného vodohospodárskeho manažmentu.

Sedimentácia predstavuje prirodzený proces usadzovania suspendovaných častíc transportovaných vodnými tokmi do priestoru vodnej nádrže. Dlhodobé zanášanie vedie k postupnému znižovaniu retenčného objemu, zhoršeniu hydraulických pomerov, obmedzeniu protipovodňovej ochrany a môže negatívne vplyvať aj na bezpečnosť samotného vodného diela (Morris & Fan, 1998).

Hlavné riziká spojené so sedimentáciou:

- postupné znižovanie retenčného objemu nádrže,
- zanášanie vtokových objektov,

- zhoršenie prevádzkových podmienok hydroenergetických zariadení,
- zmenu hydraulických pomerov v nádrži,
- negatívny vplyv na kvalitu vody a ekologické podmienky (Morris & Fan, 1998).

V minulosti sa hydroakustické merania realizovali prevažne pomocou klasických olovnic alebo jednolúčových sonarov (Single Beam Echo Sounder – SBES), ktoré poskytovali iba jednotlivé hĺbkové body alebo pozdĺžne profily dna. Medzi jednotlivými meraniami profilmi bolo následne potrebné priebeh dna interpolovať, čo pri členitej morfológii vodných nádrží spôsobovalo výrazné nepresnosti pri výpočte objemov sedimentov a tvorbe digitálnych modelov dna.

Jednolúčové systémy zároveň neumožňovali detailnú priestorovú reprezentáciu morfológie dna ani lokalizáciu menších objektov, poškodení konštrukcií alebo nerovností pod hladinou. Hustota dát bola výrazne nižšia a presnosť výsledkov závisela predovšetkým od vzdialenosti jednotlivých meracích profilov.

Nasadenie technológie multibeam sonaru predstavovalo zásadný technologický pokrok v oblasti hydroakustického mapovania. Na rozdiel od jednolúčových systémov umožňuje MBES snímať celé pásy dna pomocou širokého vejára akustických lúčov, čím zabezpečuje prakticky kompletne pokrytie meraného územia. Výsledkom je vysoko detailné mračno bodov s vysokou hustotou priestorových údajov umožňujúce tvorbu presných digitálnych modelov dna vodných nádrží (Calder & Mayer, 2003; Hughes Clarke, 2017).

2. TECHNOLOGICKÝ PRINCÍP MULTIBEAM SONARU (MBES)

Multibeam sonar pracuje na princípe vysielania širokého vejára akustických lúčov kolmo na smer plavby. Na rozdiel od jednolúčových systémov dokáže zaznamenať stovky až tisíce bodov dna v jednom meracom cykle.

Proces merania pozostáva z troch základných krokov:

- vyslanie akustického impulzu,
- odraz signálu od dna,
- príjem odrazeného signálu a výpočet priestorovej polohy bodu.

Poloha bodu je vypočítaná na základe času šírenia zvuku vo vode a uhla jednotlivých lúčov. Presnosť merania závisí od správnej integrácie viacerých senzorov systému.

Kľúčové komponenty MBES systému:

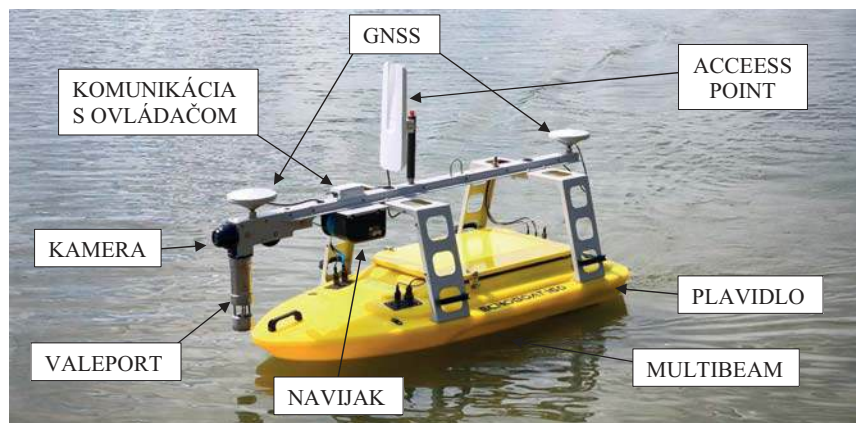
- GNSS/RTK prijímač pre presné určenie polohy,
- inerciálna jednotka (IMU/MRU) kompenzujúca pohyb plavidla,
- senzor rýchlosti zvuku vo vode (SVP),
- riadiaci a akvizíčný softvér.

Významnú úlohu zohráva meranie profilu rýchlosti zvuku vo vodnom stĺpci, ktoré slúži na korekciu refrakcie akustických lúčov (NOAA, 2014).

3. POUŽITÁ TECHNIKA A MERACIE VYBAVENIE

3.1 MERANIE DNA POMOCOU MERACIEHO ZARIADENIA CEE-USV

Batymetrické meranie vodnej nádrže pod hladinou vody bolo realizované pomocou mapovacieho plavidla Echoboat 160 USV, ktoré je ovládané operátorom z brehu alebo z člna. Merania sú realizované po trasách navrhnutých tak, aby sa jednotlivé batymetrické skeny prekrývali a aby bola pokrytá celá plocha dna vodnej nádrže.



Obrázok 1: Konfigurácia mapovacieho plavidla EchoBoat 160

3.2 MULTIBEAM NORBIT IWBMS

Na batymetrické meranie bol použitý multibeam sonar NORBIT iWBMS, ktorý je určený pre presné mapovanie vo vnútrozemských vodných plochách a pri brehových prieskumoch. Pracuje vo frekvenčnom rozsahu 200 – 700 kHz (nominálne 400 kHz) a umožňuje snímanie až do hĺbky 275 m. Poskytuje vysoké rozlíšenie s hustotou až 512 lúčov a uhlom pokrytia do 210°, čo zaručuje kvalitné prekrytie meraných pásov. Zariadenie je vybavené integrovaným inerciálnym navigačným systémom Applanix WaveMaster II a senzorom rýchlosti zvuku, čím je zabezpečená vysoká presnosť v určovaní polohy a orientácie. Typická presnosť dosahuje $\pm 0,02^\circ$ pre náklon a smer, a $\pm 15 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$ pre vertikálnu polohu.

3.3 GNSS SYSTÉM

Na určovanie presnej polohy počas batymetrického merania bol na platforme EchoBoat 160 použitý GNSS systém značky Trimble, konkrétne s anténou typu Trimble AT1675-540TS. Táto anténa je určená pre vysokopresné geodetické aplikácie, podporuje viaceré GNSS konštelácie (GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou) a je kompatibilná so systémami využívajúcimi RTK alebo iné diferenciálne korekcie. Anténa poskytuje vysokú odolnosť voči rušeniu a multipath efektom, čo zabezpečuje spoľahlivý príjem signálu aj v náročných podmienkach, ako sú brehové oblasti alebo miesta s obmedneným výhľadom na oblohu. V kombinácii s vhodným prijímačom tak tvorí spoľahlivý nástroj pre presnú geolokáciu dát získaných multibeam sonarom. Pri meraní bol použitý spôsob merania RTK (real time kinematic) s pripojením na sieť SK-POS.

3.4 VALEPORT SWIFT SVP

Na meranie profilu rýchlosti zvuku vo vodnom stĺpci bola použitá sonda Valeport SWiFT SVP. Ide o kompaktné a presné zariadenie určené na profilovanie rýchlosti zvuku v prístavných, pobrežných a vnútrozemských vodách. Zariadenie kombinuje senzory vysokej presnosti s robustnou titánovou konštrukciou, čím zabezpečuje spoľahlivosť aj v náročných podmienkach. Sonda umožňuje meranie rýchlosti zvuku v rozsahu 1375–1900 m/s s presnosťou $\pm 0,02 \text{ m/s}$ a rozlíšením 0,001 m/s. Súčasťou je aj senzor tlaku (s presnosťou $\pm 0,01 \% \text{ FS}$) a teploty (s presnosťou $\pm 0,01^\circ \text{C}$), ktoré sú potrebné pre korektný výpočet profilu rýchlosti zvuku. Zariadenie je vybavené integrovaným GNSS modulom, vďaka ktorému je každý profil automaticky georeferencovaný. Prenos dát a konfigurácia prebieha cez rozhranie Bluetooth alebo USB pomocou softvéru Valeport Ocean.

4. METODIKA MERANIA ZANÁŠANIA

4.1 PRÍPRAVA A KALIBRÁCIA SYSTÉMU

Pred samotným meraním je nevyhnutné vykonať kalibráciu systému pomocou tzv. Patch Testu. Cieľom kalibrácie je odstránenie časových a uhlových odchýlok medzi sonarom, GNSS prijímačom a inerciálnou jednotkou. Nesprávna kalibrácia môže spôsobovať deformácie modelu dna, označované ako „smile effect“ alebo „frown effect“, čo vedie k výraznému zníženiu presnosti výsledných dát (R2Sonic, 2020).

4.2 AKVIZÍCIA DÁT

Meranie sa realizuje po vopred navrhnutých trasách tak, aby sa jednotlivé sonarové zábery navzájom prekrývali. Prekrytie sa zvyčajne pohybuje v rozsahu 20–40 %, čím sa zabezpečí úplné pokrytie dna bez vzniku nameraných oblastí.

Pri monitorovaní vodných diel sa najčastejšie mapujú:

- dno nádrže,
- vtokové objekty,
- vývariská pod priehradou,
- návodné steny hrádzí,
- technologické objekty.

4.3 SPRACOVANIE DÁT

Spracovanie nameraných dát predstavuje jednu z najdôležitejších fáz celého procesu hydroakustického mapovania. Základné spracovanie a prvotná filtrácia dát sa realizuje priamo v hydroakustickom softvéri HYPACK. V tejto fáze dochádza najmä k odstráneniu šumu, chybných odrazov spôsobených bublinami, vegetáciou alebo rybami a k aplikácii základných korekcií merania.

Následne sa mračno bodov ďalej spracováva v špecializovaných programoch určených na prácu s bodovými mračnami, ako je napríklad CloudCompare. Tento softvér umožňuje detailnú filtráciu dát, odstránenie odľahlých bodov, tvorbu profilov a kontrolu kvality výsledného modelu dna.

Najväčšia časť analytických prác sa následne realizuje v prostredí ArcGIS Pro, kde dochádza k:

- transformácii a nastaveniu správneho súradnicového systému,
- klasifikácii mračna bodov,
- tvorbe digitálneho modelu terénu dna nádrže (DTM),
- výpočtu objemov vodnej nádrže,
- tvorbe objemových kriviek,
- generovaniu čiar zatopených plôch,
- analýze sedimentácie,
- realizácii priestorových a hydraulických analýz spojených s vodnou nádržou.

Platforma ArcGIS zároveň umožňuje kombináciu hydroakustických dát s ďalšími priestorovými údajmi, ako sú ortofotomapy, LiDAR dáta alebo historické merania, čím vzniká komplexný priestorový model vodného diela vhodný pre potreby monitorovania, správy a projektovania vodohospodárskych objektov.

5. VÝSLEDKY MERANIA A PRIESTOROVÁ ANALÝZA

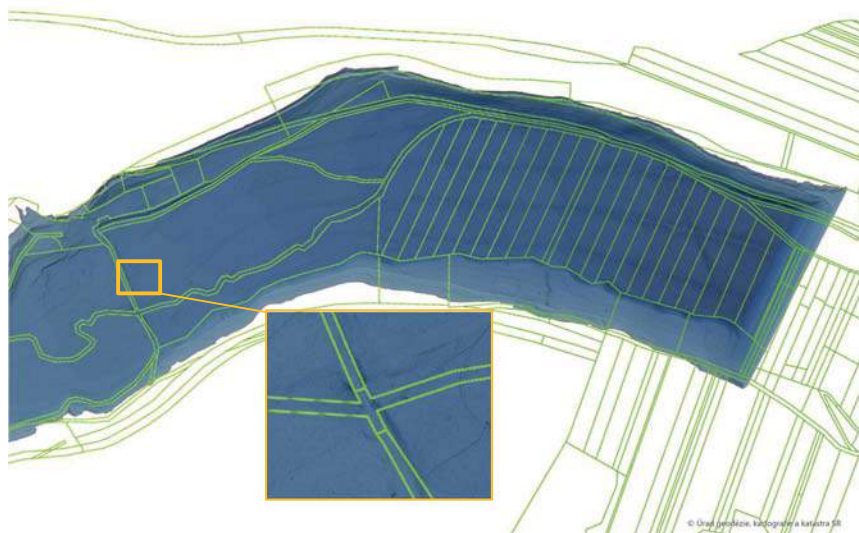
5.1 PRIESTOROVÁ IDENTIFIKÁCIA OBJEKTŮV POD VODNOU HLADINOU

Významnou výhodou využitia multilúčových sonarových systémov (MBES) v kombinácii s GNSS RTK navigáciou a inerciálnou meracou jednotkou (IMU) je vysoká priestorová presnosť výsledných dát. Vďaka presnej georeferencii jednotlivých bodov mračna je možné objekty nachádzajúce sa pod vodnou hladinou lokalizovať v národnom súradnicovom systéme a následne ich porovnávať s údajmi katastra nehnuteľností, projektovou dokumentáciou alebo ďalšími geodatabázami.

Presnosť georeferencie bola potvrdená aj pri batymetrickom meraní vodnej nádrže Horné Orešany, kde boli výsledné dáta porovnané s údajmi katastra nehnuteľností, najmä s parcelami registra „E“. Dosiahnutá priestorová zhoda pobrežných línií, identifikovaných objektov a ďalších polohopisných prvkov potvrdila správnosť použitých meracích postupov a vysokú kvalitu spracovania výsledného mračna bodov. Vysoká hustota meraných bodov umožňuje nielen presnú lokalizáciu objektov, ale aj detailnú analýzu ich tvaru, rozmerov a technického stavu.

Pomocou MBES je možné identifikovať:

- zatopené stavebné konštrukcie,
- pôvodné komunikácie,
- potrubné vedenia,
- objekty technickej infraštruktúry,
- výpustné zariadenia,
- erózne poškodenia,
- sedimentačné útvary
- morfológické zmeny dna.



Obrázok 2: Georeferencované batymetrické dáta v kombinácii s údajmi KN

Integrácia hydroakustických dát s údajmi katastra nehnuteľností a geografických informačných systémov významne rozširuje možnosti priestorových analýz využiteľných pri správe vodných diel, monitorovaní ich technického stavu, plánovaní údržby a hodnotení bezpečnosti vodohospodárskych stavieb. Pri použití vysokofrekvenčných MBES systémov je možné dosiahnuť detailnú priestorovú reprezentáciu objektov pod hladinou, čím sa multilúčové sonarové merania stávajú efektívnym nástrojom nielen pre batymetrické mapovanie, ale aj pre podvodné inšpekcie technických objektov.

5.2 VYUŽITIE MBES PRI LOKALIZÁCII A ŤAŽBE KÚPEĽNÉHO BAHNA

Technológia multibeam sonaru bola využitá aj pri monitorovaní lokalít určených na ťažbu kúpeľného bahna v obtokovom ramene Váhu v Piešťanoch. Hlavným cieľom merania bolo získať detailné informácie o morfológii dna, určiť podmienky v existujúcich ťažobných oblastiach a identifikovať ďalšie úseky vhodné na budúcu ťažbu sedimentov.

Na základe batymetrického merania bol vytvorený podrobný digitálny model dna, ktorý poskytol komplexný prehľad o priestorovom rozložení hĺbok a tvare riečného dna. Výsledné údaje boli následne kombinované s lokalizáciou odberových miest kúpeľného bahna, čo umožnilo vyhodnotiť charakteristické vlastnosti jednotlivých ťažobných oblastí a porovnať ich s okolitým prostredím.

Hĺbka vody v miestach realizovaného odberu kúpeľného bahna sa pohybovala približne od 1,1 do 1,6 m. Detailná batymetrická mapa umožnila presne určiť hĺbkové pomery v jednotlivých odberových lokalitách a identifikovať morfológické depresie a hydraulicky pokojnejšie úseky, ktoré predstavujú potenciálne vhodné oblasti pre ďalšiu akumuláciu jemných sedimentov a budúcu ťažbu kúpeľného bahna.

Získané batymetrické dáta predstavujú významný podklad pre efektívne plánovanie ťažobných prác. Detailný digitálny model dna umožňuje optimalizovať výber nových odberových lokalít, minimalizovať rozsah prieskumných prác a zároveň poskytuje presné informácie o morfológii dna v existujúcich aj potenciálnych ťažobných oblastiach. Využitie multibeam sonaru tak významne prispieva k efektívnejšiemu a hospodárnejšiemu využívaniu ložísk kúpeľného bahna.

Detailná batymetrická analýza zároveň umožnila:

- presnú lokalizáciu odberových miest,
- identifikáciu morfológických zmien dna,
- optimalizáciu rozsahu odťažovacích prác,
- kontrolu objemu odťaženého sedimentu,
- priestorovú dokumentáciu stavu dna pred realizáciou zásahu.

Významným prínosom využitia technológie MBES pri odťažovaní kúpeľného bahna je možnosť vysoko presného priestorového zobrazenia reliéfu dna a sedimentačných oblastí. Táto technológia zároveň umožňuje vykonávať kontrolu realizovaných prác prostredníctvom porovnania digitálnych modelov dna vytvorených pred a po realizácii odťažovacích prác, čím poskytuje objektívny podklad na hodnotenie ich rozsahu a efektívnosti.



Objemové krivky a čiary zatopených plôch umožňujú:

- stanovenie aktuálnej zásobnej a retenčnej kapacity vodnej nádrže,
- vyhodnotenie vplyvu sedimentácie na objemové parametre nádrže,
- aktualizáciu manipulačných poriadkov vodných diel,
- optimalizáciu hospodárenia s vodnými zdrojmi,
- tvorbu hydraulických a hydrologických modelov,
- posúdenie rozsahu zatopenia územia pri rôznych prevádzkových a mimoriadnych hladinách.

V porovnaní s historickými podkladmi umožňuje technológia multibeam sonaru vytvárať výrazne presnejšie objemové charakteristiky vodných nádrží. Výsledné modely vychádzajú z vysokohustotného priestorového mračna bodov a zabezpečujú takmer úplné pokrytie dna nádrže, čo významne znižuje neistotu výpočtov objemov a zatopených plôch. Takto získané údaje predstavujú spoľahlivý podklad pre dlhodobý monitoring sedimentačných procesov, hodnotenie zmien retenčného priestoru nádrže a efektívnu správu vodohospodárskych objektov.

6. ZÁVER

Technológia multibeam sonaru predstavuje v súčasnosti významný nástroj moderného monitorovania vodných diel a sedimentačných procesov. V porovnaní s tradičnými metódami merania umožňuje získanie vysoko presných batymetrických dát s kompletným pokrytím dna vodných nádrží a vodných tokov.

V rámci realizovaných meraní bola technológia MBES využitá pri monitorovaní sedimentácie vodných nádrží, tvorbe digitálnych modelov dna, výpočte objemových charakteristik nádrží, tvorbe čiar zatopených plôch, identifikácii objektov pod vodnou hladinou a pri lokalizácii sedimentov určených na odťazovanie kúpeľného bahna.

Výsledky meraní zároveň potvrdili priestorovú presnosť hydroakustických dát. Presnosť bola verifikovaná porovnaním polohy vybraných podvodných objektov identifikovaných v batymetrických modeloch s ich polohou získanou z predchádzajúcich geodetických meraní a evidovanou v katastrálnych podkladoch. Zistená priestorová zhoda potvrdila správnosť georeferencie multibeam dát a vysokú presnosť lokalizácie objektov zachytených počas batymetrického prieskumu. Integrácia MBES dát s GIS prostredím významne rozširuje možnosti priestorových analýz využiteľných pri správe vodných diel, aktualizácii manipulačných poriadkov a hodnotení technického stavu vodohospodárskych objektov.

Využitie moderných hydroakustických technológií v kombinácii s GNSS RTK navigáciou, inerciálnymi systémami a pokročilým GIS spracovaním predstavuje efektívny nástroj pre dlhodobý monitoring vodných nádrží, optimalizáciu prevádzky vodných diel a podporu rozhodovacích procesov vo vodnom hospodárstve.

LITERATÚRA

- [1] CALDER, B.; MAYER, L. Automatic Processing of High-Rate, High-Density Multibeam Echosounder Data. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 2003, 4 (6).
- [2] HUGHES CLARKE, J. E. Multibeam Echosounder Measurement Uncertainty. *The Hydrographic Journal* 2017, 145, 3–14.

- [3] MORRIS, G. L.; FAN, J. *Reservoir Sedimentation Handbook*; McGraw-Hill: New York, 1998.
- [4] NOAA. *Hydrographic Surveys Specifications and Deliverables*; National Oceanic and Atmospheric Administration: Silver Spring, 2014.
- [5] IHO. *Standards for Hydrographic Surveys (S-44)*; International Hydrographic Organization: Monaco, 2020.
- [6] LURTON, X.; LAMARCHE, G. *Backscatter Measurements by Seafloor-Mapping Sonars: Guidelines and Recommendations*; Geohab Backscatter Working Group: Southampton, 2015.
- [7] R2SONIC. *The Patch Test – Multibeam Calibration Manual*; R2Sonic LLC: Austin, 2020.
- [8] HYPACK Inc. *Multibeam System Setup and Calibration Guide*; HYPACK Inc.: Middletown, 2013.
- [9] WHITE, W. R. *Evacuation of Sediments from Reservoirs*; Thomas Telford Publishing: London, 2001.
- [10] ICOLD. *Sedimentation and Sustainable Use of Reservoirs and River Systems*; International Commission on Large Dams: Paris, 2009.

Ing. Igor Gacko, PhD.

VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA, ŠTÁTNY PODNIK

Karlovešská 2, P.O.BOX 45, 842 04, Bratislava

igor.gacko@vvb.sk

Ing. Martin Prvý

VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA, ŠTÁTNY PODNIK

Karlovešská 2, P.O.BOX 45, 842 04, Bratislava

martin.prvy@vvb.sk

NÁVRH A IMPLEMENTÁCIA NOVEJ DATABÁZOVEJ EVIDENCIE TECHNICKO-BEZPEČNOSTNÉHO DOHLĎADU

B. Hammel, T. Mészáros, M. Minárik & F. Brindza

VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA, ŠTÁTNY PODNIK, Bratislava, Slovenská republika

ABSTRAKT: VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA, ŠTÁTNY PODNIK, úsek technicko-bezpečnostného dohľadu (TBD), pracuje s neustále rastúcim objemom dát, ktoré si vyžadujú efektívne, bezpečné a škálovateľné databázové riešenia. V reakcii na tieto potreby bola iniciovaná tvorba novej databázovej evidencie TBD založenej na relačnej databáze typu MS SQL, navrhnuť tak, aby spoľahlivo podporovala interné procesy a zároveň umožňovala plnohodnotnú integráciu s prostredím ArcGIS. Navrhovaný systém je koncipovaný ako multiúčelová a viacmodulová platforma, pričom jeho základné moduly: register vodných stavieb (VS), register objektov a merných zariadení a modul pre evidenciu a ukladanie meraných údajov vrátane automatizovaných meraní sú už implementované a funkčné. Tieto moduly tvoria jadro systému a zabezpečujú jednotnú štruktúru a väzby medzi jednotlivými prvkami TBD. Súčasťou ďalšieho rozvoja je plánovaná implementácia modulu pre grafické zobrazovanie a štatistické vyhodnocovanie dát, modulu pre správu dokumentov a modulu pre evidenciu odporúčaných nápravných opatrení. Aktuálne vybudovaná databázová architektúra a dátový model boli od začiatku navrhnuté tak, aby umožňovali bezproblémové doplnenie týchto modulov a ďalšie škálovanie systému. Cieľom riešenia je vytvoriť jednotnú, konzistentnú a dostupnú dátovú platformu, ktorá pokryje kľúčové procesy technicko-bezpečnostného dohľadu a zároveň poskytne priestor pre budúcu funkcionality a integráciu. V príspevku podrobne predstavujeme kľúčové funkcionality a možnosti tejto evidencie s dôrazom na praktické požiadavky používateľov TBD a budúcu rozšíriteľnosť systému.

1. ÚVOD

Úsek technicko-bezpečnostného dohľadu (TBD) pracuje s neustále rastúcim objemom heterogénnych dát, ktoré vznikajú v rámci monitorovania a vyhodnocovania stavu vodných stavieb. Cieľom novej databázovej evidencie technicko-bezpečnostného dohľadu je vytvoriť jednotnú, konzistentnú a technicky udržateľnú dátovú platformu reflektujúcu aktuálne aj budúce potreby TBD.

2. CIEĽ RIEŠENIA A ZÁKLADNÉ POŽIADAVKY

Hlavným cieľom navrhovaného riešenia bolo:

- centralizovať kľúčové dáta technicko-bezpečnostného dohľadu do jedného databázového systému,
- zabezpečiť jednoznačné väzby medzi vodnými stavbami, ich objektmi, mernými zariadeniami a meraniami,
- umožniť efektívne ukladanie veľkých objemov dát a ich ďalšie spracovanie,
- podporiť plnohodnotnú integráciu s prostredím ArcGIS,
- zabezpečiť riadený prístup používateľov prostredníctvom existujúcich firemných autentifikačných mechanizmov,
- navrhnúť architektúru pripravenú na budúce rozšírenia a škálovanie.

Ako vhodné riešenie bola zvolená relačná databázová platforma MS SQL.

3. ARCHITEKTÚRA DATABÁZOVEJ EVIDENCIE

Nová databázová evidencia technicko-bezpečnostného dohľadu je realizovaná ako relačná databáza typu MS SQL [4], prevádzkovaná na samostatnom databázovom serveri. Navrhnutá architektúra zabezpečuje oddelenie jednotlivých vrstiev systému, čím sa zvyšuje jeho bezpečnosť, stabilita a výkonnosť.

Systém je koncipovaný ako viacvrstvová a modulárna platforma, pričom jednotlivé komponenty sú navzájom prepojené, ale funkčne oddelené. Základ architektúry tvorí primárna databázová vrstva, v ktorej sú uložené všetky atribútové a evidenčné údaje technicko-bezpečnostného dohľadu. Z hľadiska práce s meranými údajmi je architektúra prispôbená na spracovanie veľkých objemov časových radov, ktoré vznikajú kombináciou automatizovaných a manuálnych meraní. Dáta sú ukladané v relačnej databáze s dôrazom na zachovanie integrity, historickej a väzieb na merné stanoviská a meracie prístroje.

Priestorové údaje (geometrie vodných stavieb, objektov a merných zariadení) sú spravované samostatne v prostredí ArcGIS [2] vo forme SDE databázy na platforme MS SQL. Táto databáza je oddelená od primárnej evidenčnej databázy, pričom prepojenie medzi atribútovými a priestorovými dátami je realizované prostredníctvom jednoznačných identifikátorov. Takéto riešenie umožňuje efektívne spracovanie priestorových operácií a zároveň zachovanie konzistentnej dátovej štruktúry. Výsledné mapové vrstvy sú publikované prostredníctvom ArcGIS Servera a sprístupnené používateľom cez interné a externé portálové prostredie.

Súčasťou architektúry je aj bezpečnostná vrstva založená na systéme Keycloak [3], ktorý je integrovaný s existujúcou infraštruktúrou Active Directory [4]. Tento prístup umožňuje centralizovanú správu používateľských identít, jednotné prihlasovanie a riadenie prístupu k systému. V súčasnej fáze implementácie je riadenie oprávnení realizované na základnej úrovni, pričom detailnejší model rolí a oprávnení je predmetom ďalšieho rozvoja.

V rámci ďalšieho rozvoja systému sa uvažuje o doplnení analytickej vrstvy, ktorá by v budúcnosti mohla využívať nástroje ako napr. Elasticsearch a Kibana [1]. Táto vrstva by mala slúžiť na efektívne spracovanie rozsiahlych časových radov, ich agregáciu, vizualizáciu a pokročilé analytické vyhodnocovanie.

Navrhnutá architektúra tak predstavuje flexibilnú a škálovateľnú platformu, ktorá umožňuje ďalšie rozširovanie funkcionality bez zásahu do základnej dátovej štruktúry a vytvára predpoklady pre postupné vytváranie evidencie TBD.

4. IMPLEMENTOVANÉ MODULY SYSTÉMU

V súčasnosti sú implementované dva základné moduly databázovej evidencie technicko-bezpečnostného dohľadu, ktoré tvoria jadro systému.

4.1 REGISTER VODNÝCH STAVIEB, OBJEKTOV A MERNÝCH ZARIADENÍ

Tento modul predstavuje základnú evidenčnú časť systému. Obsahuje identifikačné, technické a lokalizačné údaje o vodných stavbách. Predmetom technicko-bezpečnostného dohľadu sú vodné stavby I. až IV. Kategórie (Obrázok). Okrem samotného registra vodných stavieb zahŕňa aj evidenciu objektov a merných zariadení (stanovišť). Modul zabezpečuje väzby medzi objektmi, typmi meraní a konkrétnymi vodnými stavbami (Obrázok).

Vodné stavby je možné ďalej logicky zoskupovať do sústav vodných stavieb a objekty do stavebných celkov, pričom ide o logické väzby bez vlastnej priestorovej reprezentácie. Tento prístup umožňuje efektívnejšie organizovať evidenciu a vytvárať prehľadné štruktúry pre potreby správy a vyhodnocovania.

Obrázok 1: Register vodných stavieb

Obrázok 2: Register objektov a merných zariadení

Merné zariadenie (stanovisko) predstavuje fyzické miesto merania, na ktorom môžu byť inštalované rôzne meracie prístroje. Jedno stanovisko môže v priebehu času zabezpečovať meranie viacerých fyzikálnych veličín alebo využívať rôzne typy meracej techniky. Typickým príkladom je vrt pre sledovanie HPV, na ktorom sa popri hladine vody sledujú aj ďalšie veličiny, ako napr. teplota vody, zanašanie vrtu alebo dynamické parametre prúdenia.

Každá vodná stavba, objekt aj merné zariadenie (stanovisko) má priradené identifikačné a technické údaje v primárnej relačnej databáze MS SQL a priestorové údaje (bod, línia alebo plocha) je spravovaná samostatne v prostredí ArcGIS (SDE databáza na platforme MS SQL).

K 1.5.2026 je v databáze evidovaných 967 vodných stavieb I. až IV. kategórie vrátane odkalísk. Ďalších 249 predstavujú vodné stavby bez kategórie (nezaradené alebo vyradené). Celkový počet evidovaných vodných stavieb je 1 216. Na tieto stavby je viazaných celkovo 2 239 objektov, ku ktorým je priradených 4 331 merných zariadení.

4.2 MODUL EVIDENCIE MERANÍ

Druhý základný modul systému zabezpečuje evidenciu meraných údajov, ktoré sú naviazané na merné zariadenia (stanoviská) prostredníctvom konkrétnych meracích prístrojov. Takto navrhnutý model umožňuje flexibilne evidovať zmeny meracej techniky a zároveň zachovať kontinuitu časových radov.

Merané údaje sú v systéme ukladané v dvoch úrovniach. Prvú úroveň tvoria surové (primárne) údaje, ktoré sú vždy zachovávané bez úprav. Druhú úroveň predstavujú odvodené alebo korigované údaje, ktoré vznikajú spracovaním surových dát, napríklad prepočtom hĺbky merania na nadmorskú výšku alebo aplikáciou korekcií. Takto navrhnutý model umožňuje

zachovať plnú transparentnosť údajov a spätné overenie vykonaných úprav, čo je z hľadiska technicko-bezpečnostného dohľadu zásadné.

Merané údaje pochádzajú z rôznych zdrojov, pričom systém integruje automatizované merania s vysokou frekvenciou záznamu (napr. 15 minútové intervaly) aj manuálne merania realizované v dlhších časových intervaloch. Zjednotenie týchto heterogénnych dát predstavovalo významnú výzvu pri návrhu systému, najmä vzhľadom na rozdielnu štruktúru historických dát a ich rôzne zdroje (rôzne meracie systémy a neštandardizované tabuľkové evidencie).

Z celkového počtu 4331 ks merných zariadení má 374 ks pripojené meracie prístroje s aktívnym záznamom hodnôt. Tieto prístroje zaznamenali celkovo viac ako 10 500 000 ks hodnôt (automatické aj manuálne merania), stav k 1.5.2026.



Obrázok 3: Automatizované meranie v časovom rade

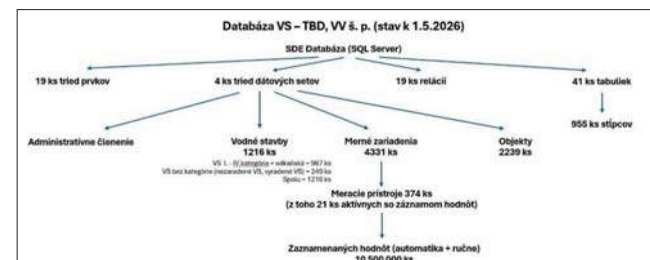
5. ŠTRUKTÚRA SDE DATABÁZY A GIS INTEGRÁCIA

Databázová evidencia je z pohľadu GIS implementovaná ako SDE databáza v prostredí ArcGIS na platforme MS SQL. Schému SDE databázy uvádzame na Obrázok. Táto vrstva zabezpečuje správu priestorových údajov vodných stavieb, ich objektov a merných zariadení (stanovísk) a je úzko prepojená s primárnou databázou prostredníctvom jednoznačných identifikátorov.

Aktuálna štruktúra zahŕňa:

- 4 triedy datasetov (administratívne členenie, vodné stavby, objekty, merné zariadenia),
- 19 tried priestorových prvkov (bodové, líniové a plošné),
- 41 databázových tabuliek s celkovým počtom 955 stĺpcov,
- 19 definovaných relačných väzieb.

Uvedený stav je dočasný a odráža aktuálnu fázu implementácie. Dátový model je navrhnutý tak, aby umožňoval ďalšie rozširovanie bez zásahu do existujúcej štruktúry.



Obrázok 4: Schéma SDE databázy

Významným prínosom riešenia je viacúrovňová priestorová reprezentácia objektov v závislosti od mierky zobrazenia. V základnom prehľade sú vodné stavby reprezentované ako bodové prvky, čo umožňuje rýchlu orientáciu v rámci celého územia. Pri podrobnejšom zobrazení sa jednotlivé objekty zobrazujú prostredníctvom líniových alebo plošných prvkov, napríklad hrádze alebo stavebné objekty. Tento prístup výrazne zlepšuje interpretáciu údajov a poskytuje používateľom presnejší priestorový kontext, pričom podporuje nielen evidenciu, ale aj analytické a rozhodovacie procesy.

V prípade plošných objektov sú v niektorých prípadoch využívané aj údaje z katastra nehnuteľností. Prax však ukazuje, že katastrálne hranice nie vždy presne zodpovedajú skutočnému rozsahu technických objektov, čo je potrebné zohľadniť pri interpretácii údajov. Systém je preto navrhnutý tak, aby umožňoval flexibilnú kombináciu rôznych typov geometrie a ich aktualizáciu podľa reálneho stavu.

Súčasťou GIS vrstvy je aj rozšírené zobrazovanie atribútových údajov priamo v mapovom prostredí. Pri merných zariadeniach (stanoviskách) sú okrem základných informácií dostupné aj doplnkové údaje, ako napríklad fotodokumentácia a grafické zobrazenie meraných veličín za posledných 30 dní. Takto koncipované zobrazenie umožňuje používateľom rýchlu orientáciu v aktuálnom stave meraní a slúži ako efektívny nástroj na operatívne overenie nameraných hodnôt, napríklad pri kontrolných meraniach alebo identifikácii možných anomálií.

Výsledné mapové služby sú publikované prostredníctvom ArcGIS Servera a sprístupnené prostredníctvom interného a externého portálového prostredia, čím je zabezpečená široká dostupnosť dát pri zachovaní kontroly nad ich obsahom a rozsahom poskytovaných informácií.

6. POUŽÍVATELSKÝ PRÍSTUP A PUBLIKAČNÉ PROSTREDIE

Používatelia prístupujú k systému prostredníctvom jednotného prihlasovacieho mechanizmu, ktorý je založený na integrácii s podnikovým adresárovým systémom Active Directory. Autentifikácia je zabezpečená prostredníctvom platformy Keycloak, ktorá umožňuje centralizovanú správu identít a jednotné prihlasovanie do jednotlivých komponentov systému. Tento prístup zabezpečuje jednoznačnú identifikáciu používateľov a umožňuje riadenie prístupových práv v súlade s internými bezpečnostnými politikami organizácie. Databázová evidencia TBD je publikovaná prostredníctvom ArcGIS Servera do dvoch samostatných portálov:

- interného portálu určeného pre odborných používateľov TBD,
- externého portálu určeného pre verejnosť.

V rámci jednotlivých portálov sú sprístupnené mapové služby a dashboardy (Obrázok až Obrázok):

- verejný dashboard registra VS, poskytujúci základný informačný prehľad,
- interný dashboard registra VS, rozšírený o technické údaje a analytické pohľady.

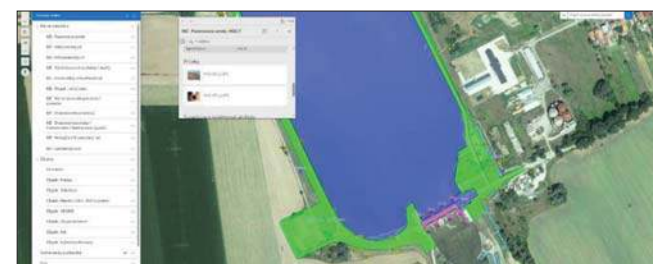
Tento prístup umožňuje jasné oddelenie interných a verejných informácií pri zachovaní jednotného dátového základu.

Dashboardy predstavujú dôležitý nástroj pre rýchlu orientáciu v dátach a umožňujú používateľom efektívne vyhodnocovať stav jednotlivých vodných stavieb bez potreby práce priamo v databázovom prostredí. Používateľské rozhranie systému je navrhnuté s dôrazom na praktické využitie v podmienkach TBD. Integrácia mapového prostredia s atribútovými údajmi, fotodokumentáciou a grafickým zobrazením meraní umožňuje komplexný pohľad na sledované objekty v jednom rozhraní.

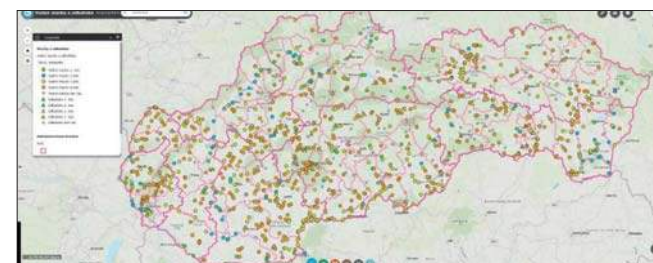
Takto koncipované riešenie zvyšuje efektívnosť práce používateľov, znižuje potrebu prepínania medzi viacerými nástrojmi a podporuje operatívne rozhodovanie pri výkone TBD.



Obrázok 5: Prihlásenie do systému cez ID



Obrázok 6: Interný portál TBD



Obrázok 7: Verejný portál vodných stavieb



Obrázok 8: Interný dashboard registra vodných stavieb

7. PLÁNOVANÝ ROZVOJ SYSTÉMU

Ďalší rozvoj databázovej evidencie TBD je zameraný na praktické potreby používateľov TBD. Plánovaný rozvoj databázovej evidencie zahŕňa implementáciu:

- modulu pre analytické vyhodnocovanie dát,
- modulu pre správy dokumentácie a dynamických dokumentov,
- modulu pre evidenciu a riadenie nápravných opatrení,
- rozvoja podpory terénnych činností.

7.1 MODUL PRE ANALYTICKÉ VYHODNOCOVANIE DÁT

V súčasnosti je síce možné zobrazovať priebehy meraných veličín priamo v databázovom prostredí (viď. Obrázok), avšak pri väčších objemoch dát je odozva systému limitujúca. Z tohto dôvodu sa pripravuje doplnenie analytickej vrstvy využívajúcej open-source nástroje Elasticsearch a Kibana, ktoré sú optimalizované pre spracovanie rozsiahlych časových radov. Cieľom plánovaného rozvoja je aj identifikovať vhodné štatistické metódy pre jednotlivé typy meraní. Dôraz sa pritom kladie nielen na samotné zobrazenie údajov, ale aj na ich správnu interpretáciu a využitie pri hodnotení stavu vodných stavieb. Táto vrstva umožní:

- rýchle vyhľadávanie a agregáciu dát,
- interaktívnu vizualizáciu meraní,
- identifikáciu trendov a anomálií,
- podporu operatívneho aj dlhodobého hodnotenia.

7.2 MODUL SPRÁVY DOKUMENTÁCIE A DYNAMICKÝCH DOKUMENTOV

Významným plánovaným rozšírením je modul zameraný na evidenciu a správu technickej dokumentácie VS. Cieľom je centralizovať všetky relevantné dokumenty do jednotného systému, vrátane projektovej dokumentácie, odborných posudkov, manipulačných poriadkov a rozhodnutí orgánov štátnej správy. Súčasťou tohto modulu je aj implementácia dynamických vzorových dokumentov, ktoré budú automaticky využívať údaje z databázy na predvyplnenie štandardizovaných výstupov na základe údajov z evidencie TBD. Takýto prístup priniesie:

- zvýšenie konzistentnosti dokumentácie,
- zníženie administratívnej náročnosti,
- minimalizáciu chýb pri spracovaní údajov,
- efektívnejšiu prácu pri tvorbe výstupov TBD.

7.3 MODUL EVIDENCIE A RIADENIA NÁPRAVNÝCH OPATRENÍ

Z pohľadu ďalšieho rozvoja systému predstavuje kľúčovú funkčnosť modulu pre evidenciu a riadenie nápravných opatrení TBD. Tento modul nebude slúžiť iba na evidenciu samotných opatrení, ale aj na komplexné hodnotenie technického stavu VS. Uvažuje sa o implementácii metodík, ktoré umožnia:

- systematické hodnotenie stavu objektov,
- prioritizáciu nápravných opatrení podľa ich významu,
- podporu plánovania údržby a investičných zásahov,
- potenciálne aj odhad zostatkovej životnosti vybraných konštrukcií.

7.4 ROZVOJ PODPORY TERÉNNYCH ČINNOSTÍ

Súčasťou plánovaného rozvoja je aj rozšírenie podpory terénnych meraní. Každému mernému zariadeniu bude priradený unikátny QR kód, ktorý umožní jeho jednoznačnú identifikáciu v teréne. Po načítaní kódu prostredníctvom mobilného zariadenia bude možné okamžite pristupovať k evidencii daného zariadenia a zapisovať nové merania priamo do systému. Zároveň sa uvažuje o implementácii nástrojov na navigáciu k merným stanoviskám

v spolupráci s platformou ArcGIS, čo umožní efektívnejšie vyhľadávanie objektov v teréne, najmä v lokalitách s obmedzenou orientáciou. Tento prístup prispeje k:

- eliminácii manuálneho prepisu údajov – zníženiu chybovosti,
- okamžitej dostupnosti meraní a tým k zvýšeniu efektivity práce v teréne.

8. ZÁVER

Implementáciou novej databázovej evidencie TBD vznikla jednotná, konzistentná a škálovateľná dátová platforma, ktorá pokrýva kľúčové procesy TBD. Riešenie umožňuje centralizovanú správu technických, priestorových a zariadeniami.

Významným prínosom je podpora praktických činností TBD prostredníctvom prehľadného mapového rozhrania, integrácie meraní a dostupnosti kontextových informácií. Kľúčovou výzvou pri implementácii bola integrácia heterogénnych zdrojov dát a ich transformácia do jednotného dátového modelu, pričom výsledné riešenie umožňuje dlhodobé uchovávanie, spracovanie a spätné overenie meraných údajov.

Ďalší rozvoj systému je orientovaný na rozšírenie analytických nástrojov, správu dokumentácie a podporu rozhodovania, vrátane evidencie a prioritizácie nápravných opatrení. Tieto funkcionality umožnia efektívnejšie hodnotenie stavu vodných stavieb a zvýšia úroveň technicko-bezpečnostného dohľadu. Navrhovaný systém tak postupne prechádza od evidenčného nástroja k integrovanej dátovej a rozhodovacej platforme TBD.

LITERATÚRA

- [1] ELASTIC home page, [on-line], <https://www.elastic.co/>, 2026.
- [2] ESRI ArcGIS Enterprise home page, [on-line], <https://enterprise.arcgis.com>, 2026.
- [3] KEYCLOAK documentation. Cloud Native Computing Foundation incubation project [on-line], <https://www.keycloak.org/documentation>, 2026.
- [4] MICROSOFT SQL Server technical documentation, [on-line], <https://learn.microsoft.com/en-us/sql/sql-server>, 2026.

Branislav Hammel

VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA, ŠTÁTNY PODNIK
branislav.hammel@vzb.sk

Ing. Tibor Mészáros, PhD.

VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA, ŠTÁTNY PODNIK
tibor.meszaros@vzb.sk

Ing. Marian Minárik, PhD.

VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA, ŠTÁTNY PODNIK
marian.minarik@vzb.sk

Ing. Filip Brindza

VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA, ŠTÁTNY PODNIK
filip.brindza@vzb.sk

VODNÉ DIELO GABČÍKOVO – MODERNIZÁCIA DEFORMAČNÝCH MERANÍ

A. Kasana

VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA, ŠTÁTNY PODNIK, Bratislava, Slovenská republika

ABSTRAKT: Vodné dielo Gabčíkovo je v prevádzke od roku 1992, no jeho príprava začala už v sedemdesiatych rokoch a výstavba v osemdesiatych rokoch 20. storočia. Vzhľadom rozsah a význam patrí VD Gabčíkovo medzi vodné stavby s najväčším počtom merných zariadení technicko-bezpečnostného dohľadu minimálne v rámci regiónu strednej Európy. Taktiež kvalita inštalovaných merných zariadení zodpovedá významu tejto vodnej stavby, no po cca tridsiatich až štyridsiatich rokoch od ich inštalácie je potrebné tieto merné zariadenia a aj metódy používaných deformačných meraní obnoviť, doplniť, prehodnotiť, inovovať a aj pri deformačných meraniach pokračovať v ich automatizácii. V príspevku bude popísaný súčasný stav a prebiehajúce aj pripravované inovácie deformačných meraní objektov a konštrukcií VD Gabčíkovo.

1. PÔVODNÉ DEFORMAČNÉ MERANIA NA VD GABČÍKOVO

Vodné dielo Gabčíkovo je z hľadiska odborného technicko-bezpečnostného dohľadu (ďalej aj TBD) vodnou stavbou I. kategórie. Vodné dielo Gabčíkovo pozostáva z viacerých objektov – z hrádzi Zdrže Hrušov, z hrádzi Prívodného kanála a z hrádzi Odpadového kanála, ktoré majú svoje priesakové kanály a priesakové drény, zo Stupňa Čunovo, ktoré pozostáva z troch hatí (Hať v Inundácii, Stredová hať a Hať na obtoku), z Vodnej elektrárne Čunovo, z Pomocnej plavebnej komory, z objektu Prehradenia a z areálu Divokej vody. Najvýznamnejším objektom je Stupeň Gabčíkovo s Vodnou elektrárnou Gabčíkovo a s plavebnými komorami. Súčasťou sú taktiež Odberný objekt do ramennej sústavy s MVE Dobrohošť a MVE S VII. Celková dĺžka objektov je cca 40 km a sú na oboch stranách Dunaja, Prívodného kanála a aj Odpadového kanála. Rozmery objektov zodpovedajú prietokom Dunaja, ktorého priemerný prietok je viac ako $2000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a extrémne povodňové prietoky až cca $13000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Okrem rozmerov a kategórie Vodného diela Gabčíkovo vplývali na návrh merných zariadení technicko-bezpečnostného dohľadu aj špecifické geotechnické podmienky, v podloží sa nachádzajú vysokopriepustné štrkopiesčité vrstvy, ktorých hrúbka dosahuje stovky metrov. Týmto špecifikám a náročným podmienkam zodpovedal nielen rozsah, ale aj kvalita merných zariadení technicko-bezpečnostného dohľadu [1].

Počty deformačných merných zariadení, ktoré sú osadené na objektoch VD Gabčíkovo:

- Geodetické deformačné merania:
 - 199 vzťažných výškových a polohových bodov,
 - 2036 pozorovaných výškových bodov (nivelácia – zvislé posuny),
 - 426 pozorovaných polohových bodov (horizontálne posuny).



Obrázok 1: Geodetické deformačné merania na objektoch VD Gabčíkovo

- Vnútročné výškové merania:
 - 64 profilov výškomerných škatúl.
- Relatívne posuny (dilatácie):
 - 205 párov dilatometrických skôb.



Obrázok 2: Dilatometrické skoby na objektoch VD Gabčíkovo

- Náklony objektov:
- 49 memých miest náklonov objektov.



Obrázok 3: Manuálne náklonomery na Vodnej elektrárni Gabčíkovo

- Deformácie konštrukcií (tenzometria):
- 920 strunových snímačov (meranie napätí výstuže, pomerné deformácie betónu).
- Iné deformačné prvky:
- deformetrické vrty pri Plavebných komorách v Gabčíkove,
- inklinometrické vrty na stupni Čunovo [2].



Obrázok 4: Náročné klimatické podmienky pri meraniach konštrukcií Plavebných komôr na stupni Gabčíkovo

Okrem vyššie uvedených meraní sa na Plavebných komorách VD Gabčíkovo realizujú aj merania deformácií automatizovanými tachymetrami, ktoré sú naprogramované na pravidelné merania dĺžok a uhlov voči desiatkam odrazovým zrkadiel, ktoré sú rozmiestnené okolo múrov plavebných komôr [3].



Obrázok 5: Jeden z naprogramovaných tachymetrov osadených pri Plavebných komorách na stupni Gabčíkovo

2. MODERNIZOVANÉ DEFORMAČNÉ MERANIA

V rámci doterajšej modernizácie deformačných meraní sme sa venovali testovaniu využitia družicovej radarovej interferometrie. V rámci testovania bol na stupni Čunovo osadený aktívny radarový odrážač a na stupni Gabčíkovo bol osadený pasívny radarový odrážač. Pasívny odrážač (smer východ – západ) bol umiestnený na pylóne medzi Vodnou elektrárnou Gabčíkovo a dolnou rejdou Plavebných komôr. Výsledky meraní dosiahnuté s využitím osadených odrážačov boli porovnané s výsledkami z klasických geodetických meraní a sú veľmi pozitívne. Presnosť polohového aj výškového merania metódou družicovej radarovej interferometrie je s dovolenou odchýlkou na úrovni cca 5 mm, čo je výhodné hlavne pre voľné plochy bez osadenia geodetickými bodmi. Radarové odrážače slúžia na meranie pohybu referenčných bodov metódou INSAR (radarová interferometria z družíc) s využitím aplikácie REMOTIO, ktorú vyvinula Slovenská technická univerzita – Katedra geodetických základov v spolupráci s firmou INSAR – SK.

Ďalšou modernou formou meraní je kombinácia 3D skenovania s batymetrickým meraním (single-beam aj multi-beam), ktorým sa dopĺňajú priestorové údaje aj o podhľadínové informácie.



Obrázok 6: Vľavo pasívny radarový odrážač na stupni Gabčíkovo a vpravo aktívny radarový družicový odrážač na stupni Čunovo

Ďalšou modernou metódou, ktorú sme zaviedli do priestorových meraní objektov Vodného diela Gabčíkovo, je 3D skenovanie s kombináciou terestrického skenovania so leteckým skenovaním z dronu.



Obrázok 7: Mračno bodov z 3D skenu pravej plavebnej komory

3. PRIPRAVOVANÁ MODERNIZÁCIA MERANÍ

Výzvou do budúcnosti zostáva neustála obnova starších merných zariadení, ich automatizácia, modernizácia a zavádzanie nových metód a prístrojového vybavenia.

Aktuálne sa zaoberáme modernizáciou alebo úplným nahradením tachymetrických meraní automatizovanými totálnymi stanicami, ktoré sú v súčasnosti osadené pri plavebných komorách na stupni Gabčíkovo.

Taktiež sa aktuálne zaoberáme výberom a obstaraním automatizovaných snímačov posunov na dilatáciách a automatizovaných náklonomerov, ktoré by sme chceli inštalovať ešte pred začatím inovácie a modernizácie turbín Vodnej elektrárne Gabčíkovo – našou požiadavkou je, aby bola životnosť a prevádzka tohto systému minimálne 10 rokov, nakoľko na takúto dobu sa predpokladá trvanie modernizácie a inovácie turbín Vodnej elektrárne Gabčíkovo.

Samostatnou oblasťou pre nové meranie deformácií je dno pravej plavebnej komory v oblasti, v ktorej by sa malo v závere roka 2026 zrealizovať predpäté kotvenie cez steny výtokových

kanálů, ktoré sa nachádzajú pod dnom plavebnej komory. V súčasnosti v tejto oblasti plánujeme inštaláciu optického kábla, ktorý bude realizovať veľmi presné meranie deformácií dna plavebnej komory.

4. ZÁVER

Akémkoľvek špičkové vybavenie by nemalo význam bez dostatočného personálneho zabezpečenia. Napriek zavádzaniu podpory spracovania aplikáciami využívajúcimi umelú inteligenciu, zostáva expertný prístup a hodnotenie odborníkmi s dlhoročnou praxou nenahradiť. Odbornosť našich špecialistov a technikov, ktorí v úzkej spolupráci so zamestnancami prevádzky Vodného diela Gabčíkovo a Vodnej elektrárne Gabčíkovo vykonávajú technicko-bezpečnostný dohľad, v kombinácii s neustálym dobudovaním a modernizovaním zariadení na meranie a pozorovanie, sú zárukou toho, že v maximálnej možnej miere súčasného poznania môžeme včas identifikovať anomálie a riziká ohrozujúce bezpečnosť a prevádzkyschopnosť.

POĎAKOVANIE

Predložený článok je spracovaný v rámci projektu „Strategické partnerstvo pre výskum zelenej a udržateľnej energetiky s využitím umelej inteligencie pre významné vodné diela“ – AIHydroHUB, ktorý je spolufinancovaný Európskou úniou v rámci Programu Slovensko. Za finančnú podporu ďakujeme.



LITERATÚRA

- [1] KASANA, A.; NIKOLAJ, M. Problematika merania posunov vodných stavieb v zmysle technicko-bezpečnostného dohľadu; KGK (PDF príspevok): Slovenská republika, 2014.
- [2] VESELÝ, R. VD Gabčíkovo: Program technicko-bezpečnostného dohľadu pre trvalú prevádzku, 5. Aktualizácia. Vodohospodárska výstavba, š. p. Bratislava, 2019. 44 s.
- [3] VESELÝ, R.; TAKÁČOVÁ, M.; KAPUŠANSKÝ, J. VD Gabčíkovo: Súhrnná etapová správa o dohľade za obdobie doterajšej existencie 1992 - 2019. VV B š. p., 2019. 3 zv.

Ing. Andrej Kasana, PhD.

Úsek technicko-bezpečnostného dohľadu,

VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA, štátny podnik, Bratislava, SR

andrej.kasana@vzb.sk

PŘÍPRAVA PŘEČERPÁVACÍ VODNÍ ELEKTRÁRNY PTEČ

M. Král

Povodí Vltavy, státní podnik, Praha, Česká republika

ABSTRAKT: Příspěvek představuje postup v přípravě nové přečerpávací vodní elektrárny (PVE) Pteč, situované ve Středočeském kraji, v blízkosti stávající vodní nádrže Orlík. Záměr je zařazen z pohledu technického, ekonomického a environmentálního mezi šest nejvhodnějších lokalit pro výstavbu PVE v České republice. Výhoda projektu spočívá ve využití stávajícího jezera VD Orlík jako dolní nádrže, což významně snižuje investiční náklady a environmentální dopady spojené s budováním nových vodních ploch. Vedle technických aspektů se příspěvek věnuje i ekonomickému posouzení a představuje PVE jako klíčový prvek pro posílení energetické bezpečnosti ČR v kontextu probíhající transformace energetiky u nás i v zahraničí.

1. ÚVOD

V kontextu probíhající transformace české i evropské energetiky dramaticky roste potřeba akumulacních kapacit a zdrojů schopných rychlé regulace výkonu. PVE Pteč byla identifikována jako jedna ze šesti nejvhodnějších lokalit v ČR pro výstavbu nových přečerpávacích zdrojů bez významného střetu s ochranou přírody. Strategickou výhodou lokality je existence VD Orlík na řece Vltavě, která může bez dalších rozsáhlých stavebních úprav plnit funkci dolní nádrže PVE.

2. LOKALIZACE A HYDROENERGETICKÝ POTENCIÁL

Lokalita se nachází cca 15 km jihovýchodně od Příbrami. Horní nádrž je situována na levém břehu Vltavy na temeni vrchu Pteč v nadmořské výšce 633 m n. m. Pro funkci dolní nádrže bude využívána zdrž VD Orlík, kde je hladina běžně udržována v rozmezí 345,00–350,00 m n. m. Navržený střední spád pro provoz je 250 m. Z hydroenergetického hlediska jde o lokalitu s vysokým potenciálem umožňující instalaci výkonu 440 MW.

3. TECHNICKÉ ŘEŠENÍ STAVEBNÍ ČÁSTI

Koncepce PVE Pteč počítá s umístěním hlavních technologických celků do podzemí, což minimalizuje vizuální dopad na krajinu Středního Povltaví.

Horní nádrž vznikne zarovnáním terénu vrcholu Pteč a vybudováním obvodové sypané hráze o výšce 15 m nad dnem nádrže. Těsnění dna i svahů se předpokládá dvouvrstvým asfaltobetonovým pláštěm, který bude schopen odolávat častému a rychlému kolísání hladiny. Násyp hráze o objemu cca 2,4 mil. m³ bude proveden z materiálu získaného z výkopů v prostoru nádrže.

Vzhledem k morfologii terénu je zvoleno řešení se dvěma ocelovými tlakovými přivaděči o průměru 5,0 m a délce cca 1000 m. Hydraulický obvod je doplněn společným tlakovým

odpadním tunelem velkého průměru, na jehož začátku je situována vyrovnávací komora v bezprostřední blízkosti strojovny. V rámci studie byly posouzeny varianty vyústění do VD Orlik, přičemž jako nejvýhodnější se jeví varianta s délkou odpadního tunelu cca 2150 m.

Srdcem elektrárny bude kaverna o rozměrech cca 115 x 25 m umístěná v hloubce pod povrchem. Strop kaverny bude zajištěn masivní železobetonovou klenbou a stěny tyčovými kotvami se stříkaným betonem. Součástí podzemního komplexu je i samostatná kaverna transformátorů a přístupové, větrací a kabelové tunely.

Ve strojovně bude instalována čtveřice identických soustrojí. Po vyhodnocení variant rychloběžnosti byl zvolen koncept umožňující menší rozměry technologie za cenu vyšší sací výšky.

Turbína je navržena 4x reverzní Francisova, s činným výkonem v turbínovém provozu 110 MW na stroj a příkonem v čerpadlovém provozu 115 MW.

4. ZÁVĚR

Projekt PVE Pteč představuje po technické stránce plně realizovatelný a strategicky klíčový záměr, který se v kontextu probíhající transformace české i evropské energetiky stává nezbytným pilířem energetické bezpečnosti České republiky. Lokalita v blízkosti stávajícího vodního díla Orlik nabízí příležitost k vybudování výkonného akumulačního zdroje, který díky využití existující přehrady jako dolní nádrže snižuje investiční náklady i environmentální zátěž oproti jiným srovnatelným projektům.

Z pohledu potřeb moderní energetiky je PVE Pteč navržena jako flexibilní nástroj, schopný efektivně vyrovnávat nestabilitu v síti způsobenou obnovitelnými zdroji a poskytovat kritické služby výkonové rovnováhy (SVR) v řádu minut. Zatímco se v současných scénářích často operuje s bateriovými úložišti, je nutné zdůraznit, že přečerpávací elektrárny představují osvědčenou technologii s výrazně delší životností a schopností akumulovat nesrovnatelně větší objemy energie.

Ing. Martin Král

Povodí Vltavy, státní podnik. Holečkova 3178/8, 150 00 Praha 5, Česká republika

martin.kral@pvl.cz

INOVATIVNÝ PRÍSTUP PRI STANOVENÍ KATEGÓRIE VODNÝCH STAVIEB

P. Mackovjak, J. Mydla & Ľ. Uhorščák

VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA, štátny podnik, Košice, Slovenská republika

ABSTRAKT: V zmysle zákona č. 364/2004 Z. z. o vodách (vodný zákon) v znení neskorších predpisov, vodné stavby na území Slovenskej republiky, ktoré vzdúvajú alebo zadržávajú vodu, podliehajú kategorizácii. Kategorizácia sa zakladá na odhade faktora rizika vyjadrený bodovým hodnotením, ktorý vyplýva z existencie vodnej stavby. Určuje sa podrobnou špecifikáciou jednotlivých škôd, ku ktorým by došlo v prípade poruchy (havárie) stavby a uvoľnenia potenciálnej energie. Predkladaný príspevok nepoukazuje na bodové hodnotenie jednotlivých rizík, ale na inovatívny prístup, ktorý výrazne napomáha k stanoveniu presnejšieho odhadu potenciálnych škôd na ľudských životoch a majetku pod vodnou stavbou v prípade jej kolapsu. Práca implementuje matematické modelovanie hydrodynamických procesov šírenia prielomovej vlny v dôsledku simulovanej poruchy ochranných hrádzí rieky Poprad a poldra na Hladkom potoku v katastrálnom území mesta Podolíne. Následne je analyzovaná adaptácia získaných numerických dát na identifikáciu potenciálne ohrozeného územia s využitím voľne dostupných priestorových dát a GIS nástrojov. V závere príspevok zhrňuje prínosy matematického modelovania v kombinácii s dostupnými priestorovými údajmi a zároveň poukazuje na rozdiely v charaktere a stanovení prielomovej vlny pri poruche ochranných hrádží v porovnaní s údolnými priehradami.

1. ÚVOD

Bezpečnosť vodných stavieb predstavuje dlhodobu jednu z kľúčových oblastí vodného hospodárstva, najmä vzhľadom na ich potenciálny vplyv na ochranu ľudských životov, majetku a životného prostredia. Vodné stavby, ktoré vzdúvajú alebo zadržávajú vodu sú z hľadiska rizík v dôsledku ich havárie považované za významné technické diela s potenciálne závažnými následkami. Ich spoľahlivá kategorizácia je preto nevyhnutným predpokladom pre správne nastavenie režimu prevádzky, monitoringu, údržby a havarijného plánovania.

V podmienkach Slovenskej republiky je kategorizácia vodných stavieb upravená zákonom č. 364/2004 Z. z. o vodách a vykonávacou vyhláškou č. 119/2016 Z. z. (ďalej aj Vyhláška o TBD), ktorá definuje postupy a kritériá hodnotenia rizík vyplývajúcich z možných následkov poruchy vodnej stavby. Metodika kategorizácie je založená na bodovom hodnotení vybraných faktorov rizika, predovšetkým potenciálnych škôd na ľudských životoch, majetku a infraštruktúre v území pod vodnou stavbou. V praxi je však presnosť takéhoto hodnotenia výrazne závislá od kvality vstupných údajov a odborného odhadu rozsahu ohrozeného územia a intenzity možných následkov havárie.

Tradičné prístupy k odhadu následkov poruchy vodných stavieb často vychádzajú zo zjednodušených scenárov zaplavenia, orientačných máp ohrozenia alebo z historických skúseností. Tieto prístupy nemusia dostatočne reflektovať reálne hydrodynamické procesy šírenia prielomovej vlny, lokálne morfológické pomery územia ani aktuálne využitie krajiny a hustotu zástavby. Výsledkom môže byť podhodnotenie alebo nadhodnotenie rizika, čo sa následne premieta do nesprávne stanovenej kategórie vodnej stavby a neoptimálne nastavených bezpečnostných opatrení.

S rozvojom výpočtových metód, numerického modelovania a geografických informačných systémov (GIS) sa otvára priestor pre presnejšie a objektívnejšie hodnotenie potenciálnych

následkov havárie vodných stavieb. Hydrodynamické modely umožňujú simulovať šírenie prielomovej vlny v reálnych priestorových podmienkach a poskytujú detailné informácie o rozsahu zaplavenia, hĺbkach vody a rýchlostiach prúdenia. Pre tieto účely je často používaný softvér HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System), ktorý umožňuje riešiť jednorozmerné aj dvojrozmerné hydraulické modelovanie povodia vrátane simulácií prielomových vln. Prepojením týchto výsledkov s dostupnými priestorovými dátami o zástavbe, infraštruktúre a využití územia je možné výrazne spresniť odhad potenciálnych škôd a ohrozenia obyvateľstva.

Cieľom príspevku je prezentovať využitie numerického modelovania pomocou programu HEC-RAS a GIS analýz pri stanovovaní kategórie vodných stavieb na Slovensku. Inovativnosť metód je demonštrovaná na prípadových štúdiách ochranných hrádí rieky Poprad a poldra na Hladkom potoku v katastrálnom území mesta Podolíne.

2. HYDRODYNAMICKÉ MODELOVANIE V KONTEXTE KATEGORIZÁCIE VODNÝCH STAVIEB

2.1 POŽIADAVKY NA VÝSTUPY MODELOVANIA

Metodika kategorizácie vodných stavieb podľa Vyhlášky o TBD a jej prílohy č. 1 zohľadňuje nielen vzdialenosť vodnej stavby od ohrozeného územia a hydraulické charakteristiky prielomovej vlny, ale aj priestorovú polohu ohrozených oblastí vo vzťahu k smeru šírenia prúdenia. Rozlišujú sa územia nie len s rôznou hĺbkou zaplavenia, ale taktiež ich poloha či už v smere hlavnej prúdnice prielomovej vlny alebo v okrajových častiach údolia (inundácia). Toto členenie reflektuje rozdielnú intenzitu hydraulického pôsobenia vlny v jednotlivých častiach zaplavovaného územia, pričom jednotlivým zónam sú priradené rozdielne váhy bodového hodnotenia rizika.

Uvedený aspekt má osobitný význam pri hodnotení líniových ochranných stavieb, akými sú ochranné hrádze, kde charakter zaplavovania územia po poruche nie je determinovaný len vzdialenosťou od miesta poruchy, ale vo výraznej miere aj priestorovým rozložením rýchlostí prúdenia prielomovej vlny. V praxi môže dôjsť k situáciám, keď oblasti nachádzajúce sa mimo hlavnej prúdnice, avšak s lokálne zvýšenými rýchlosťami prúdenia v dôsledku tvaru terénu alebo zástavby, predstavujú porovnateľnú alebo vyššiu mieru ohrozenia ako časti údolia ležiace bližšie k osi šírenia vlny. Rovnako tak však môže dôjsť k situáciám, kde oblasti pôvodne uvažované v oblasti prúdnice, môžu byť vzhľadom na výsledné rýchlosti prúdenia preformulované na inundáciu.

Príloha č. 1 Vyhlášky o TBD definuje zóny pohybu prielomovej vlny na základe vzdialenosti od vodnej stavby a rýchlosti šírenia vlny, ktoré vstupujú do bodového hodnotenia rizikových faktorov. Z tohto dôvodu je od hydrodynamického modelu požadovaná nielen schopnosť určiť maximálne hĺbky zaplavenia, ale aj priestorové rozloženie rýchlostí prúdenia, ktoré umožňuje identifikovať oblasti s intenzívnym hydraulickým pôsobením vlny v hlavnom smere prúdenia aj v okrajových častiach inundačného územia. V neposlednom rade je dôležitým aspektom čas trvania záplavy, resp. jej vývoj v čase. Takto získané výstupy predstavujú priamy podklad pre rozlíšenie jednotlivých zón ohrozenia v zmysle platnej legislatívy a pre objektívnejšie priradenie bodového hodnotenia rizika pri kategorizácii vodných stavieb.

2.2 METODIKA HYDRODYNAMICKÉHO MODELOVANIA PRIELOMOVEJ VLNY – TEORETICKÉ VÝCHODISKÁ

Hydrodynamické modelovanie predstavuje v súčasnosti štandardný nástroj na kvantifikáciu následkov havárie vodných stavieb, najmä z hľadiska šírenia prielomovej vlny v území pod vodnou stavbou. Cieľom modelovania je simulovať časový a priestorový priebeh zaplavenia územia v závislosti od charakteru poruchy, morfológických pomerov terénu a hydraulických

vlastností koryta a inundácie. Výsledkom sú priestorovo distribuované údaje o rozsahu zaplavenia, maximálnych hĺbkach vody, rýchlostiach prúdenia a časoch nástupu povodňovej vlny v jednotlivých častiach územia.

Digitálny model reliéfu (DMR) s dostatočným priestorovým rozlíšením tvorí nosný podklad pre definovanie geometrie. Presnosť simulovaných hĺbok a rýchlostí prúdenia je výrazne ovplyvnená kvalitou vstupných údajov o tvare koryta, brehovými líniami, výškových pomeroch a charaktere povrchu, ktorý je zohľadnený prostredníctvom koeficientov drsnosti.

Modelovanie prielomovej vlny si vyžaduje definovanie poruchového scenára, ktorý zásadným spôsobom ovplyvňuje výsledné hydraulické charakteristiky prúdenia a rozsah ohrozeného územia. V prípade klasických priehrad sa v rámci bezpečnostných analýz spravidla uvažuje extrémny scenár náhleho alebo rýchlo postupujúceho kolapsu telesa priehradu ako celku, ktorý predstavuje fyzikálne možný a konzervatívny variant poruchy. Tento prístup je v súlade s metodikami hodnotenia rizika vodných stavieb a tvorí základ pre stanovenie maximálnych možných následkov poruchy. Pri líniových vodných stavbách, medzi ktoré patria ochranné hrádze, je však plošný kolaps celého objektu prakticky nereálny. Porucha sa spravidla prejavuje lokálnym narušením telesa hrádze vo forme prietru, ktorej priebeh je podmienený miestnymi geotechnickými podmienkami, hydraulickým zaťažením a vývojom povodňového prietoku. Z tohto dôvodu je pri modelovaní prielomovej vlny na ochranných hrádzach potrebné uvažovať viaceré poruchové scenáre reprezentujúce možné polohy a rozmery prietru. Pre účely hodnotenia rizika sa následne vyberá najnepriaznivejší variant z hľadiska ohrozenia obyvateľstva, majetku a infraštruktúry, ktorý slúži ako podklad pre ďalšie vyhodnotenie dôsledkov poruchy. Tento prístup umožňuje lepšie zohľadniť reálne mechanizmy zlyhania líniových vodných stavieb.

Výstupy hydrodynamického modelovania predstavujú základ pre následné priestorové analýzy v prostredí GIS. Priestorová integrácia výsledkov umožňuje identifikovať ohrozené územia v jednotlivých vzdialenostných pásmach od vodnej stavby, rozlíšiť oblasti v smere hlavnej prúdnice a okrajové inundačné časti údolia a priradiť im charakteristické hydraulické parametre. Takto spracované údaje vytvárajú podklad pre objektívnejšie hodnotenie rizikových faktorov pri kategorizácii vodných stavieb v zmysle platnej legislatívy.

Jednotný postup pri výpočte prielomovej vlny z vodných stavieb upravuje smernica Ministerstva životného prostredia SR č. 1/2007 – 1.5 z 30. apríla 2007 (ďalej len smernica 1/2007). Táto smernica bola však vydaná vo vzťahu k povinnosti prevádzkovateľov vodných stavieb zabezpečiť výstavbu a prevádzku autonómneho systému varovania a vyrozumienia (ASVaV). Aj napriek jej určeniu môže pomôcť s postupom vytvárania matematického modelu a to predovšetkým pri údolných priehradách, na ktoré sa smernica zameriava. Jej hlavným nedostatkom pri aplikácii na líniové prvky je, že podrobnejšie riešenie špecifiká ochranných hrádí.

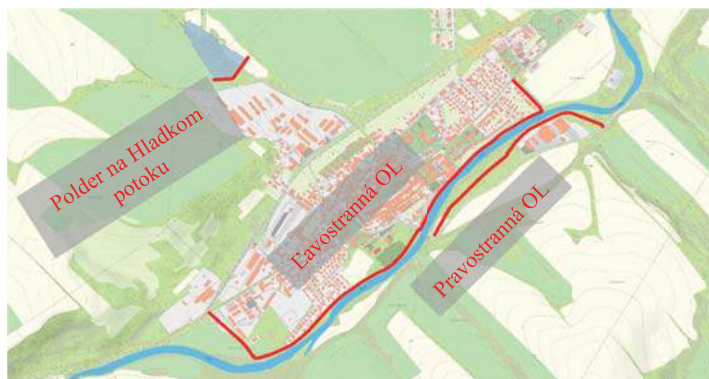
2.3 PREHĽAD PROJEKTOVANÝCH PROTIPOVODŇOVÝCH OPATRENÍ MESTA PODOLÍNE

V rámci zabezpečenia protipovodňovej ochrany mesta Podolíne boli navrhnuté tri základné prvky:

- Lavostranná ochranná línia (rieky Poprad)
- Pravostranná ochranná línia (rieky Poprad)
- Polder na Hladkom potoku

Opatrenia na ľavom brehu rieky Poprad začínajú od cestného mosta (Poprad – Stará Ľubovňa) ohradzovaním Križného potoka až po jeho ústie. Následne plynule pokračuje ohradzovanie rieky Poprad juho-západným smerom pozdĺž celej zástavby mesta pričom, sa znova napája na cestu Poprad – Stará Ľubovňa (číslo cesty 77). Zástavba, respektíve súkromné pozemky,

sú v blízkosti brehu rieky Poprad, čo výrazným spôsobom limituje inundačné územie, ako aj priestor na výstavbu ochranných prvkov. Aj z tohto dôvodu bol zvolený dvojaký typ ochranných prvkov (hrádza a priestorovo úspornejší múr).



Obrázok 1: Situácia protipovodňových opatrení mesta Podolínece

Na pravej strane rieky Poprad začína protipovodňová ochrana pri ceste Podolínece – Lomnička (3123) za prítokom Heja. Následne ochranná hrádza prechádza cez potok Heja a pokračuje okolo hál závodu Polyform. V tejto časti sa však mení na protipovodňový múr a za závadom znova pokračuje ako ochranná hrádza až po cestu (3123) pri moste Podolínece – Lomnička (Obrázok).

Protipovodňové línie by podľa projektovej dokumentácie mali výškovo kopírovať hladinu Q_{100} s jej prevýšením o 0,50 m.

Na Hladkom potoku je v rkm 1,150 plánovaný suchý polder s objemom cca 100 tis. m^3 , ktorého účinkom by malo dôjsť k transformácii 100-ročnej povodňovej vlny z $24,00 m^3.s^{-1}$ (v kulminácii) na $4,86 m^3.s^{-1}$. Hrádza poldra s maximálnou výškou cca 7,30 m bude zemná homogénna z miestnych materiálov. Prepúšťanie vody bude zabezpečovať nehradený výpust s priemerom 810 mm a v prípade potreby bude využitý aj korunový bezpečnostný priepad navrhnutý na takmer celú šírku koruny.

3. MODELOVANIE PRIETRŽE A NÁSLEDNÉHO ŠÍRENIA PRIELOMOVÝCH VĽN

Samotné modelovanie prielomových vĺn bolo rozdelené do dvoch častí (modelov) a to:

- po prietrži hrádze poldra, kde bolo možné z časti postupovať podľa smernice 1/2007,
- po prietrži ochranných hrádží.

V oboch prípadoch sme uvažovali v súlade s Vyhláškou o TBD a teda s veľmi rýchlym (prakticky okamžitým) vývojom prielomu. Modelovanie prebiehalo v programe HEC-RAS ako 2D výpočet. Jednotlivým špecifikám modelovania sa venujú nasledujúce kapitoly.

3.1 PRIELOMOVÁ VLNA – POLDER NA HLADKOM POTOKU

Nakoľko Polder na Hladkom potoku pripomína klasickú údolnú priehradu, tak pred vznikom prielomovej vlny bola zanedbaná povodňová situácia na Hladkom potoku, ale uvažovalo sa iba s malým stálym prietokom v koryte potoka. Taktiež nebola riešená kombinácia povodne na rieke Poprad a zároveň prelomenia hrádze poldra. V rieke Poprad bol uvažovaný prietok na jeho priemernej úrovni. Charakteristiky prielomovej vlny boli teda tvorené objemom

zadržaným pri maximálnej hladine (589,25 m n. m.), čo je zároveň aj výška korunového priepadu a samotným prielomom hrádze.

Model bol tvorený z troch základných častí:

- nádrž – modelovaná ako Storage Area,
- hrádza poldra – modelovaná ako SA/2D Connection,
- zaplavená oblasť (predovšetkým Hladký potok s jeho okolím a rieka Poprad) – modelovaná ako 2D Flow Area, ktorú tvorí výpočtová sieť.

Prielom hrádze bol zadán na základe odporúčaní, ktoré je možné po určení základných geometrických a geologických parametrov hrádze vygenerovať priamo v programe HEC-RAS. Dno prietrže bolo zadané na výške 582,20 m n. m. so šírkou 8,0 m a so sklonmi svahov 1:1.

Digitálny model reliéfu bol použitý ako geometrický podklad aj pre výpočtovú sieť, avšak bol doplnený aj o vlastné merania koryta toku, ako aj najvýznamnejších mostných, či cestných konštrukcií.

Koryto Hladkého potoka bolo už v minulosti upravené. Hladký potok pod poldrom tečie juhovýchodným smerom popri poľnej ceste, následne vteká do areálu poľnohospodárskeho družstva, kde je cez potok vybudovaný aj jeden most. Za mostom potok opúšťa areál družstva a pokračuje k ceste na Lesnej ulici a teda aj k mostu a následne aj k železničnej trati (Poprad – Plaveč). Popod železničnú trať je potokom prevedený cez priepust. Za železničnou traťou vchádza už do zastavanej časti mesta, kde sa nachádza viacero mostov a brehy sú tvorené múrmi, či dokonca samotnými budovami. Pri autobusovej stanici je tok zatrubnený. Dĺžka zatrubnenej časti je viac ako 100,0 m. Potok znova vyúsťuje za cestou (77) a tvorí otvorené koryto, ktoré po približne 130,0 metroch ústí voľne do rieky Poprad.

Z hľadiska postupu prielomovej vlny má najväčší vplyv železničný násyp, ktorý vytvára prirodzenú prekážku, splošťuje povodňovú vlnu a predovšetkým rozlievaním do šírky zabezpečuje spomalenie prúdenia.



Obrázok 2: Mapa maximálnych hĺbok počas záplavy po prietrži hrádze Poldra na Hladkom potoku

Jedným z výstupov modelu je aj mapa maximálnych hĺbok, ktoré by boli dosiahnuté pri prechode povodňovej vlny po prietrži poldra (Obrázok). Hĺbky sú odstupňované v hraniciach $< 0,5$; $0,5 > 1,5$; $> 1,5$ m. Takéto odstupňovanie priamo súvisí s kritériami kategorizácie vodných stavieb v zmysle platnej Vyhlášky o TBD. Z mapy je jasné, že veľká časť mesta by bola priamo postihnutá prielomovou vlnou, avšak vo väčšine prípadov do hĺbky 0,5 m.

3.2 PRIELOMOVÉ VLNY – OCHRANNE HRÁDZE POPRADU V PODOLÍNCI

Modelovanie prielomových vln má viacero špecifik. Pri ochranných hrádzach nie je možné zanedbať hydrologickú situáciu v toku. Nie je dôležité len aká bude kulminácia, ale taktiež v akom čase dôjde k prelomeniu hrádze (počas kulminácie, pred alebo po kulminácii) a aj aký má tvar povodňová vlna. Ďalším faktorom je voľba miesta prietrže. Ochranné hrádze sú líniové stavby a rôzne umiestnenia prietrže majú rozdielny vplyv na mieru záplavy.

Modelovanie v tomto prípade bolo rozdelené na tri fázy. V prvej bolo riešené modelovanie povodne z roku 2010, ktorá bola veľmi významná a podrobne zaznamenaná. Rozsah záplavy je možné určiť ešte aj v súčasnosti na základe značiek na budovách. Po kalibrácii modelu boli v druhej fáze do terénu pridané ochranné hrádze a následne bol hľadaný taký prietok, ktorý dosiahne svojou hladinou výšku ochranných hrádz. K modelovaniu samotných prietrzí sa pristúpilo až v tretej fáze.

Kalibrácia a overenie správnosti hydraulického modelu v prostredí HEC-RAS boli realizované na základe historickej povodne z roku 2010. Vstupné údaje pre túto simuláciu boli čerpané zo správy Slovenského hydrometeorologického ústavu (SHMU) s názvom „Povodňová situácia na východnom Slovensku v máji a júni 2010.“ (Simonová a kol., 2010).

V druhej fáze došlo k doplneniu ochranných hrádz do geometrie. Vychádzalo sa pritom z projektovej dokumentácie a to predovšetkým situácie, pozdĺžnych a priečnych rezov pre jednotlivé úseky. Hrádze boli doplnené priamo úpravou podkladového terénu. Výpočtová sieť taktiež reflektovala tieto terénne zmeny.

Až po predchádzajúcich dvoch fázach sa pristúpilo k modelovaniu prielomových vln. Čas prietrže ochrannej hrádze bol stanovený na čas maximálneho hydraulického zaťaženia a teda na obdobie kulminácie povodňovej vlny. Umiestnenie prietrže bolo v prípade ľavostrannej hrádze zvolené pre 2 oblasti. Jedna bola nad mostom v rkm 82,200 a druhá bola v oblasti plánovanej výstavby protipovodňového múrika v rkm 81,500. Tieto úseky boli vybrané z dôvodu najvyššieho prevýšenia hrádze nad okolitým terénom. V prípade prielomu v rkm 82,200 sa jednalo aj o kritický úsek, čiže modelovaná hladina dosahovala korunu hrádze. V priestore za hrádzou v rkm 82,200 sa v tesnej blízkosti nachádza ihrisko a budovy nebytového charakteru. V rkm 81,500 je hrádza síce nižšia, ale v tesnej blízkosti hrádze sú postavené rodinné domy.

Šírka prietrže bola stanovená na 50,0 m a výška dna bola totožná so súčasným terénom. Aj v tomto prípade bolo uvažované prakticky s okamžitým pretrhnutím hrádze.

V prípade prietrže v rkm 82,200 boli modelované aj dva rôzne hydrogramy prietokov v rieke Poprad. Hydrogramy mali rovnakú hodnotu kulminácie, avšak lišili sa tvarom, resp. časom trvania. V prvom prípade mala celá povodňová vlna rovnaké trvanie ako pri simulácii povodne z roku 2010 a teda stúpanie aj klesanie trvalo spolu 50 hodín. Pre elimináciu chyby zo zadaného hydrogramu bol nový hydrogram predĺžený tak, že stúpajúca vetva mala 40 a klesajúca 100 hodín.

Obrázok zobrazuje mapu maximálnych hĺbok pre prietrz v rkm 82,200, kedy boli dosiahnuté väčšie maximálne hĺbky a rovnako aj väčšia miera záplavy. Pri modelovaní prietrže s predĺženým hydrogramom bola síce mapa záplavy totožná s predchádzajúcim modelovaným stavom, predĺžil sa však čas zatopenia. Súčasne stúpol objem vody pretečený cez prietrz z 1,5 mil. m³ na 5,0 mil. m³. Väčší rozsah záplavy nevznikol kvôli tomu, že v zaplavenej oblasti vznikne prúdenie vody a to predovšetkým v severovýchodnom smere a v oblasti ústia Križneho potoka dochádza k spätnému prelievaniu hrádze a opätovného návratu vody do koryta Popradu.



Obrázok 3: Mapa maximálnych hĺbok po prielome L'OH v rkm 82,200

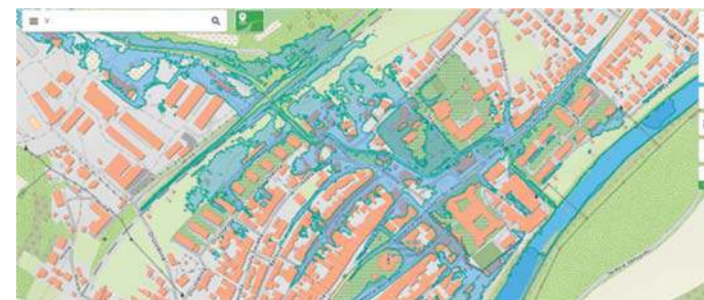
Prielom pravostrannej ochrannej hrádze bol umiestnený v blízkosti areálu Polyform, pričom bolo zvolené miesto najväčšieho prevýšenia koruny pravostrannej hrádze nad okolitým terénom. Ostatné špecifiká prietrže boli rovnaké ako v prípade ľavostrannej ochrannej hrádze.

Modelom bolo preukázané, že po prietrži pravostrannej ochrannej hrádze rieky Poprad by došlo k čiastočnému zaplaveniu priemyselného areálu (v súčasnosti spoločnosť Polyform), ako aj jedinej prístupovej cesty do obce Lomnička. Na väčšine zaplaveného územia však hĺbka vody neprekročí hodnotu 0,5 m.

Z programu HEC-RAS je možné jednotlivé mapy exportovať, ako v rastrovom tak aj vo vektorom formáte. S exportovanými údajmi je následne možné pracovať v iných programoch podporujúcich GIS.

4. ANALÝZA ZAPLAVENÉHO ÚZEMIA

Rastrové mapy hĺbok boli následne po analýze uložené do vektorových formátov, pričom analýza spočívala v rozdelení do kategórie hĺbok, ktoré stanovuje aj legislatíva (< 0,5; 0,5 > 1,5; > 1,5 m). Mapa vo vektorovej forme bola následne vložená do online mapového portálu (Mapový klient – ZBGIS), ktorý spravuje Geodetický kartografický ústav.



Obrázok 4: Zatopená oblasť v intervale 0,5 > 1,5 m zobrazená v ZBGIS – Mapový klient

Mapový klient umožňuje priamo cez internetový prehliadač vykonať analýzu územia a to automatickým exportom informácie z mapy. Plusom analýzy priamo v internetovom prehliadači je jednoduchý prístup pre užívateľa. Nevýhodou je potreba zvoliť záujmovú oblasť ručne a taktiež sa môže naraziť na limity pri analýze väčších území.

5. ZÁVER

Predložený príspevok demonštruje, že kombinácia 2D hydrodynamického modelovania (HEC-RAS) a priestorových analýz v prostredí GIS predstavuje prakticky využiteľný a výrazne presnejší prístup k určeniu potenciálnych následkov poruchy vodných stavieb v porovnaní so zjednodušenými, prevažne expertnými odhadmi. Na prípadových štúdiách poldra na Hladkom potoku a líniových ochranných hrádzí rieky Poprad v Podolínci bolo preukázané, že výsledky numerickej simulácie umožňujú objektívne určiť rozsah zaplavenia, maximálne hĺbky a charakteristiky prúdenia, čím sa spresňuje identifikácia ohrozeného územia a následne aj odhad škôd na ľudských životoch, majetku a infraštruktúre.

Z pohľadu legislatívnej praxe príspevok poukazuje na limity súčasného nastavenia vyhlášky pri hodnotení líniových ochranných stavieb. Ochranné hrázde majú odlišný mechanizmus poruchy než údolné priehrady a ich „najhorší“ scenár je spravidla viazaný na lokálnu prietž, pričom výsledné ohrozenie výrazne závisí od konkrétnej polohy poruchy a aktuálneho hydrologického zaťaženia. Preto je vhodné metodicky podporiť hodnotenie takýchto stavieb požiadavkou na analýzu viacerých realistických poruchových variantov a na využitie priestorovo distribuovaných výstupov (hĺbky, rýchlosti, čas nástupu a trvanie záplavy) pri určovaní zón ohrozenia.

Záverom možno konštatovať, že implementácia hydrodynamického modelovania a GIS analýz do procesu kategorizácie vodných stavieb zvyšuje transparentnosť a reprodukovateľnosť hodnotenia a znižuje mieru neistoty pri stanovení faktorov rizika. V praxi to vedie k lepšie odôvodniteľnému zaradeniu stavieb do kategórií, čo je kľúčové pre nastavenie primeraného režimu technicko-bezpečnostného dohľadu, prevádzkových opatrení a havarijného plánovania.

LITERATURA

- [1] HRABOVSKÝ, O., SABOLOVÁ, J. Podolíneček – PPO mesta; SLOVENSKÝ VODHOSPODÁRSKY PODNIK, š.p. Košice, 2018. Projektová dokumentácia pre realizáciu stavby.
- [2] SIMONOVÁ, D., HOLUBECKÁ, M., JAROŠOVÁ, M., SMRTNÍK, P. Povodňová situácia na východnom Slovensku v máji a júni 2010. SHMÚ: Košice, 2010.

Ing. Peter Mackovjak, PhD.

VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA, š.p., TBD Košice

peter.mackovjak@vzb.sk

Ing. Jakub Mydla

VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA, š.p., TBD Košice

jakub.mydla@vzb.sk

Ing. Lubomír Uhorský

VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA, š.p., TBD Košice

lubomir.uhorscak@vzb.sk

HYBRIDNÉ FORMY DATAWAREHOUSU V OBLASTI VODOHOSPODÁRSKEJ PREVÁDZKY

P. Paška

Regotrans, spol. s r.o., Bratislava, Slovenská republika

ABSTRAKT: Príspevok predstavuje návrh a implementáciu hybridného datawarehouseu pre plavebné komory Vodného diela Gabčíkovo, zameraného na efektívny zber, archiváciu a analytické spracovanie technologických dát. Riešenie je postavené na platforme redundantnej SCADY, ktorá zabezpečuje online zber dát priamo z technologických systémov plavebných komôr. Systém je koncipovaný ako striktné monitorovací, bez možnosti povelovania technológie, čím je zachovaná vysoká úroveň bezpečnosti a oddelenie riadiacich a analytických vrstiev.

Architektúra je navrhnutá ako hybridná databáza pozostávajúca z dvoch hlavných vrstiev. Krátkodobá vysokorýchlostná databáza slúži na online sledovanie technologických procesov s uchovávaním dát po dobu jedného roka. Dlhodobá SQL databáza s optimalizovanou rastrovou štruktúrou umožňuje archiváciu a efektívne vyhodnocovanie historických dát v horizonte až 12 rokov. Takto navrhnutý model spája požiadavky na rýchlu operatívnu analýzu s potrebou dlhodobej dátovej kontinuity.

Súčasťou riešenia je aj vlastný grafový modul určený na pokročilú prácu s dátami. Modul umožňuje vytváranie používateľsky definovaných grafických zostáv, časové previazanie viacerých grafov, realizáciu matematických operácií nad hodnotami a integráciu externých dátových zdrojov s nameranými technologickými údajmi. Tým sa vytvára flexibilný analytický nástroj podporujúci prevádzkové rozhodovanie, diagnostiku a optimalizáciu procesov plavebných komôr.

1. ÚVOD

Dunaj, ako vodná cesta medzinárodného významu E80 musí spĺňať záväzné plavebné parametre potrebné pre celoročné využitie vodnej dopravy v súlade s Európskym dohovorom o hlavných vnútrozemských vodných cestách medzinárodného významu (AGN), ako aj Belehradským dohovorom a odporúčaniami Dunajskej komisie. V rokoch 2019 až 2025 bol realizovaný projekt Inovácia a modernizácia plavebných komôr VD Gabčíkovo, ktorého strategickým cieľom bolo zvýšenie výkonnosti, spoľahlivosti a tým samozrejme aj konkurencieschopnosti vodnej cesty Dunaj.

Generálnym projektantom diela bola spoločnosť AQUATIS, a.s. Brno/ČR

Generálnym dodávateľom diela bola spoločnosť Metrostav, a.s. Divízia 8, Praha/ČR

Spoločnosť Regotrans, spol. s r.o. Bratislava/SK spracovala projektovú dokumentáciu a následne realizovala dielo v oblastiach automatizované systémy riadenia a silnoprúdové rozvody, ktorého súčasťou bola aj samostatná, nezávislá časť archivácie, kontroly a správy dát pre potreby diagnostiky, kontroly funkčnosti a šetrenia udalostí, prevádzkových stavov pri riadení plavebných komôr - Data Warehouse.



Obrázok 1: Letecký snímok VD Gabčíkovo

Parametry plavebných komôr VD Gabčíkovo:

- Dĺžka 275 m
- Šírka 34 m
- Výška 32 m
- Výškový rozdiel 16 – 23,3 m
- Plocha 1,87 ha

**2. KOMPLEXNÉ RIADENIE A KONTROLA PREVÁDZKY
PLAVEBNÝCH KOMÔR VD GABČÍKOVO**Tri základné časti:

- Riadiaci systém plavebných komôr vr. Dozorne plavby
- Expertný a kontrolný systém, optimalizácia - simulácia
- Data Warehouse

Riadené a kontrolované objekty

- | | |
|-----------------------------|---|
| • horná dynamická ochrana | • brodová tabuľa |
| • horné vráta | • meteostanica |
| • napúšťací systém – vtoky | • dohl'adomer |
| • vypúšťací systém – výtoky | • kamerový systém |
| • bitvy | • záznamový systém |
| • dolná dynamická ochrana | • dorozumievacie zariadenie, vysielacky |
| • dolné vráta | • čerpacia stanica |
| • plavebná signalizácia | • dozorná plavby |

Počet HW pripojených bodov pre PPLK

- 1067 digitálnych vstupov
 - 456 digitálnych výstupov
 - 267 analógových vstupov
 - 40 analógových výstupov
- Spolu: 1 830

Počet HW pripojených bodov pre EPLK

- 1067 digitálnych vstupov
 - 456 digitálnych výstupov
 - 267 analógových vstupov
 - 40 analógových výstupov
- Spolu: 1 830

Počet HW pripojených bodov pre ČS

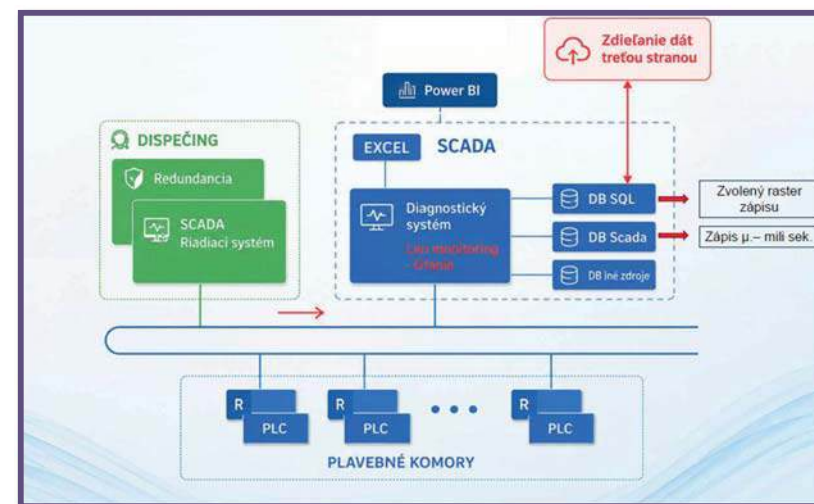
- 87 digitálnych vstupov
 - 36 digitálnych výstupov
 - 25 analógových vstupov
 - 18 analógových výstupov
- Spolu: 166

Počet SW pripojených bodov pre SCSDA

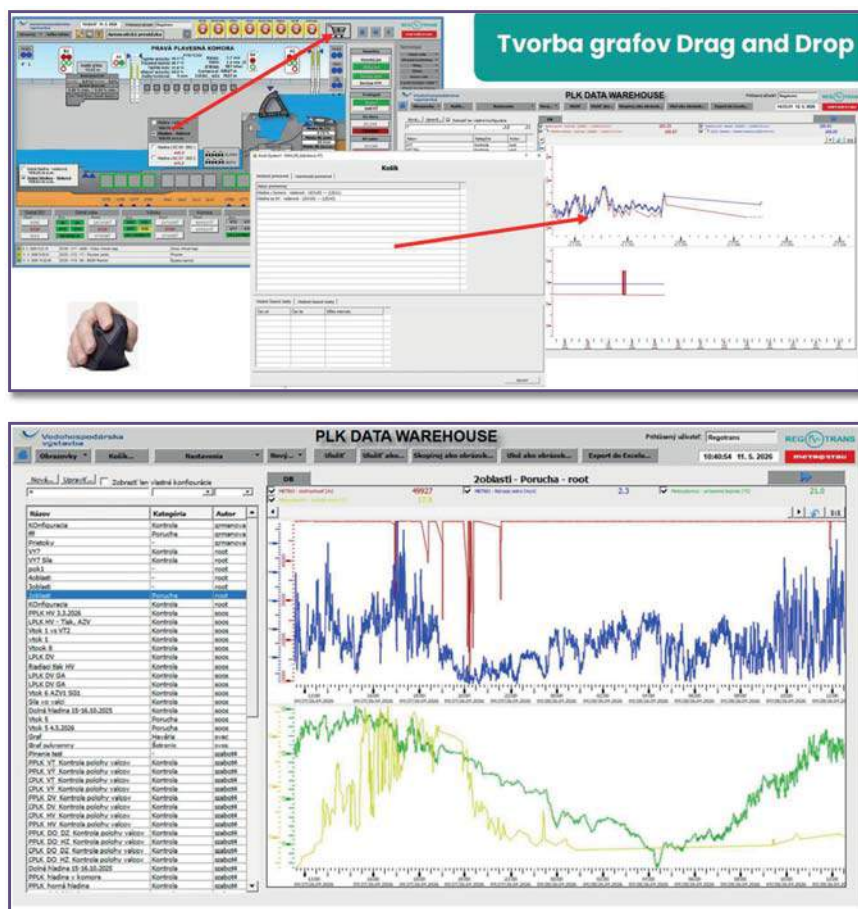
- 2410 prenášaných dátových bodov
 - 12641 vizualizovaných alebo vypočítaných bodov
- Spolu: 15 051

CELKOM OPERAČNÝCH BODOV 18 877

- 2 mil. zápisov do databázy za deň



Obrázok 2: DWH Systémová architektúra



Obrázek 3: Práce s datami

3. ZÁVER

Realizovaný hybridný datawarehouse pre plavebné komory vodného diela Gabčíkovo predstavuje príklad využitia moderných dátových technológií vo vodohospodárskej prevádzke. Kombinácia online monitorovania, dlhodobej archivácie a pokročilých analytických nástrojov vytvára efektívny podklad pre diagnostiku, hodnotenie prevádzky a podporu rozhodovania. Získané skúsenosti potvrdzujú, že vhodne navrhnutá dátová architektúra je významnou súčasťou moderných systémov riadenia a monitorovania vodných diel.

Ing. Pavel Paška

Regotrans, spol. s r.o., Pluhová 2, 83103 Bratislava, Slovenská republika
paska@regotrans.sk

VD NOVÉ HEŘMINOVY - PROJEDNÁVÁNÍ A POVOLOVÁNÍ STAVBY, VYUŽITÍ METODY BIM

L. Salingerová & J. Švancara

AQUATIS a.s., Brno, Česká republika

J. Konečný

Povodí Odry, státní podnik, Ostrava, Česká republika

ABSTRAKT: Vodní dílo Nové Heřminovy (VDNH) je nejvýznamnějším prvkem souboru opatření na ochranu před povodněmi v povodí horního toku řeky Opavy. Společnost AQUATIS a.s. pro investora stavby - státní podnik Povodí Odry zpracovala v minulém období projektové dokumentace pro povolení stavby a pro provádění stavby. Článek se zaměřuje na dva tematické okruhy, a to na procesy povolování stavby a na zpracování projektových dokumentací s využitím metody BIM.

Mimořádná délka povolovacích procesů u stavebního záměru VDNH je odborné veřejnosti známá. Na příkladu VDNH je možné ukázat, v čem spočívá nepružnost a zdlouhavost postupů směřujících k povolení obdobné stavby v našich podmínkách, ať už jde o právní prostředí a jeho opakované změny, úřední opatnost nebo blokování postupu a možnosti obstrukce a to přesto, že se jedná o stavbu veřejně prospěšnou.

Projektové dokumentace pro povolení stavby i provádění stavby byly pro VDNH zpracovávány s využitím metody BIM. Článek v druhé části zmiňuje zkušenosti se zpracováním informačního modelu stavby, vyhotovením a využitím projektové dokumentace založené na informačním modelu i další zkušenosti s postupy práce založené na standardu BIM.

1. ÚVOD

Soubor opatření na ochranu před povodněmi v povodí horního toku řeky Opavy (Opatření na horní Opavě – OHO) představuje komplex staveb a opatření zahrnující vedle přehradní části záměru (VDNH) i další dílčí stavby na vodních tocích, soubor retenčních ochranných nádrží, srážkoměrné a limnigrafické stanice a další opatření v území. Rozsah článku neumožňuje obsáhle informovat o vzniku, vývoji a obsahu koncepce OHO, zde lze odkázat na další dostupné zdroje a dříve publikované informace, např. [5], [6], [7]. Následující text se soustřeďuje na stavbu vodního díla Nové Heřminovy, jednak proto, že je z hlediska ochranné funkce klíčovou součástí celého souboru a také proto, že zejména na tuto dílčí stavbu se soustředily kontroverze, obtíže i obstrukce, které přípravu záměru OHO provázely a provázejí.

2. HISTORIE KONCEPCE OHO A PROJEKČNÍ PŘÍPRAVY

2.1 INVESTIČNÍ ZÁMĚR

Povodeň 1997 ukázala mimořádnou naléhavost řešení protipovodňových opatření (PPO) v povodí řeky Opavy, avšak celých 10 let od katastrofální povodně 1997 bylo věnováno hledání a prověřování koncepce PPO. Vzniklo mnoho desítek studií, posudků, hodnocení námětů Ve skutečnosti se diskuse od samého počátku vymezila do dvou směrů. V jedné koncepci se počítalo s funkcí dostatečně kapacitní ochranné nádrže, která by byla schopná omezit kulminační průtoky na Opavě za extrémních povodní a poskytla i možnost dispečerského řízení za povodní s možností reagovat na situaci podle prognóz. Současně se mělo jednat o víceúčelovou nádrž se schopností zlepšit průtokové poměry v období sucha. Druhá skupina koncepcí byla motivována snahou nabídnout jakoukoliv jinou alternativu, pokud by její součástí

nebyla přehradní stavba. V řadě případů se nejednalo o diskusi věcnou. Předkládané alternativy nebyly z hlediska účinků srovnatelné nebo nebyly v souladu s cíli ochrany a pokud byl tento fakt věcně prokázán, byla zpochybňována východiska, a to včetně potřebnosti cílové míry ochrany dosáhnout. Tvzení o existenci jiných (výhodnějších, levnějších, ekologičtějších, snáze projednatelných, rychleji realizovatelných ... atd.) alternativ ke koncepci s ochrannou nádrží jsou nakonec až do dnešní doby jádrem argumentace oponentů záměru výstavby VDNH, kteří však nenesou za funkci protipovodňových opatření jakoukoli odpovědnost. Jeden pozitivní vliv proběhlých diskusí však nelze nezmínit. Jednoznačně skončila doba, kdy bylo možné na ochranu před povodněmi pohlížet pouze jako na technický problém. Od samého počátku jsou OHO připravována jako soubor, který zohledňuje začlenění v území a v sídlech a reflektuje problematiku ochrany životního prostředí.

Pro rozhodování o koncepci OHO byly předloženy varianty větší nádrže, menší nádrže a varianta nulová (pouze posílení varovného systému). Usnesením vlády ČR z r. 2008 byla vybrána varianta menší nádrže. Investiční záměr (IZ) souboru OHO zahrnující tzv. menší nádrž byl zpracován v období let 2008 až 2010 [1] a vláda ČR uložila v 02/2011 pokračovat v přípravě a realizaci OHO dle zpracovaného IZ. Podle harmonogramu v IZ mělo být VDNH uvedeno do provozu do konce r. 2020, termín však byl s ohledem na průběh přípravných prací opakovaně oddalován.

V roce 2008 obec Nové Heřminovy uskutečnila referendum, jehož výsledky zavazovaly vedení obce využít všech zákonných prostředků proti vybudování přehrady. To se naplno projevilo od roku 2010. Následně byly prostřednictvím zkušené právní kanceláře najaté obcí napadány jakékoli úkony v postupu přípravy.

2.2 PROCESY K VYDÁNÍ ÚZEMNÍHO ROZHODNUTÍ

Soubor navazujících prací zahrnující dokumentaci pro územní rozhodnutí (DÚR) [2] a další související činnosti (např. podrobný IGP) byl zajišťován od 08/2015. DÚR byla dokončena v 10/2017 a žádost o vydání rozhodnutí o umístění stavby byla podána v prosinci 2017. Po podání žádosti v prosinci 2017 začala komunikace investora s tehdy příslušným městským úřadem Krnov ohledně vyjasňování pojmů a postupů při umísťování „souboru staveb“, potřeb doplnění podkladů a vlivů novely stavebního zákona z roku 2018. Opakovaně byl stavebník vyzván k úpravám a doplňování projektové dokumentace, a to občas i na samotné hraně zákonných požadavků, kdy i po detailním rozboru nepotřebnosti nezbylo než vyhovět požadavkům úřadu ve snaze posunout řízení dál.

V té době ale už v plné míře probíhaly obstrukce v dílčích krocích přípravy, kdy shodnou argumentaci připravenou právní kancelář pro obec využívalo i Hnutí Duha Jeseníky.

2.3 PODKLADOVÁ ROZHODNUTÍ PRO NAVAZUJÍCÍ ÚZEMNÍ ŘÍZENÍ

Obec Nové Heřminovy neakceptovala Zásady územního rozvoje Moravskoslezského kraje (ZÚR MSK) vydané v prosinci 2010 začleňující OHO v koncepci dle usnesení vlády ČR, naopak napadla je soudně. Obec postupně neuspěla se žalobou na zrušení části ZÚR MSK u Krajského soudu v Ostravě (2014), ani s kasační stížností u Nejvyššího správního soudu (2014) a následně ani u Ústavního soudu (11/2018); soudy potvrdily zákonnost vymezení vodního díla jako stavby ve veřejném zájmu. Zákonná povinnost obce promítnout ZÚR do územního plánu však nikdy nebyla naplněna a argumentace o nesouladu s územním plánem obce byla opakovaně zneužívána.

Postupně byly napadány jakékoli přípravné procesy v samostatných řízeních. Schéma bylo vždy velmi podobné. Nejříve blanketní podání, následně na vyžádání příslušného úřadu doplnění požadavků nebo argumentace, následně obstrukce obsahující těžko splnitelné požadavky na doplňování podkladů a nakonec odvolání proti rozhodnutí zpravidla spojené s obviněním z podjatosti příslušného úřadu, případně i úřadů nadřízených. A čas běží...

Příkladem může být podkladové rozhodnutí o připojení sjezdů a rozhodnutí o zvláštním užívání komunikací v obci Nové Heřminovy, kde pro místní komunikace byla obec příslušným úřadem. Obecní úřad nedokázal oddělit činnost státní správy od požadavků samosprávy obce a zvládl učinit vše, aby potřebná a všemi zákonem vyžadovaná rozhodnutí nebyla vydána. Po dvou letech zdržovacích taktik (teprve v září 2019) vydal negativní rozhodnutí, proti kterým se konečně mohl investor odvolat Krajskému úřadu Moravskoslezského kraje. Ten v lednu roku 2020 vydaná rozhodnutí zrušil pro podjatost a přenesl působnost na silniční správní úřad v Bruntále. Nicméně proti usnesení krajského úřadu se obec Nové Heřminovy blanketně odvolává a současně napadá krajský i bruntálský úřad z podjatosti. Do poloviny roku 2020 pak byla odvolání a podjatost vyřešena Ministerstvem dopravy a v září 2020 byla pověřeným městským úřadem potřebná podkladová rozhodnutí vydána. To však v našem právním systému nepředstavuje konec anabáze. K vydaným rozhodnutím se totiž otevírá účastníkům řízení možnost podat odvolání, což obec Nové Heřminovy využila. Definitivní tečku za vydáním tohoto podkladového rozhodnutí (relativně okrajového, nicméně nutného) učinil v prosinci 2020 krajský úřad.

2.4 PODJATOST ANEB ZPŮSOB, JAK SE ZBAVIT PROBLEMATICKÉHO SPISU

Teprve v březnu roku 2021 městský úřad v Krnově oznámil zahájení územního řízení, které ale bylo námitkami účastníků řízení napadeno otázkou podjatosti nejen krnovského, ale opět i krajského úřadu. Do procesu tak vstoupilo Ministerstvo pro místní rozvoj, které v polovině roku 2021 rozhodlo o nepodjatosti krajského úřadu. Následně krajský úřad poměrně dlouho vyhodnocoval podjatost svého podřízeného úřadu v Krnově (který ale překvapivě, po více jak 3 letech běhu řízení, sám nevyloučil svou podjatost). Až v únoru roku 2022 krajský úřad rozhodl, a to tak, že vydáním územního rozhodnutí pověřil městský úřad v Bruntále. Ještě o čtvrt roku déle trvala anabáze s hledáním nepodjatých úřadů pro možnost vydání či potvrzení námitkami napadených závazných stanovisek. Po celou tuto dobu docházelo k uplynutí doby platnosti řady podkladových stanovisek, vyjádření, smluv, ke změnám v katastru nemovitostí, a to vše si vyžádalo opětovné doplňování a aktualizaci podkladů. Řízení pokračovalo až od října 2022 již v režii bruntálského stavebního úřadu, a to velmi aktivně a konstruktivně. Ovšem opět byly předloženy námitky účastníků řízení a opět byl nově ustanoven příslušný úřad i krajský úřad nařčen z podjatosti. Tentokrát se ale názor Nových Heřminov změnil a v prosinci roku 2022 své námitky obec stáhla. Stavební úřad v Bruntále tak vypořádal námitky Hnutí Duha a připravil znění územního rozhodnutí a tento dokument (o více jak sto stranách) 22.6.2023 vydal.

2.5 PLATNOST ÚZEMNÍHO ROZHODNUTÍ

Reakce odpůrců stavby VD Nové Heřminovy na vydání územního rozhodnutí na sebe nenechaly dlouho čekat. Před uplynutím zákonné lhůty podali odvolání proti územnímu rozhodnutí a všem jeho závazným stanoviskům spolky Hnutí Duha, Děti Země a obec Nové Heřminovy, samozřejmě nejprve blanketně a po výzvě úřadu s doplněním. Spis tak v říjnu 2023 doputoval na krajský úřad, který zahájil přezkumy. Ty však byly vypořádány téměř až po roce, a to v červnu roku 2024. Pozitivním krokem v tomto období bylo alespoň to, že obec Nové Heřminovy své odvolání stáhla.

Než krajský úřad dokončil poslední krok v územním řízení (vyhotovení písemného vypořádání odvolání), nabyla 1.7.2024 účinností ustanovení nového stavebního zákona. Podle něj se změnila příslušnost stavebních úřadů a odvolacím orgánem se stalo Ministerstvo pro místní rozvoj. Po předání spisu, které se neobešlo bez formálních i časově náročných komplikací, se ministerstvo začalo seznamovat s podstatou odvolání, revidovalo provedené přezkumy a 19.12.2024 vydalo rozhodnutí k podaným odvoláním, kterým (s drobnými úpravami) územní rozhodnutí potvrdilo. Územní rozhodnutí nabylo právní moci po uplynutí lhůt pro doručení rozhodnutí všem účastníkům řízení 3.ledna 2025.

Spolek Děti Země se svým podáním žaloby na konci ledna 2025 domáhal soudního zrušení územního rozhodnutí. Krajský soud v Ostravě 6.5.2025 žalobu zamítl.

Zcela zásadní změnu ve vnímání potřebnosti VDNH přinesla katastrofální povodeň v září 2024. V obcích a městech na řece Opavě pod Novými Heřminovými, které byly povodněmi těžce postiženy, lze v současnosti opravdu jen velmi těžko argumentovat, že VDNH není potřebné, když bylo jednoznačně doloženo, jaký by byl přínos vodního díla v případě, pokud by bylo ve funkci [9]. Obstrukce, které probíhaly nedosáhly jediné změny koncepce nebo obsahu staveb. Způsobily pouze zpoždění a zaměstnávaly po několik roků desítky úředníků, projektantů, pracovníků investora a specialistů.

2.6 STAVEBNÍ ŘÍZENÍ

Dokumentace ke stavebnímu povolení [3] byla po technické stránce dokončena v září 2023, její projednávání však zbrzdily průtahy v územním řízení.

S novým stavebním zákonem skončila éra víceetapových povolování staveb. Stavební zákon uvádí v přechodných ustanoveních, jak přistupovat k již vydanému územnímu rozhodnutí, které již zahrnuje řadu úkonů, které by nově byly součástí řízení o povolení záměru. Teoreticky by tak úřad ve stavebním řízení nemusel řadu již vypořádaných náležitostí řešit, ovšem v praktické rovině se otvírají otázky, jak vypořádat nastalé změny v území, změny katastrálního operátu, majetkoprávní situace a platnost podkladů, na základě kterých byla předešlá rozhodnutí činěna i změny právního rámce pro tato rozhodnutí a stanoviska. Současně v konkrétním případě VDNH vyvstávají otázky ke koordinaci a vzájemné podmíněnosti souvisejících staveb, protože v prostoru VD se koncentruje řada stavebních záměrů, které jsou propojeny z pohledu funkčních návazností, časových vazeb i příslušností k různým investorům a projednávají se v samostatných řízeních.

Stavebník podal v září 2025 žádost o povolení záměru stavby VDNH.

Samostatnou kapitolou by si zasluhoval rozbor procesů na úseku životního prostředí, které jsou v současnosti koncentrovány do jednotného environmentálního stanoviska (JES), přičemž úsekové zákony a jejich prováděcí předpisy vycházejí z předchozího stavu nebo jsou v průběhu stavebního řízení i měněny. Tak došlo například k situaci, že JES pro VDNH bylo vydáno, po změně zákona o lesích zpětně zrušeno a s novými podklady znovu projednáváno a vydáváno.

Obtížné se vypořádává jakýkoli vývoj v projekčním řešení ve vyšší úrovni dokumentace, a to na úrovni detailů, které nemají a nemohou mít žádný vliv na umístění jednotlivých staveb a dotčení zájmů jiných subjektů. Během třetího čtvrtletí roku dvakrát proběhla výzva k doplnění dokumentace a podkladů. S vědomím předchozích obstrukcí probíhá stavební řízení v atmosféře obav, že cokoli může být použito jako formální důvod k námitkám a odvolání.

Budeme ale optimisté, musíme. Věříme, že povolení záměru bude úspěšně vydáno a klíčové stavby v prostoru VDNH budou v roce 2027 zahájeny. V rámci pokračující přípravy byla pro VDNH v 02/2026 dokončena dokumentace pro provádění stavby.

3. VYUŽITÍ METODY BIM

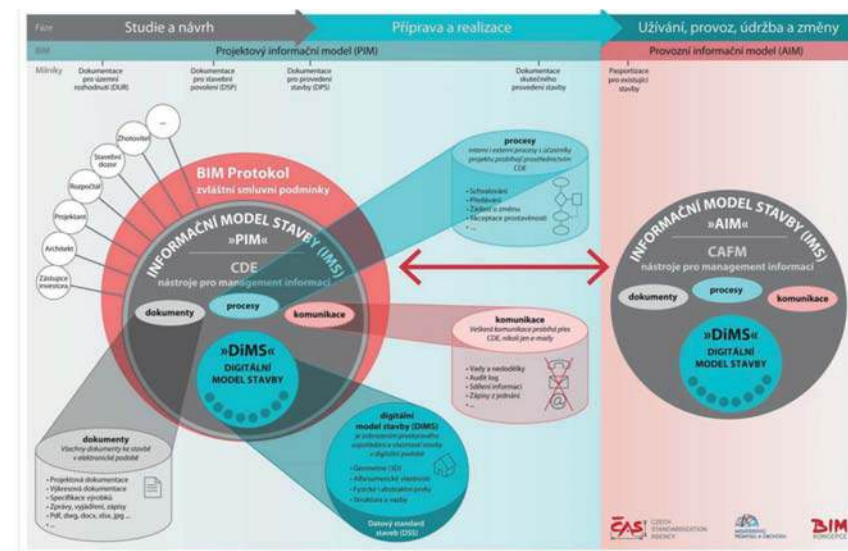
3.1 CO JE BIM

Zkratka BIM se používá od roku 2002. Prvotně se jednalo o Building Information Modeling (Informační modelování staveb), kdy byla metoda BIM vázaná převážně na projekční fázi stavby. Později došlo k rozšíření na Building Information Management (Správa informací o stavbě), kdy tato metoda již obsahovala kompletní informace od prvotního stavebního záměru, přes výstavbu, správu a provoz až po ukončení jeho životnosti.

BIM je tedy proces založený na vytvoření informačního modelu stavby, který zahrnuje kompletní tvorbu a správu digitálních dat o stavbě (případně zařízení) během jejího celého

„životního cyklu“. Nejedná se pouze o vytvoření 3D modelu stavby, ale o vytvoření komplexní informační databáze propojující grafická a negrafická data, a ve které jsou veškeré informace požadovaným způsobem vzájemně provázány.

Do tohoto procesu mohou vstupovat všechny zainteresované strany, a to investor, projektant a architekt, statik, rozpočtář, následně zhotovitel a správce stavby i uživatel stavby. Spolupráce všech zainteresovaných stran je založena na jednotném způsobu sdílení informací. Veškeré dokumenty, záznamy, sdělení atp. by měly být uloženy ve sjednoceném virtuálním prostoru - na společném datovém prostředí (Common Data Environment - CDE).



Obrázek 1: Znázornění prvků, procesů a vazeb mezi jednotlivými částmi metody BIM dle [10]

3.2 METODA BIM PRO STAVEBNÍ ZÁMĚR VDNH

Návrh VDNH Nové Heřminovy byl ve stupni dokumentace pro vydání stavebního povolení (DSP) a dokumentace pro provádění stavby (DPS) zadán jako BIM projekt. Předpoklady byly vytvořeny již v etapě zpracování podkladů pro DÚR (měřičské podklady, prostorová interpretace geologických poměrů aj.). Požadavky investora stavby na zpracování projektové dokumentace s využitím metody BIM byly stanoveny v BIM protokolu, který vymezuje aplikaci metody BIM v projektu. Jeho cílem je definovat informační potřeby zadavatele a požadavky na nastavení souvisejících procesů, jak mají být data a požadované informace strukturovány, jak má probíhat jejich předávání a ověřování atp. Zjednodušeně se jedná o soupis pravidel pro tvorbu, předání a užívání informačního modelu stavby.

Pro projekční přípravu byl zpracován BEP - BIM Execution Plan (Plán realizace BIM), což je klíčový dokument, který definuje, jak se bude metoda BIM na konkrétním projektu používat. BEP je konkrétní manuál pro daný stavební záměr definující např. role a odpovědnosti všech účastníků, standardy a software, které mají být použity, podrobnosti a strukturování modelů, společné datové prostředí a formáty, které budou předávány apod.

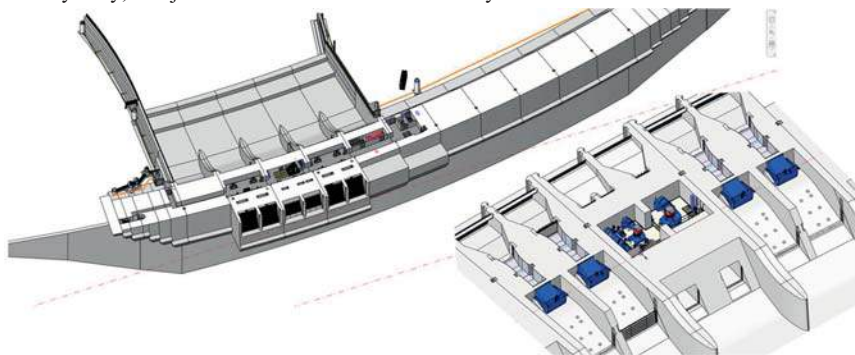
3.3 VYUŽITÍ 3D NÁSTROJŮ

Již v rámci DÚR byly využívány nástroje pro 3D modelování, a to i přes to, že tento projekt byl zadán podle zvyklostí v té době používaných.

V rámci zpracování DSP a DPS byly využity zejména programy Autodesk Revit, Autodesk Civil 3D a další nástroje od společnosti ARKANCE, a to T4R, Smart Browser, Civil Tools a BIM Feeder. S ohledem na rozsáhlost tohoto projektu se na projekčních pracích podíleli také subdodavatelé, kteří využívali i jiné softwary, a to Allplan, Autodesk Advance Steel aj. Modely zpracovávány různými nástroji byly poté propojeny do celkového koordinačního modelu, který byl postaven na platformě BIM 360 od společnosti Autodesk, a to v sekci Model Coordination.

3.3.1 Autodesk Revit

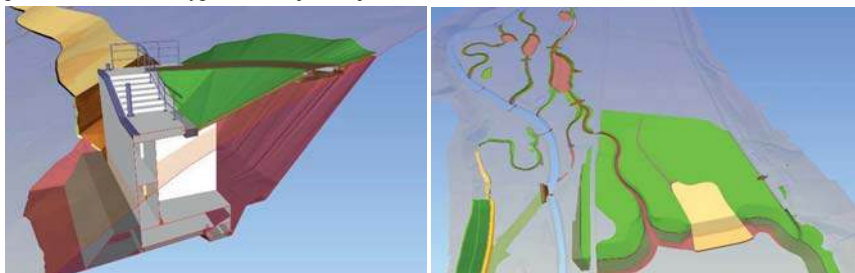
Autodesk Revit je v rámci BIM projektu využíván pro převážnou část staveb majících charakter lokální stavby, jako jsou betonové nebo ocelové konstrukce, pozemní stavby, mosty, propustky. Výhodou tohoto nástroje je obousměrná asociativita, tzn. že změna v kterémkoliv místě projektu se automaticky projeví do všech zbývajících částí. Z vytvořených modelů lze vytvářet i 2D výkresy, a to jako standardní dokumentaci stavby.



Obrázek 2: Betonové konstrukce a vnitřní prostory hráze VDNH modelované nástrojem Autodesk Revit, dle [4]

3.3.2 Autodesk Civil 3D

Autodesk Civil 3D je v rámci BIM projektu využíván pro tvorbu modelů terénních úprav, zemních prací, liniových a infrastrukturních staveb (silnic, železnic, inženýrských sítí aj.). I tento program rovněž pracuje na principu dynamického modelu, tzn. že po jakémkoliv změně návrhu dojde k automatické aktualizaci v definovaných pohledech, výkresech, podélných profilech, řezech a výpočtech objemů aj.



Obrázek 3 a 4: Terénní úpravy modelované v Autodesk Civil 3D [4]

3.4 INFORMAČNÍ MODEL VD NOVÉ HEŘMINOVY

Informační část BIM modelu byla zpracována na základě datového standardu stavby (DSS), který v maximální míře používal parametry s vazbou na geometrii modelu. V rámci DSP byly popsány základní parametry, v rámci DPS pak byl model doplněn o podrobnější specifikaci. Použitý DSS byl kompletně zpracován společností AQUATIS. Pro naplnění modelů zpracovaných v programu Autodesk Civil 3D byla využita aplikace BIM Feeder. Při přípravě modelu pro naplnění je nesmírně důležitá správná formální struktura modelu (pojmenování prvků dle DSS, hladin a předpon ...), které umožňuje jednoduchou identifikaci a filtrování prvků modelu. Formální jednoznačnost je nejkritičtější ve složitých modelech s více stavebními objekty a více subdodavateli a při doplňování dalších prvků do již naplněného modelu.

3.5 FÁZE DOKUMENTACE PRO VYDÁNÍ STAVEBNÍHO POVOLENÍ

Informační model stavby VDNH vytvořený v rámci DSP zahrnuje celkem 185 stavebních objektů (nebo podobjektů). Tyto objekty byly zpracovány v rámci 25 dílčích modelů Autodesk Revit a 44 modelů Autodesk Civil 3D. Na závěr vznikl jeden celkový koordinační model stavby, který sloužil zejména pro vzájemnou koordinaci dílčích modelů, pro detekci kolizí a pro zobrazení stavby jako celku.

Aktuálně nastavené procesy stavebního řízení nevyžadují ani neumožňují přímé využití zpracovaných informačních modelů a veškeré úkony jsou prováděny s využitím 2D dokumentace, jež musí vyhovovat skladbě nynějších právních předpisů.

3.6 DOKUMENTACE PRO PROVÁDĚNÍ STAVBY

V DPS zahrnoval informační model stavby VDNH 188 stavebních objektů (nebo podobjektů). Tyto stavební objekty byly zpracovány v rámci 46 dílčích modelů Autodesk Revit a 55 modelů Autodesk Civil 3D. Na závěr prací opět vznikl jeden celkový koordinační model stavby.

Ani v DPS informační model stavby není jediným a hlavním výstupem projekční činnosti. Prováděcí předpisy stavebního zákona dosud stanovují požadavky na dokumentaci vycházející z analogie s tištěnou dokumentací. Není však pochyb o tom, že zpracovaný model lze využívat v procesu výstavby a že takto bude používán. Současně má být ve standardu BIM pořízena i dokumentace skutečného provedení.



Obrázek 5: Pohled na část koordinačního modelu stavby v prostoru hráze vodního díla dle [4]

3.7 PŘEDÁVÁNÍ DAT INVESTOROVÍ

Na závěr dílčích etap prací byla investorovi pro každý stupeň dokumentace předána kompletní 2D projektová dokumentace stavby vč. zpracovaných 3D modelů se všemi informacemi a nastaveními. Modely a související dokumentace však byly investorovi k dispozici i v průběhu projekčních prací. Modely byly předány v nativních formátech nástrojů pro tvorbu informačního modelu (*.dwg, *.rvt) a ve výměnném formátu IFC (IFC4). Pro předávání dat, koordinaci a revize bylo využito společné datové prostředí Autodesk CDE – BIM 360, sekce Document Management.

3.8 DALŠÍ VÝVOJ A ZÁKON O BIM

Dne 1.1.2027 vejde v účinnost zákon č. 330/2025 Sb., zákon o správě informací o stavbě a vystaveném prostředí a o změně některých dalších zákonů, zkráceně „Zákon o BIM“. Proklamativně se uvádí, že tento předpis má tvořit jeden ze zásadních milníků v procesu digitalizace českého stavebnictví a správy veřejného majetku.

Podle České agentury pro standardizaci viz [10] je primárním cílem tohoto zákona zavedení a standardizace metodiky informačního modelování staveb a managementu informací o stavbách jako klíčového nástroje pro efektivnější, transparentnější a udržitelnější nakládání se stavbami v průběhu jejich celého životního cyklu u nadlimitních veřejných zakázek. Povinnost pořizování a udržování informačního modelu stavby je tedy dána pořizovací cenou nebo předpokládanou hodnotou přesahující finanční limit pro nadlimitní veřejnou zakázku pro stavební práce.

Se znalostí dosavadního průběhu digitalizace stavebních řízení zde lze doporučit spíše opatrný přístup, který by měl být založen na přípravě schopností k využití metody BIM jak technicky, tak personálně.

3.9 PŘÍNOSY, ZAJÍMAVOSTI A SHRUTÍ K NASAZENÍ METODY BIM

Zpracováním projektu VDNH s využitím metody BIM získali investor i projektant řadu cenných zkušeností, některé je vhodné alespoň zmínit:

- Nejpodstatnějším přínosem 3D přístupu je bezesporu lepší kontrola a koordinace návrhu jednotlivých stavebních objektů a zařízení v celém rozsahu stavby, a to včetně včasného odhalení možných kolizí.
- Metoda BIM přináší dodatečné požadavky na kvalifikaci zainteresovaných osob na straně investora i projektanta. Bez získání potřebných dovedností nemá nasazení metody BIM smysl.
- Při využití metody BIM je třeba počítat s podstatně větší pracností při tvorbě návrhu a z něj vycházející dokumentace.
- Metoda BIM vyžaduje definování a striktní dodržování pravidel (v návrhu např. dodržování DSS) a dodržování stanovených postupů v procesech projednávání, předávání dat a ověřování dokumentace.
- Je třeba zajistit správu využívaného CDE, zajistit bezpečnost dat a správu přístupových práv.
- Míra využití možností metody BIM by měla být dohodnuta v úvodu prací. Zpracovaný BEP je v případě změn třeba udržovat aktuální a na nastalé změny reagovat i při správě CDE.
- Využití 3D informačního modelu v procesu povolování stavby není v současnosti žádné. Informačním modelem nelze aktuálně nahradit žádnou standardní dokumentaci dle příslušných předpisů a úřady ani další účastníci procesu povolování staveb nejsou personálně ani technicky připraveni informační modely využívat. To neznamená, že ve stupni DSP by neměl být zpracováván informační model stavby, vložené úsilí při jeho zpracování se však zúročí jen při projednávání návrhů a následně až v DPS.

- Současné projekční nástroje pro návrh jen obtížně implementují požadavky na zpracování tradiční 2D dokumentace podle dosavadních zvyklostí.
- Pro tvorbu vlastních šablon v programu Autodesk Civil 3D se ukázalo jako výhodné použít aplikaci Subassembly Composer (SAC), která výrazně usnadnila generování 3D prvků pro naplnění modelu.
- Velkým přínosem je využití zpracovaných 3D modelů pro související činnosti, jako např. zpracování vizualizací, podkladů pro statická posouzení či pro návrhy vyztužování betonových konstrukcí.
- Vzhledem k vysoce individuálním technickým návrhům vodohospodářských staveb je obtížné až nemožné aplikovat ve větším rozsahu obecně používané DSS.
- V některých případech atypických konstrukcí se používané konstrukční nástroje ocitají za hranicí svých možností. Příkladem je problematické modelování, spojování a ořezávání prvků v oblouku (nebo obecně v zakřivení) nebo odlišné (i nekompatibilní) vytváření povrchů v různých nástrojích (při koordinaci jednotlivých modelů mezi Autodesk Revit, Autodesk Civil 3D, Allplan, Autodesk Advance Steel vč. následné problematiky řešení kolizí) apod.
- Velkým přínosem je možnost jednoznačné specifikace prací a objemů. Při formálně správném řešení jsou finální výměry nejen stanoveny velmi přesně, ale v případě změn se automaticky přepočítávají.
- Postup nasazení metody BIM je třeba připravit tak, aby její využití nekončilo projekční přípravou, ale přešlo i do realizační fáze vč. zdokumentování skutečného provedení a přípravy pro budoucí využití v provozu VD.

4. DALŠÍ POSTUP PŘÍPRAVY A REALIZACE VDNH

V letošním roce (2026) lze předpokládat dokončení kompletního majetkoprávního vypořádání vč. uzavření všech vyvlastňovacích procesů. Lze předpokládat, že v průběhu roku 2026 bude vydáno povolení záměru pro tuto stavbu. V následujícím roce 2027 se uskuteční výběrové řízení na zhotovitele stavby vč. následného podpisu smlouvy o zhotovení a předání staveniště. Přípravné práce, které již započaly v minulých letech demolice objektů, které byly v kolizi s navrhovaným vodním dílem, budou pokračovat až do roku 2028 včetně. Hlavní stavební práce na přehradní hrázi se pak předpokládají v letech 2029 – 2032. Poté bude zahájeno zkušební napouštění, resp. zkušební provoz, s následným provedením dokončovacích prací (výsadba doprovodné vegetace, finální terénní úpravy, aj.), které by měly být dokončeny v roce 2033. Ve stejném roce by pak mělo být VD uvedeno do běžného provozu vč. zapojení do vodohospodářské soustavy státního podniku Povodí Odry.

5. ZÁVĚR

První část příspěvku popisuje projednávání a povolování stavby VDNH, které se z popsanych důvodů staly výzvou jak pro projektanta, který zajišťoval i inženýrskou činnost, tak i pro investora stavby a dovolíme si tvrdit, že i pro řadu pracovníků úřadů a správních orgánů. Je zjevné, že současné právní prostředí je mimořádně komplikované a situaci nemůže změnit jen přesouvání kompetencí v řízeních. Pro zlepšení situace je nutné výrazně zjednodušit všechny procesy, které jsou s povolováním staveb spojené, což je pochopitelně zjevné hlavně u takto rozsáhlých a komplikovaných záměrů. Je to i zkušenost vyplývající z dosavadních změn stavebního zákona, zavedení zákona o JES apod. Zpracování takto rozsáhlého projektu s využitím metody BIM bylo z pohledu projekčního, technického i koordinačního velkou výzvou. Vytvořený informační model však bude při správném využití do budoucna přínosný, a to nejen v období přípravy a samotné realizace stavby, ale i po dobu jejího užívání.

Přestože je realizace vodního díla Nové Heřminovy v dané koncepci připravována již od roku 2008 a postup jak projekčních prací, tak projednávání stavby byl mimořádně obtížný, pevně věříme, že již v době konání Přehradních dnů 2026 bude možné podat další povzbudivé zprávy týkající se vydání povolení tohoto stavebního záměru.

PODĚKOVÁNÍ

Autoři článku děkují všem, kdo jakýmkoliv způsobem přispěli nebo přispívají k pozitivnímu vývoji směřujícímu k realizaci této významné stavby, ať už z řad pracovníků projektanta, společnosti AQUATIS nebo pracovníků státního podniku Povodí Odry, subdodavatelům, expertům a spolupracujícím odborným subjektům i pracovníkům orgánů státní správy.

LITERATURA

- [1] Pöyry Environment, a.s.: Opatření na horní Opavě, příprava akce v období 2008 – 2010, Investiční záměr, N.13 Souhrnná zpráva investičního záměru, Brno 11/2009
- [2] AQUATIS a.s.: VD Nové Heřminovy, OHO. Dokumentace k žádosti o vydání rozhodnutí o umístění stavby. Říjen 2017
- [3] AQUATIS a.s.: VD Nové Heřminovy. Dokumentace k žádosti o vydání stavebního povolení, AQUATIS a.s., Brno, 09/2023
- [4] AQUATIS a.s.: VD Nové Heřminovy. Dokumentace pro provádění stavby, Brno, 02/2026
- [5] J. ŠVANCARA et al.: Opatření na horní Opavě - přírodě blízká opatření. Webová prezentace <https://www.pod.cz/OhO>
- [6] B. TUREČEK: Vodní nádrž Nové Heřminovy na řece Opavě. Sborník konference XXXVIII. přehradné dni 2024, Horný Smokovec.
- [7] B. TUREČEK: Soubor protipovodňových opatření ke zmírnění povodňových škod na horní Opavě s vodní nádrží Nové Heřminovy. Kapka - zpravodaj státního podniku Povodí Odry 1/2025, s. 19-29. (<https://www.pod.cz/stranka/podnikovy-casopis.html>)
- [8] J. KONEČNÝ: Vodní dílo Nové Heřminovy – Proč trvalo územní řízení tak dlouho? Kapka - zpravodaj státního podniku Povodí Odry 1/2025, s. 30-31. (<https://www.pod.cz/stranka/podnikovy-casopis.html>)
- [9] Vyhodnocení povodně v září 2024, Závěrečná zpráva, září 2025 (<https://mmr.gov.cz/cs/ministerstvo/povodne-2024/aktuality-povodne-2024/chmu-zprava-chmu-o-vyhodnoceni-povodne-v>)
- [10] Česká agentura pro standardizaci, www.agenturacas.gov.cz

Ing. Lucie Salingerová

AQUATIS a.s., Botanická 834/56, Brno 602 00, Česká republika
lucie.salingerova@aquatis.cz

Ing. Jiří Švancara

AQUATIS a.s., Botanická 834/56, Brno 602 00, Česká republika
jiri.svancara@aquatis.cz

Ing. Jiří Konečný

Povodí Odry, státní podnik, Varenská 3101/49, Ostrava 702 00, Česká republika
jiri.konecny@pod.cz

30. LET VÝVOJE AUTOMATICKÉHO MĚŘENÍ TBD

J. Staš & T. Skokan

Povodí Odry, státní podnik, Ostrava, Česká republika

ABSTRAKT: Povodí Odry, státní podnik je správcem významných vodních děl na území povodí Odry, na nichž v souladu se zákonem č. 254/2001 Sb. provádí pravidelná měření technickobezpečnostního dohledu (TBD) [1,2]. První automatická měření se na vodních dílech začala objevovat již v roce 1996. Tato technologie umožnila pracovníkům TBD provádět podrobnější analýzy chování přehrad a získávat přesnější a kontinuální data o jejich stavu. Původně vznikající otevřený systém prošel během uplynulých třiceti let řadou změn a rozšíření. V současnosti zahrnuje stovky měřicích míst a integruje data z různých typů měření i od různých výrobců technologií. Při budování systému bylo nezbytné vyvážit technické požadavky s jeho ekonomickou efektivitou. S rostoucími nároky na přenos a zpracování dat docházelo k postupným modernizacím – zejména k nasazení nových ústředí a rychlejších přenosových tras. V současné době je celý systém, včetně vizualizace měření a možnosti nastavování alarmů, provozován v systému VARS, který pracovníky TBD automaticky upozorňuje na dosažení stanovených limitních hodnot.

1. ÚVOD

Bezpečnost vodních děl představuje klíčovou oblast vodního hospodářství, protože jejich selhání může mít závažné následky pro obyvatelstvo, infrastrukturu i životní prostředí. Technickobezpečnostní dohled vznikl jako systematický nástroj pro sledování chování hrází, jejich podloží a okolního geologického prostředí. Jeho vývoj úzce souvisí s rozvojem geotechniky, hydrologie, měřicí techniky a výpočetních metod [6,9].

2. POČÁTKY MONITORINGU VODNÍCH DĚL

V první polovině 20. století byl dohled nad vodními díly založen především na pravidelných vizuálních prohlídkách, geodetických měřeních a jednoduchých měřicích prvcích (např. drény, měření průsaků). Tento přístup byl silně závislý na zkušenostech obsluhy a pravidelných kontrol. Postupně se ukázalo, že tyto metody nejsou dostatečné pro zachycení pomalých deformací a skrytých geotechnických procesů, což vedlo k rozvoji instrumentace a systematického měření [9].

V období 50.–70. let dochází k zavádění specializovaných měřicích přístrojů, zejména piezometrů, inklinometrů a extenzometrů, které umožnily detailnější sledování pórových tlaků, deformací a stability konstrukcí.

V 70. letech byl v Československu významným krokem rozvoj metodik státního dohledu nad vodními díly, který byl postupně legislativně ukotven. Podobné regulační systémy vznikaly v té době i v dalších zemích, zejména v USA a západní Evropě. Současný právní rámec v České republice je definován zejména [1,2]:

- Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách (vodní zákon)
- vyhláškou č. 471/2001 Sb., která stanovuje technickobezpečnostní dohled nad vodními díly

3. VLIV HAVÁRIÍ PŘEHRAD NA VÝVOJ TBD

Historie monitoringu vodních děl je silně ovlivněna velkými haváriemi přehrad, které ukázaly limity tehdejších kontrolních metod a vedly ke zpřísnění bezpečnostních standardů, zavádění nových měřících technologií i rozvoji numerického modelování [3,4,6].

V Evropě měla velký vliv havárie Malpasset (Francie, 1959) [3], kde došlo k destrukci betonové přehrad v důsledku geologické nestability podloží. Tato událost vedla k výraznému zpřísnění geologického průzkumu a ke vzniku detailních geotechnických modelů založených na dlouhodobém sledování deformací a průsaků.

Další významnou událostí byla například havárie přehrad Vajont (Itálie, 1963) [6], která nebyla způsobena samotnou hrází, ale obrovským sesuvem do nádrže. Ten vyvolal extrémní přepadovou vlnu, která překonala korunu hráze. Tato tragédie, při níž zahynulo téměř 2000 lidí, zásadně změnila pohled na interakci mezi přehradou a okolním geologickým prostředím. Po této události se začal systematicky rozvíjet monitoring stability svahů v okolí nádrží a vznikly první komplexní modely sesuvů [6].

Tyto události společně vedly k tomu, že se ve druhé polovině 20. století začal měnit přístup od „statické kontroly“ k „dynamickému monitoringu“ a postupně jsou poznatky integrovány do komplexních systémů, které kombinují reálná měření, numerické simulace, modely zvláštních povodní a prediktivní algoritmy [3,4,6].

4. AUTOMATIZACE MONITORINGU V 90. LETECH

V Evropě Skutečný technologický posun nastal v 90. letech, kdy se rozšířila elektronika, a začaly vznikat první automatické monitorovací systémy. Ve světě se začaly prosazovat datalogery, dálkový přenos dat a první digitální senzory. V České republice se tento trend projevil například na vodním díle Slezská Harta, kde bylo zahájení sypání tělesa hráze ke konci 90. let postupně instalovány systémy Maihak pro měření pórových a totálních tlaků v tělese hráze. V průběhu stavby došlo v roce 1996 k celkovému přehodnocení a modernizaci systému TBD. V širším okolí hráze se začali používat lokální datalogery se strunovými čidly DL-2 a později LC-1, které v pravidelných intervalech měřily hladinu a teplotu vody ve vrtu. Data z nich pak sbírala obsluha díla připojením na místě pomocí výpočetní techniky. Podobné technologie se začaly používat i na ostatních hrázích ve správě státního podniku Povodí Odry. Úplně první systematické rozšíření a automatizovaný systém TBD vznikl v roce 1994 na přehradě Morávka. Jednalo se o doplnění celkem 14 venkovních pozorovacích vrtů, do kterých byly instalovány automatické snímače tlaku a teploty vody s lokálními datalogery, které měly umožnit sledovat předpokládanou dynamiku kolísání hladiny podzemní vody v závislosti na srážkách. Záznam s ohledem na kapacitu paměti zařízení umožnil sledovat úroveň hladiny ve 4hodinových intervalech. Předchozí záznam probíhal s četností 1 x týdně. Jaký význam měla tato modernizace se ukázalo při vyhodnocení poruchy návodního asfaltobetonového pláště, kterou způsobila voda infiltrující ze zavázání hráze do jejího podloží v roce 1996.



Obrázek 1: Datalogger LC-1

Na přelomu tisíciletí došlo k výrazné digitalizaci. Ve světě začaly vznikat centralizované monitorovací systémy, SCADA platformy a první integrované geotechnické databáze [3,4]. Velký význam začalo mít také propojení monitoringu s hydrologickými a klimatickými modely. Vznikaly první simulace tzv. zvláštních povodní, tedy scénářů, které modelují poruchu nebo protřžení hráze a následné šíření povodňové vlny.

Ve světě se k tomu využívají například modely HEC-RAS nebo MIKE, které umožňují detailní simulaci zaplavení území a výpočet doby příchodu povodňové vlny do jednotlivých lokalit.

Od roku 2010 se monitoring posunul do fáze pokročilých monitorovacích systémů. Ve světě i v ČR se začaly používat inteligentní senzory, cloudová úložiště a automatické analytické nástroje. Data jsou vyhodnocována v reálném čase a systémy dokáží samy detekovat anomálie nebo překročení bezpečnostních limitů.

Povodí Odry, státní podnik, dnes využívá komplexní systém VARS, který zahrnuje požadavky VH dispečinku a technickobezpečnostního dohledu. Zabezpečuje exporty dat pověřené osobě, přebírá data z jiných systémů, například z Českého hydrometeorologického ústavu, a umožňuje nastavení jednotlivých typů alarmů pro včasná varování obsluhy. Součástí systému jsou prognózní a bilanční funkce i exporty dat externím uživatelům. V rámci systému TBD se provádějí měření a pozorování, která slouží k posuzování bezpečnosti vodních děl ve správě Povodí Odry. Monitoring TBD sleduje vodní díla Baška, Slezská Harta, Šance, Morávka, Těrlicko, Žermanice, Olešná, Kružberk, všechny malé vodní nádrže ve správě Povodí Odry, státní podnik a svázné území Řečica v nádrži vodního díla Šance.

Pro zajištění dostatečného množství informací pro posuzování bezpečnosti jsou kromě vizuálních kontrol realizována dlouhodobá i krátkodobá měření. Systém automaticky informuje pověřené pracovníky prostřednictvím alarmů nebo SMS zpráv a současně vizualizuje data pomocí webové aplikace. Jednotlivá měření jsou interpretována formou grafů a přehledů.

Současný vývoj monitorovacích systémů je silně globalizovaný a je ovlivňován několika klíčovými technologickými společnostmi. Významnými výrobci senzorů a monitorovacích technologií jsou například Geokon, Sisgeo nebo RST Instruments, které dodávají komplexní monitorovací systémy včetně datalogerů a online platformem.

Moderní systémy již nejsou pouze souborem jednotlivých čidel, ale tvoří integrované digitální platformy, které kombinují geotechnická měření v reálném čase, satelitní radarovou interferometrii, numerické modely stability, hydrologické a klimatické simulace.

Dále se rozvíjí numerické modelování jako je metoda konečných prvků (FEM) [5] pro stabilitu konstrukcí, modely proudění v porézním prostředí, simulace porušení hrází a šíření povodňových vln (tzv. zvláštní povodně). Tyto modely umožňují stanovení doby příchodu povodňové vlny, rozsahu zaplavení a identifikaci ohrožených oblastí.

V současnosti se začínají rozvíjet koncepty digitálních dvojčat přehrad, která umožňují simulovat chování konstrukce v různých scénářích zatížení, včetně extrémních povodní. Tím se propojuje fyzický svět měření s virtuálními modely a umožňuje to výrazně přesnější predikci rizik.

Vývoj technickobezpečnostního dohledu je dnes silně mezinárodně propojen, zkušenosti z České republiky, Evropy i světa se vzájemně doplňují a vedou k vyšší bezpečnosti vodních děl a lepšímu porozumění jejich dlouhodobému chování. Moderní TBD se tak posouvá od pouhého sběru dat k jejich predikční analýze a včasné identifikaci rizik.



Obrázek 2: Vizualizace grafické zobrazení

5. ZÁVĚR

Vývoj technickobezpečnostního dohledu vodních děl představuje postupný přechod od empirického pozorování k datově řízeným a modelovým systémům. Klíčovou roli v tomto procesu sehrály historické havárie přehrad, které odhalily limity tehdejších metod a urychlily rozvoj geotechniky i monitorovacích technologií [3-6].

Současné systémy integrují měření, numerické modely a dálkový průzkum Země a směřují k prediktivnímu řízení bezpečnosti vodních děl s využitím principů digitálních dvojčat.

LITERATURA

- [1] Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon). Česká republika.
- [2] Vyhláška č. 471/2001 Sb., o technickobezpečnostním dohledu nad vodními díly. Ministerstvo zemědělství České republiky.
- [3] ICOLD. Bulletin on Dam Safety Management: Operational Phase of the Dam Life Cycle. Paris: International Commission on Large Dams (ICOLD).
- [4] ICOLD. Dam Surveillance Guide. Paris: International Commission on Large Dams
- [5] FELL, R.; MACGREGOR, P.; STAPLEDON, D.; BELL, G. *Geotechnical Engineering of Dams*.
- [6] KREJČÍ, O.; BAROŇ, I.; HUBATKA, F. *Sesuvná území České republiky*. Praha: Česká geologická služba.

Ing. Jan Staš, Ph.D.
jan.stas@pod.cz

Ing. Tomáš Skokan
tomas.skokan@pod.cz

Povodí Odry, státní podnik, Ostrava, Česká republika

VYUŽITÍ PODVODNÍHO DRONU PŘI INSPEKCI TRVALE ZATOPENÝCH ČÁSTÍ VODNÍCH DĚL V ÚZEMNÍ PŮSOBNOSTI STÁTNÍHO PODNIKU POVODÍ LABE

P. Svatoš

Povodí Labe, státní podnik, Hradec Králové, Česká republika

ABSTRAKT: Příspěvek se zabývá praktickým využitím moderní podvodní techniky – tzv. podvodního dronu – při inspekci trvale zatopených částí vodních děl. Dron je od počátku roku 2025 nasazován jak pro průzkum stavebních částí vodních děl (zdi, pilířů, prahů, dlažeb atp.), tak pro inspekci jejich strojně-technologických prvků (např. uzávěry, ovládací táhla, těsnění, vodící prvky nebo česle). Na několika případových studiích je prezentováno použití podvodního dronu jako moderního nástroje technickobezpečnostního dohledu, s důrazem na dokumentaci stavu konstrukcí, identifikaci poruch a zajištění průběžného monitoringu obtížně přístupných částí vodních děl. Součástí příspěvku je rovněž srovnání výsledků dosažených pomocí dronu s daty získanými při tradičních potápěčských průzkumech. Hodnocení se zaměřuje na kvalitu a rozsah získaných informací, časové a finanční porovnání obou metod a rovněž i na bezpečnostní aspekty provádění průzkumu. Závěrem jsou nastíněny limity současných komerčně dostupných podvodních dronů a jejich očekávaný další technický rozvoj s ohledem na specifické potřeby správce vodních staveb.

1. ÚVOD

Technickobezpečnostní dohled (dále „TBD“) nad vodními díly (dále „VD“) je klíčovým nástrojem zajištění jejich spolehlivého a bezpečného provozu. Součástí tohoto procesu je i pravidelná kontrola stavebních a technologických částí včetně těch, které jsou trvale ponořeny pod vodní hladinou. Tradiční přístup k inspekci zatopených konstrukcí byl dlouhodobě založen na využití potápěčů, což s sebou nese nejen vysoké náklady a logistickou náročnost, ale i bezpečnostní rizika. S nástupem moderní robotické techniky se otevírají nové možnosti – jednou z nich je využití tzv. podvodních dronů. Tyto dálkově ovládané prostředky (ROV – remotely operated vehicle) umožňují efektivní, rychlé a relativně levné provádění vizuálních inspekci bez nutnosti přímého zapojení potápěče.

Tento příspěvek se věnuje praktickému nasazení podvodního dronu Chasing M2 S v rámci TBD prováděného pracovníky Povodí Labe, státní podnik. Dron je od počátku roku 2025 testován na různých typech VD a jeho nasazení je součástí snahy o modernizaci kontrolních metod, zvýšení efektivity a snížení rizik pro pracovníky v terénu.

2. POUŽITÁ TECHNIKA A METODIKA INSPEKCE

Podvodní dron Chasing M2 S představuje kompaktní a vysoce mobilní platformu určenou pro vizuální kontrolu podvodních částí konstrukcí. Zařízení je vybaveno:

- vysokokapacitní kamerou s možností záznamu a živého náhledu,
- silným LED osvětlením pro práci v podmínkách snížené viditelnosti,
- dvěma laserovými body s fixní roztečí 10 cm pro přibližný odhad rozměrů pozorovaných objektů,
- možností manévrování ve všech šesti osách.

Podvodní dron je ovládán pomocí kabelem propojeného dálkového ovladače a přenáší obraz v reálném čase do kontrolní jednotky (ovládání přímo od výrobce CHASING, tablet či notebook). Záznamy z průzkumů jsou archivovány a dále vyhodnocovány jako součást dokumentace TBD či běžných provozních kontrol.



Obrázek 1: Podvodní dron Chasing M2 S

2.1 ROZSAH A TYPY PROVEDENÝCH PRACÍ

Od začátku roku 2025 bylo pomocí dronu Chasing M2 S realizováno přibližně 20 inspekcí na různých VD v rámci působnosti Povodí Labe, státní podnik. Kontroly byly prováděny na přehradách, jezových objektech, zdymadlech a plavebních komorách. Inspekce se zaměřují jak na stavební části:

- zdivo a jeho spárování,
- betonové konstrukce,
- dlažby,
- pilíře,
- nosné prvky,

tak na strojně-technologické komponenty, mezi něž patří zejména:

- uzávěry spodních výpustí, hradicí konstrukce jezů,
- česle nátoků,
- táhla a ovládací mechanismy,
- vodárenské odběry,
- těsnicí a vodící prvky.

2.2 TYPICKÉ PŘÍPADY POUŽITÍ

Podvodní dron byl pořízen zejména pro účely inspekce sektorových jezů na dolním Labi, na kterých je třeba pravidelně kontrolovat stav nosičů těsnění a spojovacího materiálu. Právě v těchto místech se často nachází nedostatky, které mají rychlý negativní vývoj a mohou tak ohrozit stabilitu, provozuschopnost a celkovou bezpečnost VD.

Dalším příkladem efektivního využití byla podpora při zahrazení a vyhrazení provizorních hradicích tabulí spodních výpustí na VD Josefův Důl, kde podvodní dron výrazně usnadnil obsluhu VD ověření funkčnosti konstrukcí před samotnou manipulací.

Ve vybraných případech byly prostřednictvím dronu zjištěny i poruchy a závady, které nebyly identifikovány při předchozích potápěčských kontrolách – například poškození těsnicího prvku na sektorovém jezu v Lovosicích, přestože zpráva o průzkumu potápěčů dané místo hodnotila jako bezvadné.

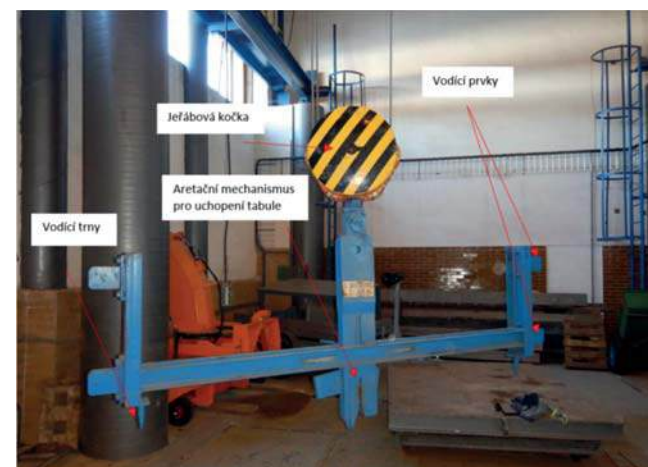
3. PŘÍKLADY REALIZOVANÝCH PRŮZKUMNÝCH PRACÍ POMOCÍ PODVODNÍHO DRONU

3.1 VD JOSEFŮV DŮL – PODPORA PŘI VYHRAZENÍ PROVIZORNÍ HRADICÍ TABULE

Dne 18. 3. 2025 byl podvodní dron Chasing M2 S poprvé nasazen jako vizuální podpora při vyhrazení provizorní hradicí tabule pravé spodní výpusti na VD Josefův Důl. Tato činnost se v minulosti prováděla výhradně za účasti potápěčské skupiny. Při nasazení dronu bylo umožněno detailní sledování polohy traverzy, vedení jeřábové kočky a aretačního mechanismu, včetně kontroly vodicích trnů a přesného uchycení zdvižné tabule.

Při prvním pokusu došlo kvůli náklonu traverzy k neúspěšnému zachycení tabule – podvodní dron však umožnil okamžité vyhodnocení situace a následnou úpravu postupu (přetížení traverzy). Druhý pokus o uchycení tabule provizorního hrazení již byl úspěšný. Bez podpory podvodního dronu by byl manévr velmi obtížný a pravděpodobně neúspěšný.

Dle vyhodnocení akce odpovídá náklad na srovnatelný potápěčský zásah téměř pořizovací ceně celého zařízení, přičemž zařízení bude využíváno opakovaně (i pro levou spodní výpust).



Obrázek 2: Zdvižná traverza



Obrázek 3: Zdvízná traverza a tabule provizorního hrazení na VD Josefův Důl

3.2 VD KOLÍN – OVĚŘENÍ PORUCHY PODJEZÍ

V březnu a dubnu 2025 byl na základě požadavku závodu proveden průzkum pomocí dronu Chasing M2 S na VD Kolín, konkrétně v oblasti:

- výtoků z malé vodní elektrárny,
- spodní stavby v podjezí,
- štětové stěny.

Tento průzkum měl za cíl upřesnit výsledky předchozího potápěčského průzkumu ze začátku roku 2025. Podvodní dron byl schopen vizuálně potvrdit rozsah poškození: betonová deska byla značně podemletá, místy rozlámaná, s výskytem kaveren. Došlo také k odhalení několika dřevěných pilot včetně obnažení až do hloubky 5,1 m pod deskou. Na základě všech použitých metod bylo stanoveno, že porucha mohla vzniknout při povodni v září 2024, kdy došlo k přetížení konstrukce průtokem převáděným pravým jezovým polem.

Pozitivním zjištěním byla možnost detailního vizuálního ověření technického stavu v celé průzkumné linii bez nutnosti opakovaného potápění. Dron identifikoval poruchy i tam, kde potápěči zaznamenali pouze náznaky poškození.

V jedné z kaveren došlo k zachycení kabelu dronu, což omezuje možnost detailního průzkumu v členitých a nepřístupných místech. Tento případ ilustruje jeden z limitů zařízení bez samostatného navádění či bezdrátového přenosu dat.

3.3 VD KOSTELEČ NAD LABEM – KONTROLA TĚSNĚNÍ VRAT PK, ZÁPORNÍKU, TĚSNĚNÍ UZÁVĚŘŮ A TECHNOLOGIE PLAVIDLA

Dne 9. 7. 2025 byl podvodní dron nasazen na VD Kostelec nad Labem, kde bylo během jediné operace provedeno hned několik úkolů:

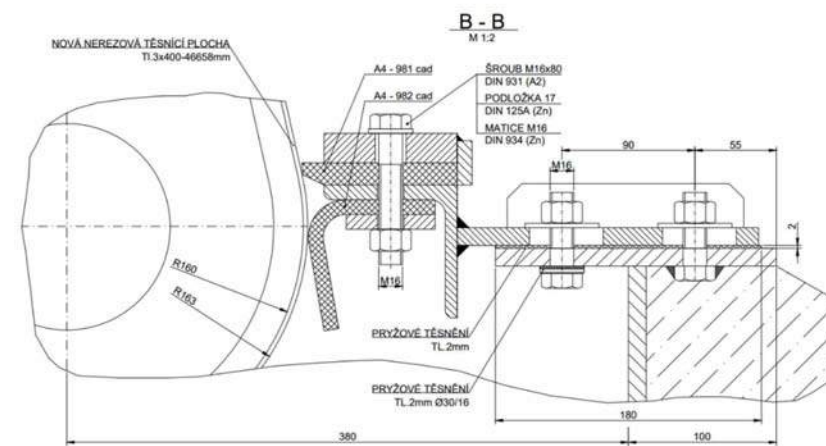
- Inspekce těsnění a záporníku pravé horní vrátně plavební komory – cíl byl ověřit příčinu netěsnosti. Podvodní dron nezaznamenal viditelné poškození prahového těsnění, avšak identifikoval možnou poruchu spárování kamenných kvádrů v oblasti záporníku. Vzhledem ke špatné průhlednosti vody (cca 0,5 m) nelze učinit jednoznačný závěr.

- Kontrola těsnění mezi stavidlem a klapkou na jezových polích – stav těsnění byl vyhodnocen jako velmi špatný, včetně chybějících dubových trámů na nosiči těsnění. Dron opakovaně zaznamenal výrazné průsaky mezi stavidlem a klapkou.
- Test možnosti inspekce lodního šroubu – ve spolupráci s kapitánem tlačného remorkéru byla provedena prohlídka lodního šroubu přímo v plavební komoře VD Kostelec nad Labem. Inspekce potvrdila přítomnost namotaného vlasce či provázku, přičemž záznamy umožnily rychlé rozhodnutí o potřebě čištění.

Tato mise ukázala výhodu operativního a univerzálního nasazení jednoho zařízení při různých kontrolních úkonech – jak pro stavební části, tak i pro technologii a pohyblivé prvky plavidel.

3.4 VD LOVOSICE – KONTROLA TĚSNĚNÍ SEKTOROVÝCH UZÁVĚŘŮ

Dne 13. 03. 2025 byl proveden průzkum těsnění sektorových uzávěrů na VD Lovosice. Jednotlivá jezová pole sektorového jezu v Lovosicích mají cca 50 m na šířku. Celkem bylo pozorováno 29 drobných poruch (chybějící spojovací materiál) na těsnění sektorových uzávěrů z dolní vody. Z těchto poruch evidujeme 3 drobné poruchy na pravém jezovém poli, 9 drobných poruch na středním jezovém poli a 17 drobných poruch na levém jezovém poli. Pro porovnání výsledků vyhodnocení podvodním dronem vůči potápěčským průzkumům lze uvést, že u potápěčského průzkumu na levém jezovém poli bylo v září roku 2024 (01. 09. 2024) uvedeno, že je v bezvadném stavu.



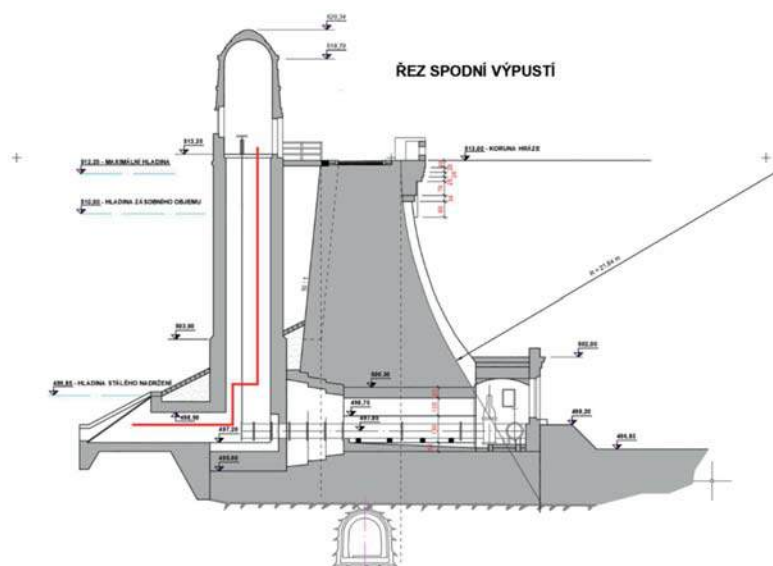
Obrázek 4: Příčný řez, detail těsnění sektorového uzávěru



Obrázek 5: Chybějící spojovací materiál na nosiči těsnění

3.5 3.5 VD MŠENO – KONTROLA UZÁVĚRU SPODNÍ VÝPUSTI, ČESLÍ A OVLÁDAJÍCÍHO SOUTYČÍ

Dne 16. 06. 2025 byla na základě žádosti obsluhy VD provedena kontrola vtokové části do levé spodní výpusti včetně revizního uzávěru a jeho ovládacího táhla a česlí.



Obrázek 6: Příčný řez spodní výpustí na VD Mšeno - červeně je znázorněna trasa ponoru



Obrázek 7: Spodní výpust s tabulovým uzávěrem, vrchní část



Obrázek 8: Spodní výpust, dolní část

Spodní výpust DN800 je na vtoku hrazena revizním tabulovým uzávěrem. Tento uzávěr byl osazen v roce 2017 a je vyroben z korozivzdorné oceli. Průzkum podvodním dronem prokázal bezvadný stav uzávěru i jeho ovládacího táhla s vodicími rolnami. Dále bylo zjištěno, že česle spodních výpustí nevykazují žádné úbytky materiálu a nejsou zdeformované.

4. SHRNUŤÍ POZNATKŮ Z REALIZOVANÝCH PRŮZKUMŮ

Z provedených inspekci vyplývá, že nasazení podvodního dronu Chasing M2 S výrazně přispívá ke zvýšení efektivity a bezpečnosti při vizuální kontrole zatopených částí VD. Zařízení bylo úspěšně využito v celé řadě situací – od standardních kontrol technologických prvků po operativní zásahy při mimořádných situacích.

Ve všech případech se ukázalo, že podvodní dron je vhodný pro rychlé operativní nasazení, umožňuje získat objektivní a archivovatelnou dokumentaci, a zároveň snižuje potřebu náročných a rizikových potápěčských zásahů. Díky tomu představuje cenný nástroj pro TBD.

5. LIMITY SOUČASNÉ TECHNIKY A PERSPEKTIVY DALŠÍHO VÝVOJE

Přestože podvodní dron Chasing M2 S prokázal své kvality, jeho praktické použití odhalilo i některá omezení, která je třeba zohlednit při jeho nasazení:

- průhlednost vody je rozhodujícím faktorem ovlivňujícím kvalitu záznamu. Při viditelnosti pod cca 0,5 m je inspekce vizuálně velmi obtížná až nemožná,
- čistota zkoumaného objektu (šlem, nánosy, koroze) má vliv na identifikaci poruch
- proudění vody limituje ovladatelnost dronu, který není vybaven aktivní stabilizací. V místech s vyšší rychlostí proudění může dojít ke ztrátě kontroly,
- přítomnost překážek (např. kabely, šlem, konstrukce) může vést k zachycení ovládacího kabelu a ztrátě manévrovatelnosti,
- výstupy z podvodního zařízení slouží především pro předběžnou vizuální orientaci,
- přesné měření rozměrů případných poruch a jejich přesná lokalizace,
- vyžaduje zkušeného a specializovaného operátora,
- pro průzkum velkých ploch je nejednoznačná orientace v prostoru (závady je obtížné přesně lokalizovat).

Z těchto důvodů je zvažováno pořízení novějšího modelu (např. Chasing X), který nabízí:

- aktivní stabilizaci v proudu,
- širokou škálu příslušenství (sonary, ramena, odběr vody, odběr vzorku sedimentu),
- vyšší rozlišení a lepší světelné podmínky,
- možnost poloautomatických inspekčních tras.

6. ZÁVĚR

Podvodní dron Chasing M2 S se ukázal jako velmi užitečný nástroj pro vizuální inspekce trvale zatopených částí VD. Jeho nasazení umožnilo nejen zvýšit bezpečnost a operativnost průzkumů, ale také přineslo ekonomické a časové úspory.

Využití dronu v rámci Povodí Labe, státní podnik prokázalo jeho schopnost nahradit nebo doplnit tradiční potápěčské metody v celé řadě aplikací – od běžných kontrol až po specifické úkony, jako je vyhrazení tabulí nebo kontrola těsnění. Významným přínosem je také možnost opakovaného vyhodnocení archivovaných záznamů.

Ačkoli současné možnosti zařízení mají své limity, je zřejmé, že podvodní drony představují perspektivní směr rozvoje v oblasti TBD. S pokračujícím technologickým vývojem lze očekávat jejich širší integraci a standardizaci, což povede k dalšímu zefektivnění kontrolních činností a zvýšení bezpečnosti provozu VD.

Ing. Petr Svatoš

Povodí Labe, státní podnik, Víta Nejedlého 951/8, 500 03, Hradec Králové, Česká republika

HISTORICKÉ PODKLADY AKO FAKTOR BEZPEČNOSTI STARNÚCICH VODNÝCH STAVIEB

P. Václavík, A. Borák & I. Voštinár

VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA, š. p., Bratislava, Slovenská republika

ABSTRAKT: Bezpečná prevádzka vodných stavieb je závislá od mnohých faktorov, výskyt extrémnych hydrologických javov a starnutie konštrukcií patria medzi najdôležitejšie z nich. V roku 2025 bola VS Nosice, v rámci výkonu technicko-bezpečnostného dohľadu, posúdená z hľadiska jej bezpečnosti počas povodňového zaťaženia. Súčasťou posúdenia bolo aj vytvorenie 2D numerického modelu prúdenia vody v podloží vodnej stavby, v programe GEOSTUDIO modul SEEP/w, pre potrebu posúdenia stability plného gravitačného bloku. Počiatočné kalibrácie modelu vykazovali výrazné odchýlky hodnôt piezometrických výšok v oblasti základovej škáry v porovnaní s reálnymi meraniami, ktoré vykonávajú zamestnanci prevádzky vodnej stavby. Napriek veľkej snahe, mnohým variantným riešeniam a zmenám charakteristik prostredia nevykazovala injekčná clona modelovaná v podloží vodnej stavby redukciu vztlakov blízku reálnym meraniam. Starnutie konštrukcií a neúplná dokumentácia môžu významne skresliť výsledky modelovania. Kľúčovým momentom bolo objavenie drenážneho prvku v archívnom výkrese, ktorý nebol zakreslený v ostatnej dostupnej dokumentácii. Po implementácii drenážneho prvku do modelu sa výsledky priblížili k reálnym hodnotám vztlakov meraných v oblasti základovej škáry. Táto skúsenosť poukazuje na dôležitosť archivácie všetkých dokumentov a podkladov súvisiacich so stavbou a jej prevádzkou. Príspevok prezentuje postup kalibrácie numerického modelu, vplyv historických informácií na presnosť výpočtov a odporúčania pre posudzovanie bezpečnosti starších vodných stavieb počas extrémneho povodňového zaťaženia.

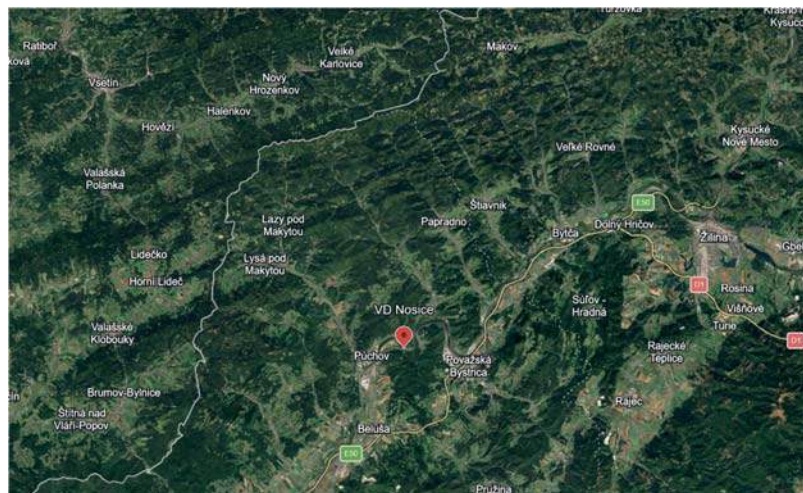
1. ÚVOD

Bezpečná a spoľahlivá prevádzka vodných stavieb je podmienená viacerými faktormi, medzi ktoré patria najmä extrémne hydrologické javy a postupné starnutie konštrukcií. Vplyvom klimatických zmien sa v posledných desaťročiach zvyšuje pravdepodobnosť výskytu extrémnych povodní, čo kladie nové nároky na technicko-bezpečnostný dohľad (TBD) a na presnosť hodnotenia správania vodných stavieb pri mimoriadnom zaťažení.

Na Slovensku sú betónové gravitačné priehrady zastúpené v menšej miere než sypané a zemné stavby, čo znamená aj užší rozsah praktických skúseností s ich dlhodobou prevádzkou. Jednou z najvýznamnejších betónových priehrad je Vodná stavba Nosice, vybudovaná v rokoch 1949 až 1958. Od jej uvedenia do prevádzky uplynulo viac než 65 rokov, počas ktorých došlo k prirodzenému starnutiu konštrukcií, rekonštrukciám a prevádzkovým zásahom.

Posudzovanie správania sa starších vodných stavieb počas extrémnych hydrologických situácií si vyžaduje kombináciu meraní, prevádzkových skúseností a numerického modelovania. Numerické modely umožňujú simulovať správanie priehrady a jej podložia bez priameho zásahu do konštrukcie a predstavujú dôležitý nástroj pri identifikácii rizík a návrhu nápravných opatrení.

Článok sa venuje skúsenostiam z tvorby 2D numerického modelu prúdenia vody v podloží VS Nosice v rámci bezpečnostného posudku realizovaného v roku 2025. Ťažiskom príspevku je problém kalibrácie modelu a jeho riešenie na základe identifikácie drenážneho prvku, ktorý sa ukázal ako kľúčový pre správne hodnotenie bezpečnosti vodnej stavby.



Obrázok 1: Situovanie VD Nosice v povodí Váhu (GoogleEarth, 2026)

2. CHARAKTERISTIKA VODNEJ STAVBY NOSICE

Vodná stavba Nosice je situovaná na rieke Váh v riečnom kilometri 207,70. Ide o jednu z mála betónových gravitačných priehrad na Slovensku, čo zvyšuje jej význam z hľadiska dlhodobého hodnotenia bezpečnosti betónových konštrukcií. Primárnym účelom stavby je hydroenergetické využitie toku, pričom nádrž sa zároveň podieľa na vyrovnávaní prietokov v rámci vodohospodárskej kaskády na Váhu.

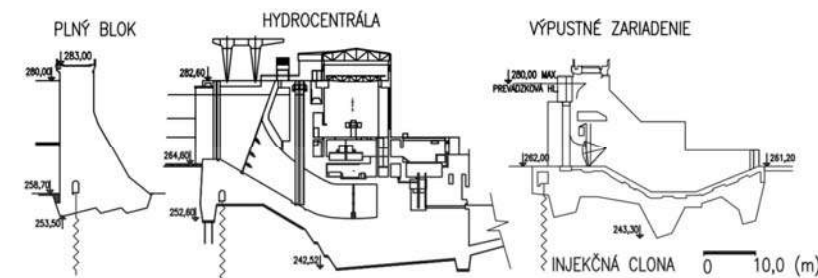


Obrázok 2: Celkový pohľad na VS Nosice (Archív VV)

Priehradu tvorí betónové gravitačné teleso zložené z 34 blokov s celkovou dĺžkou koruny 501,68 m. Hydroelektrárňou pracuje so spádom v rozpätí 19 až 23 m v závislosti od prevádzkových podmienok (Bednárová 2010, s. 106).

Priehradný profil sa nachádza v oblasti bradlového pásma s výrazne tektonicky porušeným podložím, v ktorom sa priesaky koncentrujú najmä do puklinových zón pieskovcových vrstiev. Počas výstavby bola realizovaná injekčná clona a ďalšie ochranné opatrenia na zabezpečenie filtračnej bezpečnosti stavby (Voda 1951).

Vodná stavba je v prevádzke viac než 65 rokov, čo zvyšuje význam historických geologických a stavebných podkladov pri posudzovaní jeho súčasného správania. Práve tieto podklady zohrali kľúčovú úlohu pri tvorbe numerického modelu a jeho následnej kalibrácii.



Obrázok 3: Schémy priečných profilov VD Nosice (Václavík, 2024)

3. RÁMEC A POŽIADAVKY BEZPEČNOSTNÉHO POSUDKU

Bezpečnostný posudok VS Nosice bol v roku 2025 vypracovaný v zmysle Metodického pokynu Ministerstva životného prostredia SR pre hodnotenie bezpečnosti vodných stavieb počas povodňového zaťaženia. Cieľom posudku bolo overiť stabilitu hrádze, jej podložia a funkčných objektov pri extrémnom povodňovom zaťažení.

Keďže VS Nosice je zaradená do I. kategórie vodných stavieb, posúdenie bolo realizované pre povodňovú vlnu s pravdepodobnosťou prekročenia raz za 1000 rokov. Požadovaná bezpečnosť bola hodnotená na základe minimálneho stupňa stability $F_s = 1,1$ MŽPSR (2020).

Vstupné hydrologické údaje poskytol Slovenský hydrometeorologický ústav a boli doplnené o záznamy z historických povodní a údaje z manipulačného poriadku. Súčasťou hodnotenia bolo aj stanovenie kritickej hladiny s prihliadnutím na výšku vetrovej vlny a riziko preliatia hrádze.

4. METODICKÝ POSTUP – TVORBA 2D NUMERICKÉHO MODELU

Numerické modelovanie prúdenia vody v podloží bolo realizované pomocou softvéru GeoStudio - modulu SEEP/W. Model bol zostavený ako nestacionárny a zohľadňoval dlhodobú prevádzku vodnej stavby aj krátkodobé extrémne povodňové zaťaženie.

Pre potrebu posúdenia bol zvolený plný gravitačný blok č. 10, ktorý vykazuje najvyšší štíhlostný pomer výšky k šírke základovej škáry ($H/B = 1,74$), predstavuje kritický profil z hľadiska stability. V zázemí bloku sa nachádzajú pozorovacie sondy, ktoré umožnili porovnanie výsledkov modelu s reálnymi meraniami.

Model zahŕňal injekčnú clonu a podložie s parametrami odvodenými z historických geologických a hydrogeologických podkladov. Nastavenie okrajových podmienok vychádzalo zo stabilného dlhodobého stavu hladiny v nádrži a následného krátkodobého zvýšenia hladiny na úroveň kritickej hladiny.

5. PROBLÉMY S KALIBRÁCIOU MODELU

Kalibrácia numerického modelu prebiehala na základe dostupných údajov z roku 2022, keď sa hladina vody v nádrži dlhodobo pohybovala na stabilnej úrovni približne 279,40 m n. m. počas obdobia viac než dvoch mesiacov. Predpokladali sme, že počas tohto obdobia sú stabilizované aj hladiny v pozorovacom systéme vodnej stavby, a preto sa tieto údaje použili ako referenčný stav pre kalibráciu.

5.1 VSTUPNÉ PARAMETRE MODELU

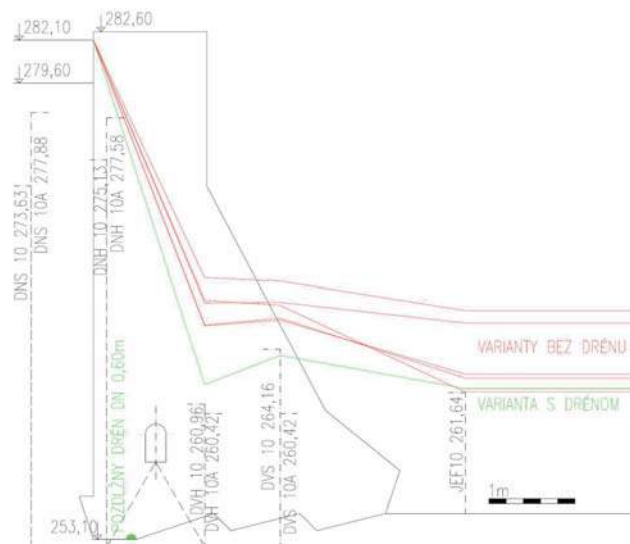
Vstupné hodnoty koeficientov filtrácie boli odvodené z kombinácie injekčných skúšok uskutočnených počas výstavby, geofyzikálnych meraní realizovaných počas prevádzky a z výsledkov meraných filtračných rýchlostí vo vrtoch, naposledy v roku 2023. Z dostupných podkladov vyplýval rozsah filtračných koeficientov približne $k = 1 \cdot 10^{-6} - 1 \cdot 10^{-5} \text{ m.s}^{-1}$, ktorý bol považovaný za reprezentatívny pre horninové prostredie v oblasti priehradného profilu.

Na základe týchto údajov bol vytvorený prvotný model, ktorý bol následne kalibrovaný tak, aby reprodukoval namerané hodnoty vztaku na vzdušnej strane injekčnej clony.

5.2 PRVOTNÉ VÝSLEDKY A VZNIKAJÚCI PROBLÉM

Napriek realisticky zvoleným vstupným parametrom model opakovane vykazoval systematickú odchýlku oproti meraniam. Piezometrické hladiny na vzdušnej strane injekčnej clony boli v modeli **vyššie o 2 m a viac** v porovnaní s reálnymi hodnotami zaznamenanými v pozorovacích sondách (Obrázok 4, červené krivky).

Uvedená odchýlka pretrvávala bez ohľadu na zmeny priepustnosti alebo geometrie modelu, čo naznačovalo, že problém nespočíva v nevhodne zvolených parametroch, ale v **absencii významného hydrogeologického prvku**, ktorý sa v reálnom prostredí podieľa na odľahčení tlakových pomerov.



Obrázok 4: Pričný rez plným blokom VS Nosice s priebehmi redukcie vztakov v oblasti základovej škáry

Červenou farbou sú znázornené výsledky numerického modelovania variantov bez pozdĺžneho drenážneho prvku, zelenou farbou variant so zahrnutím pozdĺžneho drénu. Bodkočiarkované čiary znázorňujú skutočné merané piezometrické hladiny v pozorovacom systéme VS Nosice v podloží bloku 10.

5.3 PARAMETRICKÁ ŠTÚDIA A TESTOVANÉ SCENÁRE

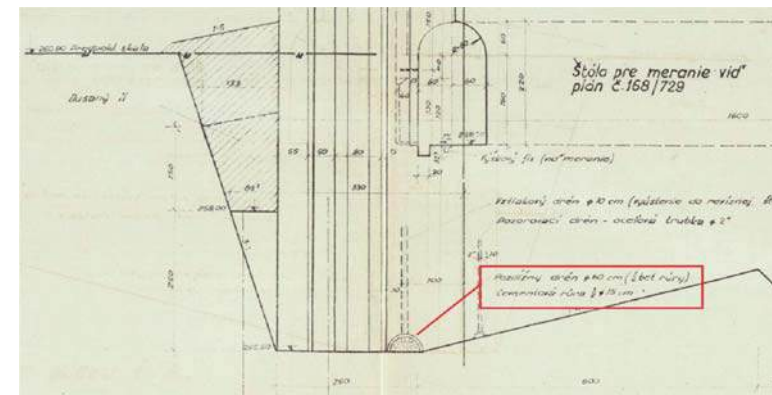
S cieľom identifikovať príčinu odchýlok bola vykonaná parametrická štúdia, v rámci ktorej sa postupne testovali viaceré variantné riešenia:

- zmeny priepustnosti horninového prostredia pred aj za injekčnou clonou,
- uvažovanie výraznej anizotropie prostredia,
- extrémne hodnoty nepriepustnosti injekčnej clony.

Žiadny z testovaných scenárov nevedol k uspokojivej zhode medzi modelovanými a meranými hodnotami. Model sa ukázal ako mimoriadne citlivý na geometriu plného gravitačného bloku - kombinácia úzkej základovej škáry, vysokej hladiny na návodnej strane a okrajových podmienok spôsobovala koncentráciu vztakov, ktoré nebolo možné znížiť samotnou úpravou parametrov injekčnej clony.

5.4 IDENTIFIKÁCIA CHÝBAJÚCEHO PRVKU – POZDĹŽNY DRÉN

Zásadný zlom v riešení nastal až po analýze archívnych výkresov z obdobia výstavby vodnej stavby. V jednom z lamelovacích výkresov bol identifikovaný pozdĺžny drenážny prvok, realizovaný vo forme polovice betónovej drenážnej rúry priemeru 0,5m, ktorá je vyplnená štrkopieskovým filtrom, odvádzajúcej vodu do bloku č. 11, odkiaľ je následne čerpaná.



Obrázok 5: Pozdĺžny drén zakreslený v Bloku č. 8 – šalovací a lamelovací plán (Hydroprojekt, 1952)

Hoci prevádzka vodnej stavby o existencii drenáže vedela, v dostupnej novej dokumentácii nebol tento prvok zakreslený a neboli známe jeho presné parametre ani aktuálny technický stav. Po jeho zahrnutí do numerického modelu došlo k výraznému zlepšeniu zhody medzi modelovanými a meranými piezometrickými hladinami. Následná jemná kalibrácia potvrdila, že drenážny prvok zohráva **rozhodujúcu úlohu pri dlhodobej redukcii vztakových tlakov**, a to aj po viac než 65 rokoch prevádzky vodnej stavby.

6. VPLYV HISTORICKÝCH PODKLADOV NA VÝSLEDKY NUMERICKÉHO MODELOVANIA

Identifikácia a následná implementácia drenážneho prvku do numerického modelu zásadným spôsobom ovplyvnila výsledky filtračnej analýzy v oblasti základovej škáry. Po doplnení drenáže do modelu sa hodnoty piezometrických výšok na vzdušnej strane injekčnej clony výrazne znížili a dostali sa do dobrej zhody s hodnotami meranými na pozorovacom systéme VS Nosice. Táto zhoda umožnila považovať numerický model za dostatočne skalibrovaný a použiteľný pre ďalšie fázy bezpečnostného posúdenia, konkrétne pre stabilné výpočty v programe GEO5, kde výsledné hodnoty vztlačových tlakov z modelu tvorili významnú zložku silového pôsobenia vstupujúceho do posúdenia na preklopenie, posunutie a únosnosť základovej škáry.

Výsledky potvrdili, že drenážny systém, navrhnutý už v čase výstavby, si zachoval svoju funkčnosť aj po viac než 65 rokoch prevádzky. Vplyv drenáže na redukciu vztlačových síl sa ukázal byť rozhodujúci najmä pri plnom gravitačnom bloku s vysokou štihlosťou, kde je stabilita konštrukcie najcitlivejšia na tlakové pomery v základovej škáre. Bez zohľadnenia tohto prvku by numerický model systematicky nadhodnocoval vztlaky, čo by mohlo viesť ku konzervatívnym alebo potenciálne chybným záverom o bezpečnosti stavby.

Predkladaný prípad poukazuje na skutočnosť, že numerické modelovanie starších vodných stavieb nie je limitované iba kvalitou výpočtových nástrojov, ale predovšetkým úplnosťou vstupných údajov. Historické podklady, najmä výkresy z obdobia výstavby, môžu obsahovať kľúčové informácie o konštrukčných a drenážnych prvkoch, ktoré sa v neskoršej dokumentácii už nenachádzajú alebo sú interpretované nejednoznačne. Ich opomenutie môže viesť k dlhodobu neúspešnej kalibrácii modelu a znižovať dôveryhodnosť výsledkov bezpečnostných posudkov.

Skúsenosti z posúdenia bezpečnosti VS Nosice počas povodňového zaťaženia ukazujú, že kombinácia terénnych meraní, historickej dokumentácie a citlivej interpretácie výsledkov numerického modelovania je kľúčová pri hodnotení starnúcich vodných stavieb vystavených extrémnym hydrologickým zaťaženiam.

7. ZÁVER

Numerické modelovanie predstavuje účinný nástroj na hodnotenie bezpečnosti vodných stavieb počas extrémnych hydrologických zaťažení, jeho spoľahlivosť je však zásadne ovplyvnená kvalitou a úplnosťou vstupných údajov.

Prípad VS Nosice preukázal, že historické podklady môžu obsahovať rozhodujúce informácie o konštrukčných a drenážnych prvkoch, ktorých opomenutie vedie k dlhodobu neúspešnej kalibrácii modelu.

Identifikácia a zahrnutie drenážneho prvku do numerického modelu umožnilo dosiahnuť dobrú zhodu s reálnymi meraniami piezometrických výšok a potvrdila jeho funkčnosť aj po viac než 65 rokoch prevádzky. Súčasne sa ukázalo, že tento prvok má rozhodujúci vplyv na redukciu vztlačových síl v oblasti základovej škáry, a tým priamo vplýva na stabilitu VS Nosice.

Skúsenosti z tohto posudku poukazujú na potrebu systematickej archivácie a sprístupňovania historickej dokumentácie a na jej aktívne využívanie pri posudzovaní bezpečnosti starnúcich vodných stavieb.

LITERATÚRA

[1] BEDNÁROVÁ, E. LUKÁČ, M. MINÁRIK, M. BAKALJAROVÁ, M. LIPTÁK, B. MIŠČÍK, M. PANENKA, P. STOLIČNÝ, J. *Priehradné staviteľstvo na Slovensku: Originality. Milníky. Zaujímavosti*. Bratislava : KUSKUS, s. r. o., 2010. ISBN 978-80-970428-0-6.

[2] HYDROPROJEKT. Vodné dielo Nosice - Priehradný múr, Pravé krídlo. Hydroprojekt Závod Bratislava, 1952.

[3] MINISTERSTVO ŽIVOTNÉHO PROSTREDIA. Metodický pokyn generálneho riaditeľa sekcie vôd Ministerstva životného prostredia Slovenskej republiky k posudzovaniu bezpečnosti priehrad a odkalísk počas povodňového zaťaženia v rámci technicko-bezpečnostného dohľadu. Bratislava, 2020.

[4] VÁCLAVIK, P. Overenie spoľahlivosti injekčných clôn v podmienkach slovenských priehrad z pohľadu súčasných poznatkov, STU Bratislava, 2024.

[5] VODA, P. Vyhodnotenie injekčného pokusu v štrkovej terase na pravom brehu Váhu. Československé stavebné závody, 1951.

Ing. Patrik Václavik, PhD.
Vodohospodárska výstavba, štátny, podnik, úsek TBD, oddelenie TBD - Žilina
patrik.vaclavik@vvb.sk

Ing. Adrián Borák
Vodohospodárska výstavba, štátny, podnik, úsek TBD, oddelenie TBD - Žilina
adrian.borak@vvb.sk

Ing. Ivan Voštinár
Vodohospodárska výstavba, štátny, podnik, úsek TBD, oddelenie TBD - Žilina
ivan.vostinar@vvb.sk

TECHNICKO-EKONOMICKÉ ASPEKTY ZAJIŠTĚNÍ BEZPEČNOSTI VODNÍCH DĚL PŘI POVODNÍCH NA PŘÍKLADU VD KAMÝK

R. Veselý

Sterplan a.s. Praha, Česká republika

J. Šimůnek

Povodí Vltavy, státní podnik, Praha, Česká republika

ABSTRAKT: Bezpečnost vodních děl je v přehradním stavitelství vždy na prvním místě a v České republice je historicky zakotvena v legislativě i normových požadavcích na vodní díla. I kvalitní legislativa a normové požadavky občas narazí na případ, který se vymyká obvyklým případům a pro které se splnění normových požadavků na zajištění bezpečnosti střetává s ekonomicky a provozně smysluplným řešením. Takovým případem je Vodní dílo Kamýk, které by pro splnění normových požadavků pro bezpečné převedení Q 10 000 muselo být vybaveno výpustními a přelivními objekty, které by byly z hlediska investičních a následně provozních nákladů velice významné a v porovnání s reálným přínosem obtížně obhájitelné. Nevýrazný rozdíl potenciálních škod pod vodním dílem při průchodu Q10000 a při případné havarii vodního díla v důsledku jeho porušení při Q 10000 vedl následně k úpravě pohledu na bezpečnost tohoto vodního díla ve smyslu přípustného porušení části vodního díla, které by bylo případně možné relativně snadné obnovit. Článek se tak věnuje problematice převedení Q10 000 a procesu technické přípravy řešení zajištění VD Kamýk pro převedení Q 10 000 tak, s minimálními škodami, kdy samotný návrh balancuje na hraně stávající legislativy.

1. POPIS VODNÍHO DÍLA

Vodní dílo Kamýk je situováno na 134,7 kilometru toku Vltava ve Středočeském kraji. VD Kamýk je jedním ze stupňů Vltavské kaskády, je umístěno mezi VD Orlík a VD Slapy.

Funkcí vodního díla je zejména zajištění minimálního průtoku ve Vltavě v profilu Vrané 40 m³/s ve spolupráci při hospodaření s vodou s vodními díly Lipno I. a Slapy a v součinnosti s ostatními vodními díly Vltavské kaskády a částečné vyrovnání kolísání průtoku, způsobeného špičkovým provozem vodní elektrárny Orlík a to využití odtoku z nádrže k výrobě elektrické energie v pološpičkové vodní elektrárně až do maximální hlnosti turbín 360 m³/s.

Vodní dílo bylo vybudováno mezi lety 1956 a 1962, společně s VD Orlík

Přehradní hráz je přímá tížná betonová, dlouhá 84 m. Na přehradní část navazuje k levému břehu stavba elektrárny, u pravého břehu plavební komora.

Celková délka hrazeného profilu je 158 m.

kóta koruny hráze (jeřábové dráhy, zdí PK a plošiny nad vtoky VE)	287,10 m.n.m
celková délka koruny hráze	158,00 m
celková šířka hrazeného profilu	204,65 m
maximální výška hráze nad terénem	17,00 m
maximální výška hráze nad základy	24,50 m

Vodní elektrárna se čtyřmi Kaplanovými turbínami je umístěná v samostatném objektu při levém břehu, jenž navazuje na těleso hráze.

Vodní dílo je vybaveno plavebním zařízením, a to hlavním plavebním zařízením v podobě plavební komory umístěné mezi hrázovým tělesem a pravým břehem, a vedlejším plavebním zařízením v podobě úzkorozchodné polní drážky, doplněné válcovými drahami v horní i dolní vodě. Vedlejší plavební zařízení slouží pro transport sportovních plavidel do hmotnosti 150 kg na ručně pohybovaných vozících.

Plavební komora má užité rozměry 35 m x 6,5 m a umožňuje proplavení plavidel do výtlačku 300 tun. V současné době je v projektové přípravě prodloužení plavební komory na parametry I. třídy vnitrozemských vodních cest s užitnými rozměry 45 m x 6,5 m. Prodloužení je navrženo do dolní vody.



Obrázek 1: Vizualizace VD Kamýk po realizaci záměru prodloužení plavební komory do dolní vody

K převádění povodňových průtoků slouží čtyři přelivná pole korunového přelivu umístěná na koruně hráze.

Přelivná pole jsou hrazena na výšku 5,5 m zdvižnými ocelovými segmenty se šikmými rameny. Ovládání segmentů je zajištěno ze strojoven na korunách dělicích pilířů Gallovými řetězy. Tvar přepadové plochy je tvořen kruhovými oblouky a přepadová plocha je zakončena odrazným můstkem.

Provizorní hrazení je zajištěno hradidlovými uzávěry, které se osazují portálovým jeřábem nosnosti 32 t. Jeřáb zároveň slouží k osazování provizorního hrazení vtoků na turbíny a k demontáži a k montáži rychlouzavěrných tabulí vodní elektrárny.

kóta koruny pevného přelivu	279,10 m n.m
kóta těsnícího prahu segmentu	278,79 m n.m.
počet přelivných polí	4
světla délka 1 přelivného pole	18 m
celková světla délka přelivu	72 m

Vývar pod přelivy je dlouhý 16,30 m s neopevněným dnem, zakončený šikmým betonovým prahem se sklonem 1:3, délka vývaru je uvažována po korunu závěrného prahu. Hloubka vývaru činí 4,0 m.

Hydrologické údaje pro profil vodního díla

Vltava - profil VD Kamýk hráz

hydrologické číslo povodí	1-08-05-019
plocha povodí	12 217,92 km ²
průměrný roční úhrn srážek	687 mm
průměrný dlouhodobý roční průtok	83,7 m ³ /s

M-denní průtoky (Q_{Md}) m³/s

M	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	355	364
Q _{Md}	170	134	104	84,3	70,6	62,1	53,3	45,3	37,6	34,4	33,2	28,9	19,6

N-leté průtoky (Q_N) m³/s

N	1	2	5	10	20	50	100
Q _N	471	668	967	1220	1490	1880	2190

Stanovení návrhových povodní pro potřeby zajištění bezpečnosti vodního díla Kamýk při průchodu Q_{1.000} a Q_{10.000}:

Q_{1.000} – odtok z Orlíka = přítok do nádrže VD Kamýk = odtok z nádrže VD Kamýk = **3131 m³/s**

Q_{10.000} – odtok z Orlíka = přítok do nádrže VD Kamýk = odtok z nádrže VD Kamýk = **4602 m³/s**

2. BEZPEČNOST VODNÍHO DÍLA Z HLEDISKA LEGISLATIVY

2.1 LEGISLATIVNÍ RÁMEC BEZPEČNOSTI VODNÍCH DĚL

Požadavky na ochranu před povodněmi a s nimi spojené požadavky na bezpečnost vodních děl při povodních mají stejně jako zkušenost s těmito jevy historický vývoj, reflektující jednak vzrůstající míru znalostí, jednak požadavky společnosti na ochranu životů a majetku.

Bezpečnost vodních děl je v naší zemi díky dlouholetému úsilí vodohospodářů na světové úrovni.

Před zakotvení požadavků na bezpečnost v legislativě ČR byla bezpečnost přehrad dána ČSN 73 6814 Navrhování přehrad, Hlavní parametry a vybavení, kde nevyšší návrhový a zároveň kontrolní průtok byl stanoven na Q_{1.000}.

V souladu s platností nového vodního zákona č. 254/2001 vstoupila na počátku roku 2003 v platnost vyhláška č. 590/2002 Sb. o technických požadavcích pro vodní díla, která v rámci evropského trendu navýšila požadovanou míru bezpečnosti vodních děl.

Vyhláška č. 590/2002 Sb. ve znění vyhlášky č. 367/2005 přímo obsahovala požadovanou míru bezpečnosti vodních děl při povodni, a navíc odkazy na vyhlášku ministerstva zemědělství č. 471/2001 Sb. o technickobezpečnostním dohledu nad vodními díly a určenou normu ČSN 75 2935 Posuzování bezpečnosti vodních děl při povodních, které tyto definice dala rozvíjely. Pro díla náležející do I. kategorie a části děl náležejících do II. kategorie vodních děl to znamenalo požadavek na zvýšení bezpečnosti na průtok Q_{10.000}.

Vyhláška č. 590/2002 Sb. pozbyla 1.7.2024 platnosti uvedením nového právního předpisu, vyhlášky ministerstva pro místní rozvoj č. 146/2024 Sb. o požadavcích na výstavbu. Tento

nový právní předpis měl integrovat všechny požadavky na výstavbu všech staveb do jednoho právního předpisu. Tato v jádru dobrá myšlenka však, alespoň dle mínění autora tohoto příspěvku, byla minimálně v případě vodních děl poněkud nešťastná, kdy trpí nejen obsahovými, ale i formálními nedostatky soudě dle obsahu přílohy 8, která je vodním dílům věnována.

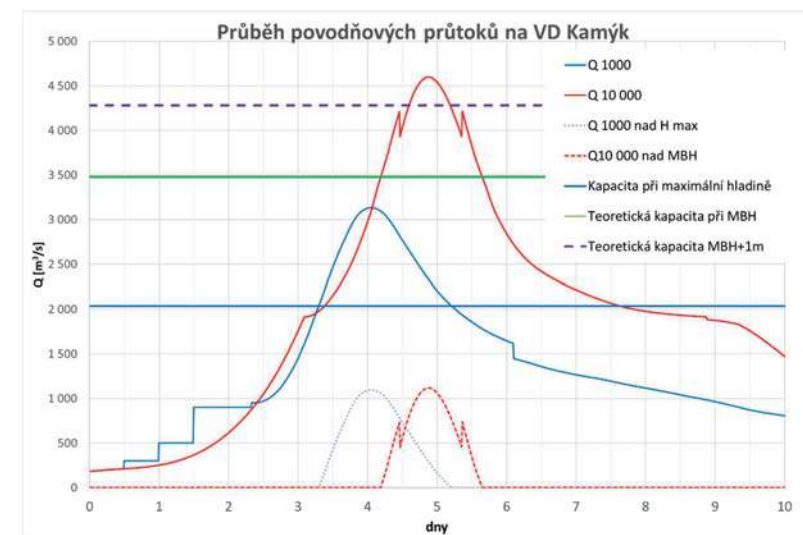
V této vyhlášce pouze uvedeno, že „*Konstrukce a kapacita bezpečnostního přelivného zařízení je dána mírou bezpečnosti odpovídající kategorii vodního díla z hlediska technickobezpečnostního dohledu podle jiného právního předpisu*“, avšak o jaký předpis se jedná již neuvádí.

Doufáme, že kvalita této vyhlášky projde dalším a pozitivním vývojem a naplní původní záměr jednoho kvalitního právního předpisu definujícího požadavky na výstavbu.

2.2 STÁVAJÍCÍ STAV Z HLEDISKA BEZPEČNOSTI VODNÍHO DÍLA PŘI POVODNI

Vodní dílo Kamýk je zařazeno do II. kategorie vodních děl a musí být schopno převést bezpečnosti na průtok Q_{10.000}.

Pro stávající vodní dílo byla v roce 2011 stanovena mezní bezpečná hladina 287,10 m n. m., což odpovídá úrovni koruny hráze úrovni mostovky přemostění přelivů a úrovni pravého zavádání hráze.



Obrázek 2: Hydrogram TPV 1000 a 10 000 a stávající kapacita VD Kamýk

Jediným výpustným a přelivným zařízením pro převádění povodňových průtoků je bezpečnostní přeliv o čtyřech polích.

Kapacita čtyř polí přelivu je v MPŘ uvažována při jejich úplném vyhrazení a hladině v nádrži VD Kamýk na kótě

282,10 m n.m. -minimální provozní hladina	747 m ³ /s
284,60 m n.m. -maximální provozní hladina	2.035 m ³ /s

Mimo MPŘ byla dále výpočtem stanovena kapacita těchto polí při mezní bezpečné hladině.

287,10 m n.m. - mezní bezpečná hladina (MBH) 3.480 m³/s

Při porovnání s průtokem návrhové povodně Q_{1000} 3131 m³/s a kontrolní povodně Q_{10000} 4.602 m³/s je zřejmé, že zatímco návrhovou povodňovou vlnu vodní dílo bezpečně převede, kontrolní povodňovou vlnu bez překonání mezní bezpeční hladiny již nikoliv.

3. DOSAVADNÍ PRŮBĚH PROJEKTOVÉ PŘÍPRAVY PRO ZABEZPEČENÍ VODNÍHO DÍLA

3.1 STUDIE ZABEZPEČENÍ VD

Jelikož vodní dílo Kamýk nesplňuje požadavek na převedení kontrolní povodňové vlny, byla zpracována studie proveditelnosti pro zajištění vodního díla na převedení Q_{10000} , jejímž výsledkem byla technická řešení spočívající v různých kombinacích úprav stávajících přelivných polí a v realizaci dalších přelivných polí v pravém zavázání. Všechna tato opatření však byla investičně a následně provozně velice nákladná až nevhodná s odhadovanými pouze investičními náklady v rozsahu 550 až 920 mil Kč dle jednotlivých variant v cenové úrovni 2018. Tento závěr nebyl překvapivý, jelikož již v době zpracování studie probíhaly finální projektční práce akce VD Orlík – zabezpečení VD před účinky velkých vod, v rámci kterých jsou v současnosti realizovány tři nová přelivná pole s hrazenými otvory 13,3 x 8,15 m a je v současnosti největší investicí v oblasti zajištění bezpečnosti vodních děl v ČR. Jelikož obě vodní díla vznikala ve stejné době a jsou na sebe přímo vázána je i deficit v kapacitě přelivných a výpustných zařízení obdobný.

Všechny reálně proveditelné varianty kromě své extrémní finanční náročnosti přináší zejména provozní problémy, jelikož výrazně omezují příjezd techniky pro obsluhu plavební komory, a skladovací plochy pro provoz vodního díla jako celku.

Hlavním závěrem studie proveditelnosti však bylo konstatování, že zabezpečení VD Kamýk je sice technicky možné, ale z provozního a investičního hlediska i vzhledem k faktickému významu vodního díla nelze tato technická řešení doporučit. Důvodem byla ekonomická a provozní náročnost, kdy byla vyslovena hypotéza, že rozdíl mezi potenciálními škodami způsobenými povodňovým průtokem při bezpečném provedení Q_{10000} a škodami při průchodu Q_{10000} a zároveň porušením vodního díla nebude tak významný, aby ospravedlnil výši investice těchto opatření.

3.2 AKTUALIZACE PARAMETRŮ ZVLÁŠTNÍCH POVODNÍ

V roce 2021 byly v návaznosti na nově upřesněné hydrologické podklady aktualizovány Parametry zvláštních povodní (VD Kamýk – Aktualizace parametrů zvláštních povodní; VODNÍ DÍLA – TBD a. s.). Významným zjištěním byla skutečnost, že vliv zvláštní povodně je hodně blízký stavu převádění teoretické povodňové vlny TPV10 000 bez porušení vzdouvací funkce VD. Výstupem byla, mimo jiné, definice zvláštní povodňové vlny (ZPV) a to v několika variantách:

ZPV – Varianta 1

Tato varianta vychází z předpokladu, že nedojde k vytvoření žádné poruchy a povodňový průtok bude převeden skrze přelivy a přes korunu hráze a boční zavázání. Tato varianta hypoteticky může nastat, avšak není příliš pravděpodobná. Mohla by představovat teoretickou úvahu, že pravobřežní zavázání bude technicky upraveno tak, aby při přelévání povodňových průtoků přes zemní konstrukce nedocházelo k jejich erozi a odlavení.

ZPV – Varianta 2

V této variantě bylo uvažováno, že k poruše hráze dojde za zvýšeného zatížení během převádění TPV10 000. Průběh zvláštní povodně je prezentován od doby, kdy dojde k prvnímu porušení hráze. Byl zvolen předpoklad, že k poruše dojde při překročení MBH = 287,10 m n.m. (odpovídající koruně hráze) o jeden metr a to na úrovni 288,10 m n.m.

Byl předpokládán hypotetický příklad, že po počátečním poškození těsnosti návodního líce a drobných poruchách pracovních vodorovných spár dojde postupným vyplavováním pojiva a k výraznému snížení soudržnosti v těchto spárách. Dále bylo uvažováno, že dojde k nepříznivému rozložení vztaku v této oblasti, výraznému zatížení vodorovnou složkou vodního tlaku při průchodu Q_{10000} , k posunutí po pracovní spáře a následnému překlopení betonových bloků.

Tato hypoteticky možná porucha byla simulována do dvou prostředních bloků, kde budou největší rychlosti dynamického zatížení přepadající vody a současně zde bude spolupůsobit proud vody narážející do zdvižených segmentů. Bloky budou vylomeny při dně zdrže a to v úrovni cca 270,00 m n.m. K destrukci dojde samozřejmě i s mostovkou. Vznikne tak otvor o hloubce 18 m a šířky 38 m.

Varianta 3

V této variantě bylo uvažováno, že k poruše hráze dojde za zvýšeného zatížení během převádění TPV 10 000. Průběh zvláštní povodně byl uvažován od doby, kdy dojde k prvnímu přelítí hráze, překročením MBH = 287,10 m n.m. (odpovídající koruně hráze a bočního zavázání) o 10 cm a to při dosažení úrovně 279,20 m n.m.

Bylo předpokládáno přelítí pravobřežního zavázání, kde dojde k postupnému posunu erozivního proudu od paty pravobřežního zavázání směrem od dolní vody (kde vznikla v roce 2002 při povodni nátrž vlivem vracejícího se proudu do vývaru) směrem k hrázi. Zhruba v těchto místech dochází k největšímu rychlostnímu namáhání přepadající vody a je pravděpodobné, že se tato porucha bude se zvyšujícím se průtokem při přelévání prokousávat k hrázi a následně dojde k vytvoření nátrže hradiční zemní konstrukce pravobřežního zavázání. Výsledkem je pak rozsáhlé porušení v pravém zavázání s šířkou otvoru průlomu ve dně 55 m a bočními sklony poruchy 67°.



Obrázek 3: Rozsah poškození pravého břehu po průchodu povodně 2002

Kulminační průtoky pro jednotlivé varianty byly stanoveny:

Varianta ZPV	$Q_{\max}$ ZPV [m ³ /s]
VAR 1 – současný stav bez poškození hráze	4 600
VAR 2 – vylomení dvou bloků	6 630
VAR 3 – nátrž PB zavázání	4 890

3.3 POSOUZENÍ POČTU OHROŽENÝCH OBYVATEL A POTENCIÁLU ŠKOD

Na základě tohoto podkladu zpracovalo ČVUT v Praze, Fakulta stavební dokument *Posouzení počtu ohrožených obyvatel a potenciálu škod v území ohroženém zvláštní povodní VD Kamýk*, který vyhodnotil potenciální škody pro jednotlivé scénáře porušení.

Z provedeného posouzení vzešly závěry, že potenciální škody VAR 2 oproti škodám průchodu $Q_{10\,000}$ dosahují 356 mil.Kč a v případě VAR 3 pak pouze 27 mil. Kč v cenové hladině 2021. Zároveň bylo konstatováno, že počet ohrožených obyvatel v dosahu ZPV pro jednotlivé varianty se významně neliší a činí 418 až 434 osob. V případě geneze KPV10 000 v profilu hráze VD Kamýk s celkovou plochou povodí 12.218 km² je možné očekávat dostatek času pro včasnou evakuaci osob z dosahu ZPV a minimalizaci ztrát na životech.

Závěry dosavadních prací tak potvrdily předpoklad, že realizace dodatečných opatření pro zabezpečení VD Kamýk pro převedení $Q_{10\,000}$ bez porušení vodního díla jsou nevhodné, nicméně otázka zabezpečení vodního díla dle platné legislativy stále nebyla vyřešena.

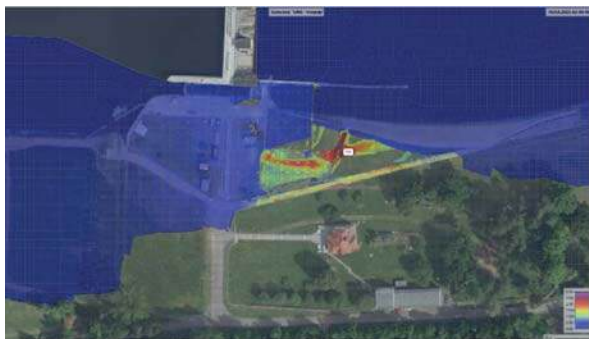
4. AKTUÁLNÍ POSTUP PŘÍPRAVY PRO ZABEZPEČENÍ VD KAMÝK PRO PŘEVEDENÍ VELKÝCH VOD

4.1 POSOUZENÍ ŘÍZENÉHO PROTRŽENÍ PRAVÉHO ZAVÁZÁNÍ

Jak bylo zmíněno, vyhodnocení potenciálních škod zvláštních povodní potvrdilo předpoklad, že při havárii vodního díla dojde teoreticky ke škodám, které jsou méně ekonomicky nákladné, než investiční opatření na jejich eliminaci zkapacitněním přelivných zařízení vodního díla. Výsledky prací nicméně nevyřešily splnění zákonné povinnosti správce vodního díla toto vodní dílo II kategorie zabezpečit na bezpečný průchod KPV.

Z provedených prací však zároveň vzešel zajímavý poznatek, že v případě porušení v pravém zavázání budou škody oproti porušení kolapsem tížných bloků výrazně nižší. Na základě tohoto předpokladu byla dále zkoumána realita varianty porušení VAR 3 – masivní erozi v pravém zavázání, ale již z opačného pohledu, ne jako problém a riziko, ale jako příležitost řešení ochrany tížných bloků, za cenu řízeného rozplavení v pravém zavázání.

Zatímco při stanovení parametrů zvláštních povodní se posuzoval tento scénář jako nejnepríznivější, v případě, že s tímto scénářem počítáme jako s plánovaným pozitivním vývojem při extrémní povodňové situaci je nutné ověřit, zda opravdu nastane a zda kapacita protržené části bude dostatečná, a to nikoliv na konci erozního procesu, ale již v průběhu povodně. Na základě předchozích výstupů byla stanovena teoretická průtočná kapacita erodované části v čase a porovnána s průběhem povodně $Q_{10\,000}$.



Obrázek 4: Simulace průtoku v pravém zavázání při MBH + 0,2 m. Průtok prostorem pravého zavázání 1,2 m³/s při maximální rychlosti 3,5 m/s.

Na základě výsledků bylo konstatováno, že k samovolné erozi může dojít až po překonání stávající mezní bezpečné hladiny. Pokud by k erozi mělo dojít dříve, je nezbytné provést technická opatření k rozplavení, kdy i tak by k rozplavení došlo až po rozhodnutí kompetentních zaměstnanců správce, případně krizového štábu kraje, či státu. Tato opatření by musela spočívat v cíleném porušení pravého zavázání.

Pokud by k tomuto rozhodnutí mělo dojít až po dosažení maximální hladiny v nádrži, což je běžný provozní stav, je na provedení všech nutných opatření s cílem dosažení plně nutné kapacity cca 1100 m³/s pouze 20 hodin. Tento časový úsek v situaci, kdy v části povodí již nastala extrémní povodňová situace a zbylá část povodí se na tuto situaci aktivně chystá, je zcela nedostatečný. Samostatnou otázkou je pak systém rozhodování a odpovědnosti, kdy toto rozhodnutí musí vydat konkrétní osoba a nést tedy za něj minimálně část odpovědnosti.

Závěrem posouzení tedy bylo konstatováno, že převedení $Q_{10\,000}$ při nepřekročení stávající mezní bezpečné hladiny není organizačně ani technicky možné. Zároveň stávající mezní bezpečná hladina je stanovena v úrovni, při jejímž překročení dojde k iniciaci porušení hráze v pravém zavázání, což bylo pro její stanovení určující, tedy zadání nesplňuje podmínku provedení KPV při nepřekročení MBH.

4.2 STANOVENÍ NOVÉ MBH

Opět jako již poněkoličtější v projektové přípravě zabezpečení vodního díla Kamýk na průchod velkých vod jsme narazili na pomyslný mantinel, který nelze překročit, a to MBH, mezní bezpečnou hladinu, byť jsme jej v případě myšlenky na řízené rozplavení již vlastně překročili.

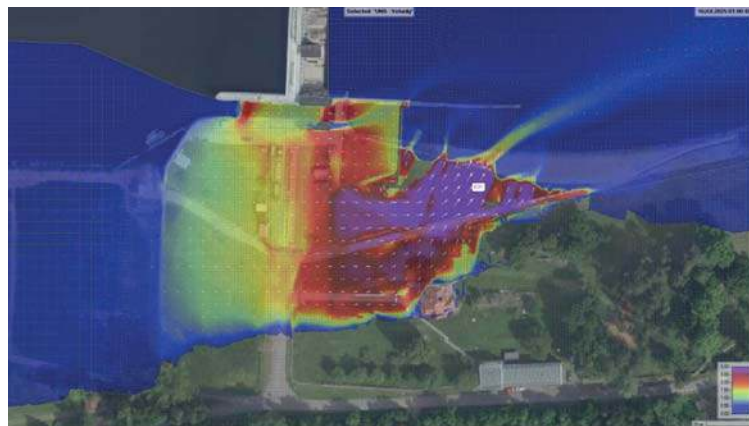
ČSN 75 2935 Posuzování bezpečnosti vodních děl při povodních definuje mezní bezpečnou hladinu, jako „úroveň hladiny v nádrži, při jejímž překročení nastává aktuální nebezpečí poruchy a havárie vodního díla“.

Jelikož jsme však všechny možné cesty k zabezpečení vodního díla bez překročení MBH vyloučili, je nutné tento mantinel v podobě stávající MBH vědomě překročit a „díličí havárii“ připustit. Hledaným řešením tak je připustit překročení MBH a stanovit mantinel nový, jakousi „druhou, meznější“ MBH, při jejímž překročení hrozí kolaps tížných přelivných bloků a zároveň bude dosaženo dostatečné průtočné kapacity přehradního profilu.

Jedná se o přelivnou kapacitu přehradního profilu, nikoli tedy pouze o kapacitu přelivných polí, ale i o průtočnou kapacitu přes prostor plavební komory prostor v levém a zejména v pravém zavázání, kde bude docházet k erozi.

Stanovení této hladiny vychází z posouzení stability přelivných bloků včetně technických možností případného zvýšení této stability a zároveň ze stanovení jednotlivých průtočných kapacit.

První část, tedy statické posouzení přelivných bloků již bylo provedeno odborníky společnosti Vodní díla TBD a.s., kdy byla posouzena stabilita bloků v kombinaci možných stavebně technických opatření pro na redukci vztakových poměrů v podloží pro stavy hladin MBH + 1,0 m, MBH + 1,5 m a MBH + 2,0 m s pozitivními výsledky. Předpokladem výpočtů je však zajištění funkce soustavy drenážních vrtů a zároveň nutná opatření proti zatopení prostoru injekční chodby v době povodní.



Obrázek 5: Simulace průtoku v pravém zavázání při MBH + 1,0 m. Průtok prostorem pravého zavázání téměř $63 \text{ m}^3/\text{s}$ při maximální rychlosti $8,3 \text{ m/s}$.

Druhou částí řešení je pak stanovení reálné kapacity přehradního profilu, kdy největší nejistota je stanovení kapacity čtyř přelivných polí, jelikož návrhová hladina je výrazně výš než maximální hladina, pro kterou jsou výpočtově stanovené kapacity ověřené na fyzikálním modelu z doby výstavby. Výpočet kapacity je extrémně citlivý na hodnotu součinitele přepadu, kdy malé difference v hodnotě přepadového součinitele vykazují zásadní difference hodnoty průtoku. Zároveň je zde otázka škrcení profilu jak dolní hranou segmentu, tak dolní hranou mostovky jeřábové dráhy. Proto bude stanovena reálná kapacita na fyzikálním modelu v celém zkoumaném rozsahu hladin MBH + 1 až $2,0 \text{ m}$, kdy bude dostatečné kapacity dosaženo.



Obrázek 6: Pohled na přelivy při povodni 2002

Po stanovení této nové mezní hladiny a po prověření proveditelnosti opatření pro zajištění zvýšené stability tížných přelivných bloků bude možné přistoupit k návrhu opatření na zmírnění škod při přelitu v pravém zavázání. Soubor těchto opatření pak bude výrazně méně nákladný než výstavba a následný provoz dodatečných přelivných zařízení.

5. ZÁVĚR

Bezpečnosti přehradních děl je věnována v naší zemi dlouhodobá pozornost odborníků, kteří stojí i za bezpečnostními standardy, které jsou i ve světovém měřítku na vysoké úrovni. I tak se však najde v praxi případ, kdy u splnění těchto standardů je nutné použít selský rozum a vydat se až na hranu výkladu legislativy, jako je příklad zabezpečení vodního díla Kamýk pro převod velkých vod. Sám autor příspěvku je zastávce konzervativního výkladu norem zajišťující bezpečnost a je si vědom, že obcházení nebo odvážnější výklad legislativy v jakémkoli oboru není správná cesta, natož v oblasti bezpečnosti. Věř však, že v případě, kdy jsou důvody k úpravě výkladu v konkrétním případě dostatečně podloženy reálnými argumenty a problematika je řešena v součinnosti s experty technicko bezpečnostního dohledu, je tento postup výjimečně přípustný.

Doufáme, že dosáhneme splnění požadavků a na příštím setkání odborníků na přehradní stavitelství již budeme moci prezentovat konkrétní návrhy opatření.

LITERATURA

- [1] Studie proveditelnosti: VD Kamýk zabezpečení před účinky velkých vod, Sweco Hydroprojekt a.s., 11/2018
- [2] VD Kamýk aktualizace parametrů zvláštních povodní, VD TBD, a.s., 04/2021
- [3] VD Kamýk - Stanovení mezní bezpečné hladiny, VD TBD, a.s., 08/2011
- [4] PK Kamýk – dokumentace změny stavby před dokončením, Sweco a.s. 11/2023
- [5] Posouzení počtu ohrožených obyvatel a potenciálu škod v území ohroženém zvláštní povodní VD Kamýk, ČVUT Praha, 10/2021
- [6] VD Kamýk nad Vltavou, studie posouzení vhodnosti převedení $Q10\,000$ v pravém zavázání, Sterplan 10/2025
- [7] VD Kamýk - Stabilita přelivného bloku pro limitní zatěžovací stavy, VD TBD, a.s., 12/2025

Ing. Radek Veselý

Sterplan a.s., Pod dráhou 1637/4, Holešovice, 170 00 Praha 7, Česká republika
radek.vesely@sterplan.cz

Ing. Jan Šimůnek

Povodí Vltavy, státní podnik, Holečkova 3178/8, 150 00 Praha 5, Česká republika
jan.simunek@pvl.cz

AUTOMATIZÁCIA MERNÝCH ZARIADENÍ NA SLEDOVANIE HPV NA VD GABČÍKOVO

R. Veselý & M. Kvetko

Vodohospodárska výstavba š. p., Bratislava, Slovenská republika

ABSTRAKT: VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA, ŠTÁTNY PODNIK, úsek technicko-bezpečnostného dohľadu (ďalej aj TBD), monitoruje na vodných stavbách o. i. aj hladinový režim v pozorovacích sondách. Najviac týchto sond sa nachádza na najväčšej vodnej stavbe VD Gabčíkovo (ďalej aj VDG). Na monitorovanie hladinového režimu podzemných vôd bola vybudovaná sieť pozorovacích sond. Do vybraných sond boli v minulosti osádzané automatické snímače hladín, ktoré sa postupom rokov modernizovali. V rámci poslednej modernizácie merných zariadení prebehli na VDG v rokoch 2017 ÷ 2019 tri etapy osadenia nových automatizovaných snímačov hladín do existujúcich sond. Zároveň sa zabezpečil diaľkový prenos nameraných dát do centrálného dispečingu, čím sa urýchlilo a skvalitnilo ďalšie ich spracovanie na TBD. Namerané údaje napomáhajú pri analýze dát počas prechodu zvýšených a povodňových prietokov korytom Dunaja. Taktiež sa využívajú pri mimoriadnych situáciách (napr. zníženie hladiny v zdrži počas opráv v Zdrži a Prívodnom kanáli). Dáta zo snímačov sa využívali aj počas inovácie a modernizácie plavebných komôr v Gabčíkove, ale tiež aj pri rôznych projektoch v okolí VDG.

1. VŠEOBECNÉ ÚDAJE O VD GABČÍKOVO

Vodná stavba Sústava vodných diel Gabčíkovo - Nagymaros bola z hľadiska technicko-bezpečnostného dohľadu ako celok zaradená do I. kategórie a bola daná do užívania na jeseň 1992. Vodné dielo Gabčíkovo, ktoré je súčasťou uvedenej vodnej stavby, pozostáva z nasledujúcich objektov:

- *Lavostranná hrádza zdrže Hrušov*
- *Pravostranná hrádza zdrže Hrušov*
- *Pravostranná hrádza na ľavom brehu Dunaja*
- *Spojovacia hrádza zdrže Hrušov*
- *Stupeň Čunovo (Pravostranná hrádza na pravom brehu Dunaja, VE Čunovo, Stredová hať Čunovo, Pomocná plavebná komora Čunovo, Prehradenie starého koryta Dunaja, Hať na obtoku)*
- *Lavostranná hrádza Prívodného kanála*
- *Pravostranná hrádza Prívodného kanála*
- *Stupeň Gabčíkovo (VE Gabčíkovo, PLK Gabčíkovo)*
- *Lavostranná hrádza Odpadového kanála*
- *Pravostranná hrádza Odpadového kanála*

Na VD Gabčíkovo (ďalej aj VDG) na uvedených objektoch bola vybudovaná hustá sieť merných a pozorovacích zariadení. Na monitorovanie hladinového režimu podzemných vôd v oblasti VDG bola vybudovaná koncom 80. rokov a začiatkom 90. rokov sieť pozorovacích sond.

Táto sieť pozostáva zo 4 typov sond :

- sonda typu PSR – pozorovacia sonda s ručným meraním
- sonda typu PSD – pozorovacia sonda s diaľkovým prenosom
- sonda typu PSM – pozorovacia sonda s miestnym záznamom
- sonda typu MRP – sonda na meranie rýchlosti prúdenia podzemných vôd

Do vybraných sond PSR a PSM boli už v minulosti osádzané automatické snímače hladín, ktoré sa postupom rokov modernizovali.

2. HISTÓRIA AUTOMATIZÁCIE MERNÝCH ZARIADENÍ NA SLEDOVANIE HPV NA VD GABČÍKOVO

História využitia automatizácie v pozorovacích sondách na monitorovanie režimu HPV na VDG bola pomerne pestrá a za dobu prevádzky vodného diela bolo použitých viacero typov automatizovaných snímačov.

Ako príklad z histórie vývoja automatizácie v sondách môžeme uviesť sondy typu PSM (spolu 51 ks), ktoré boli vybudované v intravilánoch obcí v priľahlom území VDG (napr. v Šamoríne, Hornom Bare, Sap, Bodíkoch, Čunove). Uvedené sondy mali za úlohu monitorovať stav hladiny podzemnej vody pri napúšťaní Zdrže Hrušov a neskorší vplyv prevádzky VDG na HPV v intravilánoch obcí a v ich okolí (napr. sťažnosti obyvateľov na vytopenie pivníc). Preto v roku 1990 boli do týchto sond ešte pred napustením Zdrže Hrušov a Prívodného kanála osadené automatické meracie a registračné stanice (typ AMRS). Ich výrobcom bol Velorex Hradec Králové, ktoré cez plavákový systém merali hladiny v sondách a následne ich zapisovali namerané údaje na magnetickú pásku. Tú bolo treba pretransformovať cez prehrávač do konečného tvaru, ktorý sa dal nahráť do počítača. Celý tento zber dát, obsluha i spracovanie bolo zdĺhavé a sprevádzané častými poruchami. Servis na tieto stanice prakticky neexistoval (firma Velorex krátko po novembri 1989 zanikla). Veľké batérie typu D bolo treba vymieňať za 4 až 6 týždňov a často nevydržali extrémne teploty v skrinkách na slnku (obrázok 1).



Obrázok 1: Pohľad na sondu PSM-081 v Bodíkoch
(Prívodný kanál – pravé zázemie v km 9,500 rade B)

Preto sa neskôr v polovici 90. rokov sa pristúpilo k automatickým snímačom od maďarského výrobcu (DATAQUA), ktoré hladinu v sondách merali pomocou zmeny odporu na meracích kábloch spustených v sondách. Nevýhodou týchto snímačov bolo, že pri poklese hladiny i mierne znečistenie vody zostal na kábli povlak nečistôt, ktorý snímač registroval ako hladinu a tým pádom sonda zostala „visieť“ (markantne sa to prejavilo pri monitoringu riadených

umělých záplav v ľavostrannej ramennej sústavy Dunaja). Časté problémy boli aj s transportom nameraných dát do počítača. Aj samotný servis bol veľmi komplikovaný (servis bol až v Maďarsku a platba bola v dolároch) a po čase aj sprostredkovateľská firma zanikla. A pretože na jeseň 2001 začalo aj posledné vyčítavacie zariadenie vykazovať poruchy bolo rozhodnuté o výmene už dosluhujúcich automatických hladinomerov typu Dataqua.

V ďalšej fáze automatizácie sa vybrané sondy PSM vybavili tlakovými snímačmi od firmy Meret. Tie zabezpečovali merania v rokoch 2001 ÷ 2010. Snímače boli málo poruchové, ale ich slabina bola v software, ktoré nevedeli v prestupnom roku rozlíšiť prechod z letného na zimný čas (a opačne) a prestali merať. V roku 2002 sa vyskytla ďalšia záhada, keď software mylne označil rok 2002 za prestupový a snímače od marca 2002 nemerali. Preto veľká povodňová vlna, ktorá prešla Dunajom v marci (kulminácia v Devíne dňa 24.03.2002 pri prietoku 8446 m³.s⁻¹) nebola týmito snímačmi zachytená. Túto chybu nevedel dodávateľ odstrániť a preto zamestnanci TBD museli práce ručne upravovať dátumy. V roku 2010 boli už snímače zastaralé a značne poruchové.

Preto po roku 2010 boli tieto odporové snímače nahradené tlakovými snímačmi Solints od kanadského výrobcu. Tieto snímače sa vyznačovali vysokou presnosťou merania, veľkou výdržou batérie a minimálnymi požiadavkami na údržbu. Nevýhodou týchto snímačov bola nutnosť fyzickej prítomnosti pri zbere dát a nemožnosť operatívneho prístupu k snímaču počas jeho prevádzky.

Čo sa týka ostatných sond vybudovaných na VDG, v 90. rokoch boli do vybraných sond typu PSR osadené tlakové snímače od firmy SAT. Tieto snímače namerané dáta posielali cez podzemné káble vyvedené do merných staníc (označenie MS), ktoré boli vybudované pozdĺž celého VD Gabčíkovo na ľavej i pravej strane (o dĺžke cca 100 km). Z merných staníc boli dáta posielané na vodohospodársky dispečing v Gabčíkove. Aj tu bola nevýhoda tohto zberu dát častá poruchovosť a nemožnosť operatívneho prístupu do ich prevádzky.

S pribúdajúcimi rokmi jednotlivé snímače postupne vypadávali a na väčšine sond na VDG sa prešlo k ručnému meraniu min. 1 krát týždenne. Ručné meranie v sondách v majetku Slovenského vodohospodárskeho podniku š. p. (ďalej aj SVP š. p.) bolo zabezpečené dodávateľsky a tieto merania boli často sprevádzané s problémami s prístupom k samotným sondám a merania boli aj ovplyvnené nepriaznivými meteorologickými podmienkami. Nezanedbateľné boli aj zvýšené finančné náklady. Ďalšia veľká nevýhoda tohto ručného merania bola skutočnosť, že často počas prechodu vln zvýšených prietokov Dunajom sa kulminácia vôbec nezachytila (víkendy, sviatky), čo nepriaznivo ovplyvňovalo vyhodnocovanie režimu podzemných vôd v oblasti VDG.

Preto sa Vodohospodárska výstavba š. p. (ďalej aj VV š. p.) rozhodla v roku 2017 nahradiť zastaralý dožívajúci systém automatizovaných snímačov moderným plnoautomatizovaným meraním a zberom dát hladinového režimu v sondách a z vlastných finančných zdrojov spustila nový projekt „Vybudovanie automatizácie merných zariadení SVD Gabčíkovo – I. časť“. V rámci tejto etapy poverená firma Regotrans osadila do vybraných sond 380 tlakových snímačov s datalogermi a vstavanou batériou. Údaje zo snímača idú do datalogeru, z ktorého cez mobilnú sieť sa posielajú operátorovi (Orange), ktorý ho cez zabezpečené internetové pripojenie posielajú na server VV š. p. Prioritne boli vybrané sondy na korune a päte hrádzí. Na Zdrži Hrušov bolo osadených 147 ks, na Prívodnom kanáli 112 ks, na Stupni Gabčíkovo 75 ks a na Odpadovom kanáli 46 ks.

Ďalšia II. etapa prebehla v roku 2018, keď opäť poverená firma Regotrans osadila do ďalších vybraných sond 442 automatizovaných snímačov (v rámci projektu „Vybudovanie automatizácie merných zariadení SVD Gabčíkovo – II. časť“). Na Zdrži Hrušov bolo osadených 199 ks (obrázok 2), na Prívodnom kanáli 206 ks, na Stupni Gabčíkovo 11 ks a na Odpadovom kanáli 26 ks.

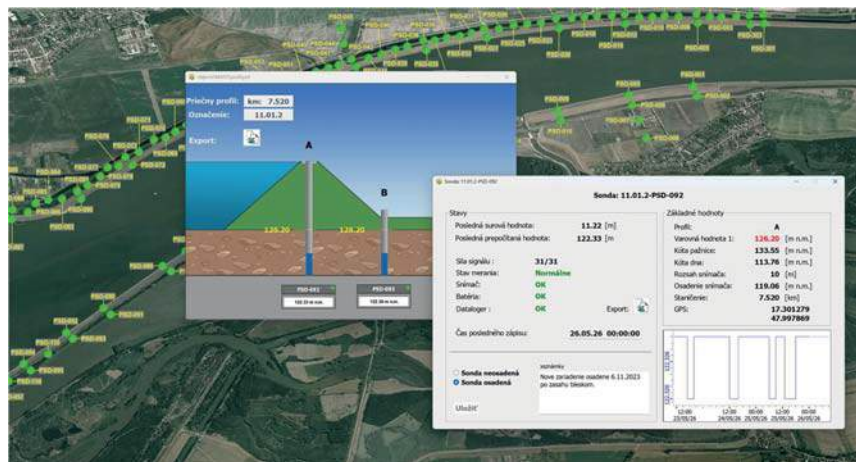


Obrázok 2: Sonda PSD-022 (Spojovacia hrádza – koruna v km 2,948) so snímačom od Regotransu

Veľkou výhodou snímačov od firmy Regotrans bola aj dodaná platforma Scada, kde sa dajú aktuálne zobrazovať stav snímačov na jednotlivých objektoch (obrázok 3) a detailne zobrazovať i graficky priebeh HPV v jednotlivých sondách a stav ich batérií (obrázok 4). Výhoda u týchto snímačov je aj možnosť operatívneho prístupu aj priamo na mieste a možnosť ich kalibrácie, čo využívajú zamestnanci Vodohospodárskej výstavby š. p. – úseku TBD (ďalej VV B – TBD) pri pravidelných kontrolných meraniach. Napájanie snímačov je batériové.



Obrázok 3: Zobrazenie sond v platforme Scada na Zdrži Hrušov a stupni Čunovo



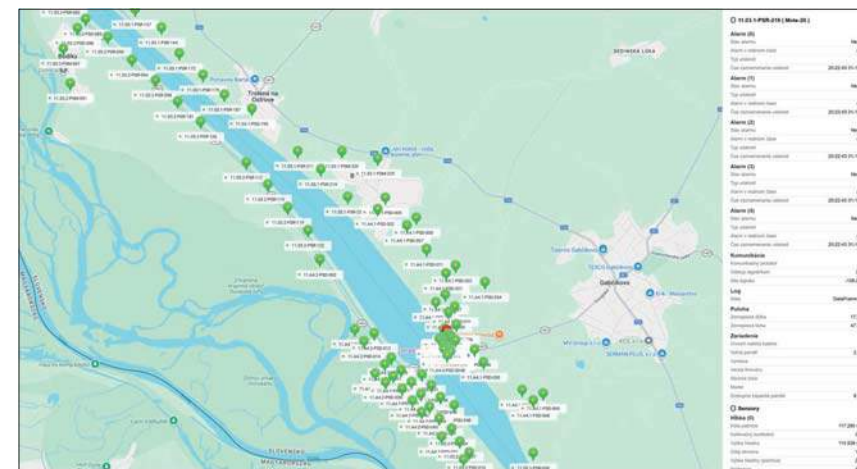
Obrázok 4: Detail z platformy Scada (názov sondy, jej staničenie, poloha podľa GPS, stav snímača a batérií, teplota vody, poznámky)

V roku 2019 prebehla ďalšia už III. etapa v rámci projektu „Výbudovanie automatizácie merných zariadení SVD Gabčíkovo – III. časť“, keď poverená firma Altron osadila na Zdrži Hrušov 103 ks, na Prívodnom kanáli 64 ks, na Stupni Gabčíkovo 66 ks a na Odpadovom kanáli 27 ks. V tomto prípade idú údaje z datalogeru cez lokálnu rádiovú sieť (LORAWAN) do mernej stanice (MS) a odtiaľ cez optickú sieť do lokálnej technologickej siete LAN na databázový server VV B. Zväčša sa jednalo o sondy umiestnené v zázemí, ale snímačmi boli vybavené aj sondy okolo PLK na stupni Gabčíkovo. Výhodou týchto snímačov je možnosť ich kalibrácie na diaľku bez nutnosti fyzickej prítomnosti obsluhy. Napájanie je batériové doplnené solárnymi panelmi (obrázok 5).



Obrázok 5: Sonda PSR-011 (Prívodný kanál – pravé zázemie v km 1,000 rade A) so snímačom od Altronu

Súčasťou dodávky bola aj platforma Flover (obrázok 6) prostredníctvom ktorej zamestnanci VV B – TBD vedia identifikovať polohu nefungujúceho snímača, silu signálu i stav napájania.



Obrázok 6: Detail z platformy Flover (názov sondy, jej staničenie, poloha, výška pažnice, stav snímača a batérií, sila signálu, teplota vody)

Uvedené automatizácie merných zariadení na sledovanie HPV výrazne kvalitatívne posunulo dopredu zber a spracovanie dát na VDG. O údržbu a kalibrovanie automatizovaných snímačov sa starajú zamestnanci VV B – TBD, ktorí v pravidelných intervaloch vykonávajú kontrolné merania. Taktiež v prípade zistenia väčších rozdielov v meraniach vedia operatívne prekalibrovať snímače priamo na mieste. Zamestnanci VV B – TBD každý mesiac kontrolujú stav automatizovaných snímačov na celom VDG a spisujú reklamácie, ktoré sú zasielané dodávateľom. Operatívna vizuálna kontrola sa vykonáva každý deň prostredníctvom platformy. V prípade dlhšieho výpadku snímača je zabezpečené ručné meranie sondy, ktoré vykonávajú zamestnanci SVP š. p. U poruchových snímačov je zabezpečený pozárúčny servis. Všetky snímače sú riadne poistené a zamestnanci VV B – TBD spolupracujú pri likvidácii poistných udalostí (poškodenie bleskom a zverou, vandalizmus, krádež).

Každý mesiac zamestnanci VV B – TBD vyhodnocujú prevádzku automatizovaných snímačov. Ich funkčnosť je vysoká a pohybuje sa medzi 95 až 97 %. Snímače merajú s vysokou presnosťou a ich kalibrácia je minimálna. Namerané údaje (hustota meraní je každá hodina) napomáhajú pri analýze dát počas prechodu zvýšených a povodňových prietokov korytom Dunaja. Napr. pri mohutnej povodňovej vlně v septembri 2024 (kulminácia v Devíne dňa 18.09.2024 pri prietoku $9673 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) vďaka údajom zo snímačov sa dala presne určiť postupujúca kulminácia hladín na dlhých líniových stavbách ako je napr. Lavostranná hrádza Zdrže Hrušov (dĺžka 25 km), čo spresnilo vyhodnotenie hladinového režimu v príslušnej etapovej správe. Údaje zo snímačov sa taktiež využívajú pri mimoriadnych situáciách (napr. zníženie hladiny v zdrži počas opráv opevnení v Zdrži Hrušov a asfalto-betónového tesnenia na Prívodnom kanáli). Dáta zo snímačov (konkrétne z okolia PLKG) sa využívali aj počas inovácie a modernizácie PLK v Gabčíkove, ale tiež aj pri rôznych projektoch v okolí VDG. Dáta sú pravidelne poskytované aj správcovi vodného toku SVP š. p.

Okrem už spomenutých automatizovaných snímačov treba spomenúť aj Autonomný systém varovania a vyzrozumenia (ďalej aj ASVaV), ktorý bol osadený na ľavej a pravej hrádzi Prívodného kanála, ktorý má za úlohu monitorovať hladiny v sondách na korune a päte a taktiež hladiny v oboch priesakových kanáloch meraných na vzdúvacích objektoch. V prípade nebezpečia (napr. poškodenie hrádze Prívodného kanála) systém aktivuje výstražné sirény, ktoré sú rozmiestnené po obvode Prívodného kanála a varujú obyvateľov priľahlých dedín pred vzniknutým nebezpečenstvom. Tento systém je autonómny, to znamená, že má nezávislé napájanie, samostatný kábel, ktorý je vyvedený do vodohospodárskeho dispečingu v Gabčíkove do samostatného servera a na 2 samostatné počítače (1 je záložný). V minulosti systém spravovala firma Regotrans, v súčasnosti firma SCTECH.

3. ZÁVER

Na záver uvádzame celkovú tabuľku automatizácie sond na celom VDG. Momentálne automatizované snímače sa nachádzajú v 88,9 % všetkých funkčných sondách na VDG (tabuľka 1). Snímače neboli osadzované v poškodených sondách, v sondách umiestnených na súkromných pozemkoch a na ťažko prístupných miestach.

Tabuľka 1: Automatizácia sond na VD Gabčíkovo (VV B – TBD)

Objekt VDG		Profil	Počet sond [ks]	Snímače Regotrans	Snímače Altron	Automatizácia [%]
Zdrž Hrušov	Ľavostranná hrádza	koruna	46	43	3	100,0
		päta	175	169	3	98,3
		zázemie	78	15	52	85,9
	Pravostranná hrádza	koruna	16	11	5	100
		päta	21	11	5	76
		zázemie	21	5	11	76
	Pravostranná hr. na ľavom brehu Dunaja	koruna	25	25	0	100
		päta	30	30	0	100
		zázemie	5	4	1	100
	Spojovacia hrádza	koruna	6	6	0	100
		päta	11	6	0	55
		zázemie	12	2	9	92
Stupeň Čunovo	Pravostranná hr. na pr brehu Dunaja	koruna	8	5	3	100
		päta	10	10	0	100
	Doplňujúce sondy		15	11	1	80
	Prehradenie starého koryty Dunaja	pred PTS	13	6	4	77
		za PTS	15	6	6	80
Prívodný kanál	Ľavostranná hrádza	koruna	163	163	0	100
		päta	55	38	0	69
		zázemie	55	10	28	69
		Priepust	7	7	0	100
	Pravostranná hrádza	koruna	56	52	1	95
		päta	69	41	1	61
		zázemie	51	6	34	78
Stupeň Gabčíkovo	Ľavá strana	koruna	14	13	1	100,0
		päta	5	5	0	100,0
		zázemie	59	40	18	98,3
	Ostrov		35	18*	16	97
		Pravá strana	koruna	2	2	0
	päta		3	3	0	100
	zázemie		49	23	24	96
Odpadový kanál	Ľavostranná hrádza	koruna	17	13	4	100
		päta	36	26	9	97
		zázemie	15	5	10	100
	Pravostranná hrádza	koruna	12	12	0	100
		päta	14	14	0	100
		zázemie	5	2	3	100
		Spolu		1229	840	252

* snímače Geomonitor

Na základe doterajších skúseností so súčasnými automatizovanými snímačmi môžeme povedať, že súčasná automatizácia výrazne kvalitatívne posunula dopredu monitorovanie prúdenia podzemných vôd v oblasti VDG. Automatizácia merných zariadení úspešne pokračuje aj na ďalších vodných stavbách na Slovensku.

LITERATÚRA

- [1] VESELÝ, Roman a kol.: VD Gabčíkovo – Objekty v správe SVP: Súhrnná etapová správa o dohľade za obdobie doterajšej existencie do 31.12.2021. VV B š. p. Bratislava, 2022. 259 s.
- [2] VESELÝ, Roman a kol.: VD Gabčíkovo – Objekty v správe SVP: Etapová správa o dohľade za obdobie od 01.01.2024 do 31.12.2024. VV B š. p. Bratislava, 2025. 214 s.
- [3] VESELÝ, Roman a kol.: VD Gabčíkovo – Objekty v správe VV B: Súhrnná etapová správa o TBD za obdobie doterajšej existencie (1992 ÷ 2024). VV B š. p. Bratislava, 2025. 485 s.
- [4] VESELÝ, R. Spracovania merania hladín v sondách PSM v rokoch 2002 ÷ 2012. VV B š.p. Bratislava, 2002 ÷ 2012. 88 s.

Ing. Roman Veselý

VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA, š.p., P.O.BOX 45, Karloveská 2, 842 04 Bratislava
roman.vesely@vzb.sk

Ing. Martin Kvetko

VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA, š.p., P.O.BOX 45, Karloveská 2, 842 04 Bratislava
E-mail adresa: martin.kvetko@vzb.sk

DIGITÁLNÍ DVOJČE VD DALEŠICE

P. Vymlátal

Designtec s.r.o., Brno, Česká republika

V. Rainer

VODNÍ DÍLA-TBD a.s., Brno, Česká republika

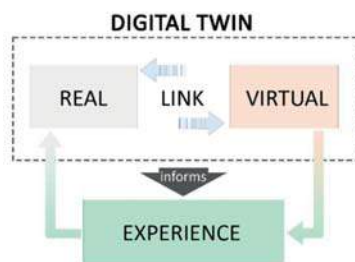
J. Hodák

CREA Hydro&Energy, z.s., Brno, Česká republika

ABSTRAKT: Příspěvek je zaměřen na prezentaci technologie digitálních dvojčat pro přehradní vodní díla. Digitální dvojče (z anglického konceptu “Digital Twin”) je virtuální model reálného fyzického objektu navržený tak, aby věrně reprezentoval fyzikální vlastnosti své reálné předlohy a uživateli poskytoval informace na základě měřených dat a matematických modelů. Digitální dvojčata pomocí webového rozhraní propojují online výsledky z monitoringu veličin technickobezpečnostního dohledu (TBD) na reálné konstrukci s predikovanými výsledky těchto veličin ze simulačního modelu této konstrukce vytvořeného ve zvoleném softwaru. Příspěvek se zaměřuje zejména na poslední dvojče pro VD Dalešice (ČEZ, a.s.), kde je využita také technologie umělé inteligence, resp. strojového učení pro vybrané veličiny související s bezpečností vodního díla.

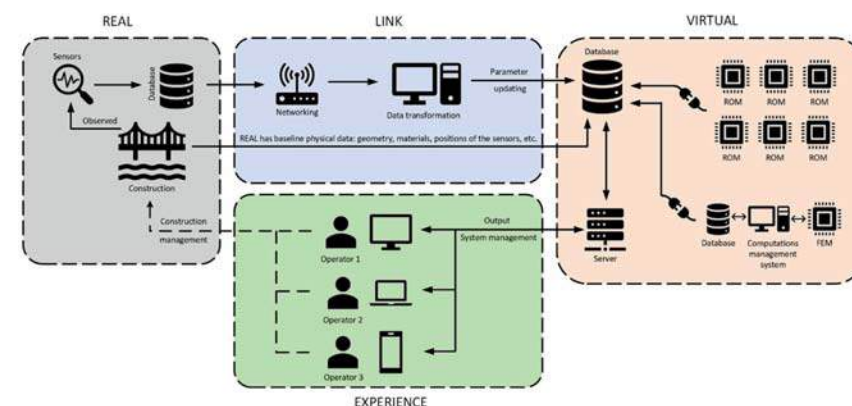
1. ÚVOD

Technologie digitálního dvojčete představuje způsob, jak propojit reálnou konstrukci s jejím virtuálním modelem tak, aby bylo možné průběžně sledovat její stav, interpretovat měřená data a podporovat technické rozhodování při provozu a údržbě. V případě přehradních vodních děl má tento přístup zvláštní význam, protože umožňuje spojit výsledky technickobezpečnostního dohledu, dlouhodobého monitoringu, numerických simulací a expertního hodnocení do jednoho provozně využitelného celku. Digitální dvojče tak nepředstavuje pouze statický 3D model konstrukce, ale živý datový a výpočetní systém, který reaguje na nově přicházející informace a průběžně aktualizuje obraz sledovaného objektu. Tento princip (viz obr. 1) vytváří předpoklady pro včasné rozpoznání odchylek v chování konstrukce, ověřování hypotéz o příčinách změn a lepší plánování technických zásahů.



Obrázek 1: Vizualizace principu technologie digitálního dvojčete [1]

Navržené řešení vychází z architektury členěné do čtyř logických částí REAL, VIRTUAL, LINK a EXPERIENCE, viz obr. 2. Vrstva REAL zahrnuje samotnou reálnou konstrukci, její geometrii, materiálové vlastnosti a senzory poskytující provozní a monitorovací data. Vrstva VIRTUAL představuje vlastní digitální model zahrnující databázové zázemí, simulační modely a redukované modely na bázi strojového učení. Vrstva LINK zajišťuje převod, synchronizaci a sjednocení datových toků mezi měřením a modelem. Vrstva EXPERIENCE je tvořena aplikací, v níž uživatel pracuje s výsledky, porovnává měřené a predikované veličiny, vytváří scénáře a vyhodnocuje stav konstrukce. Takové rozdělení umožňuje oddělit jednotlivé odpovědnosti systému, ale současně zachovat jejich provázanost v jednom funkčním celku. Pro oblast vodních děl je tento přístup výhodný zejména proto, že kombinuje tradiční inženýrské posuzování s moderní datovou infrastrukturou a otevírá prostor pro využití prediktivních metod.



Obrázek 2: Architektura digitálního dvojčete

2. APLIKACE METOD STROJOVÉHO UČENÍ NA DATA TBD

Vedle numerického modelování je pro digitální dvojče klíčová také schopnost vytvářet rychlé predikční modely z dat technickobezpečnostního dohledu. U rozsáhlých a dlouhodobě sledovaných konstrukcí, jako jsou přehradní hráze, vznikají časové řady měřených veličin, které nesou informaci o chování konstrukce v závislosti na provozních, hydraulických i klimatických podmínkách. Metody strojového učení umožňují z těchto dat odvodit redukované modely schopné v krátkém čase aproximovat očekávaný vývoj sledovaných veličin. Takové modely jsou vhodné zejména tam, kde je potřeba téměř okamžitá odezva, opakované vyhodnocování nebo scénářové analýzy typu „what-if“. V kontextu digitálního dvojčete se proto neuplatňují jako náhrada odborného posouzení, ale jako jeho rozšíření o rychlou analytickou vrstvu, která doplňuje klasické numerické modely a usnadňuje operativní interpretaci dat.

Použitá metodika vychází z několika po sobě jdoucích kroků, které jsou schematicky znázorněny na obr. 3: sběru dat (krok 1), jejich analýzy (krok 2), předzpracování (krok 3), výběr modelu a jeho učení (krok 4) a vyhodnocení modelu (krok 5).

Zdrojem dat pro učení mohou být jednak reálná měření ze senzorů instalovaných na konstrukci, jednak data generovaná numerickými simulačními modely. Reálná měření poskytují přímou vazbu na skutečné chování konstrukce v provozu a zahrnují například posuny, piezometrické

výšky, hladiny, teploty nebo další veličiny sledované v rámci TBD. Simulační data naopak umožňují systematicky vytvářet trénovací sady pro stavy, které se v reálném provozu vyskytují jen omezeně nebo vůbec. Další možností je kombinace obou přístupů: numerický model slouží jako zdroj strukturovaných dat pro návrh a kalibraci redukovaného modelu a reálná měření pak pro jeho ověření nebo dodatečné doladění.

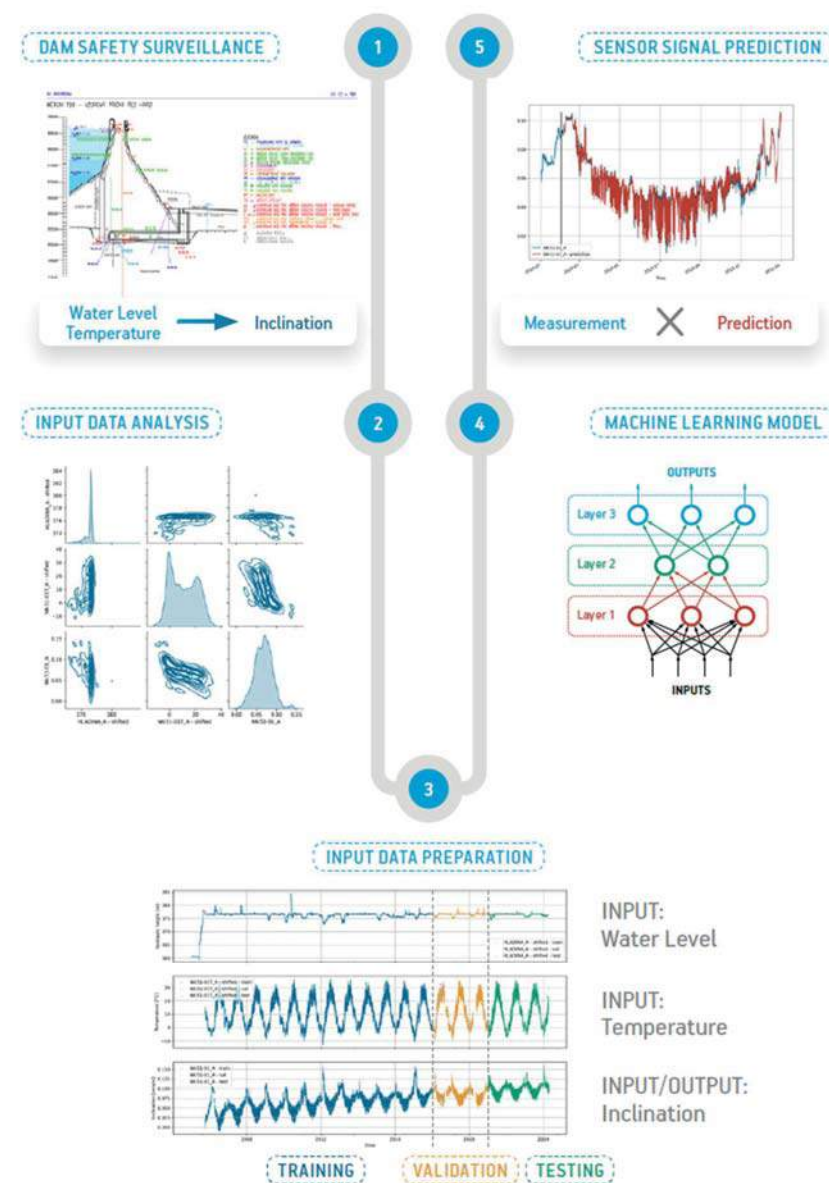
Analýza dat je podstatný krok, ve kterém se identifikují anomálie v datech, jako jsou chybějící nebo odlehle hodnoty. Pomocí statistických metod (korelace) se zkoumají vztahy mezi jednotlivými proměnnými, což umožňuje zvolit vhodné nezávislé proměnné pro trénování modelu.

Před samotným procesem učení je nezbytné data nejprve předzpracovat. To zahrnuje jejich očištění, odstranění odlehle hodnot, vyřešení chybějících záznamů a sjednocení periody vzorkování. Následně se hodnoty transformují do jednotného rozsahu pomocí normalizace či standardizace. Klíčovým krokem je pak rozdělení datové sady na tři části: trénovací, validační a testovací. Trénovací data slouží k samotnému nastavení parametrů modelu (trénování), zatímco na validačních datech se porovnává úspěšnost různých architektur a vybírají se ty nejlepší modely. Finální testovací část pak poskytuje nezávislé vyhodnocení zvoleného modelu. Výsledky na této sadě jednoznačně určují schopnost modelu zobecňovat a úspěšně predikovat data, se kterými se během vývoje dosud nesetkal.

Dalším podstatným krokem je výběr modelu. V rámci projektu byly pro predikci vybraných signálů využívány zejména neuronové sítě, a to především architektury s rekurentními vrstvami vhodné pro práci s časovými řadami. Vstupem modelu jsou obvykle historické hodnoty vybraných signálů, případně jejich transformované podoby, zatímco výstupem je predikce sledované veličiny v budoucím čase nebo odhad její očekávané hodnoty. Učení modelu probíhá na trénovací části datové sady. Princip učení spočívá v opakovaném předkládání datových vzorků, které obsahují vstupní hodnoty i jim odpovídající správné výstupy (tzv. učení s učitelem). Model na základě vstupů vygeneruje vlastní odhad, který se následně porovná s reálným výstupem. Vnitřní parametry modelu se pak upraví tak, aby se odchylka mezi predikcí a skutečností minimalizovala.

Vyhodnocení kvality predikce regresních modelů se provádí s využitím vhodných metrik, jako je např. střední absolutní chyba (MAE), střední kvadratická chyba (MSE) nebo koeficient determinace R².

Pokud model nedosahuje požadované kvality predikce, je zpravidla nutné vrátit se k jednotlivým krokům přípravy a návrhu. Nejčastější příčinou bývá nedostatečná kvalita vstupních dat, příliš krátká historie měření, nevhodně zvolené vstupní proměnné nebo skutečnost, že sledovaná veličina je významně ovlivňována faktory, které model neobsahuje. Zlepšení lze dosáhnout rozšířením datové sady, doplněním dalších relevantních signálů, úpravou předzpracování nebo změnou architektury modelu. V některých případech je vhodné upravit i samotný účel modelu a nepokoušet se o detailní predikci veličiny, jejíž chování je příliš složité nebo silně podmíněné náhodnými vlivy, ale použít model například pro detekci odchylek, klasifikaci stavů nebo odhad trendu. Prakticky důležité je také průběžné porovnávání modelu s fyzikálním porozuměním konstrukce: výsledky strojového učení musí být interpretovány v souvislosti s provozem vodního díla a nemohou být posuzovány izolovaně bez odborného inženýrského kontextu.



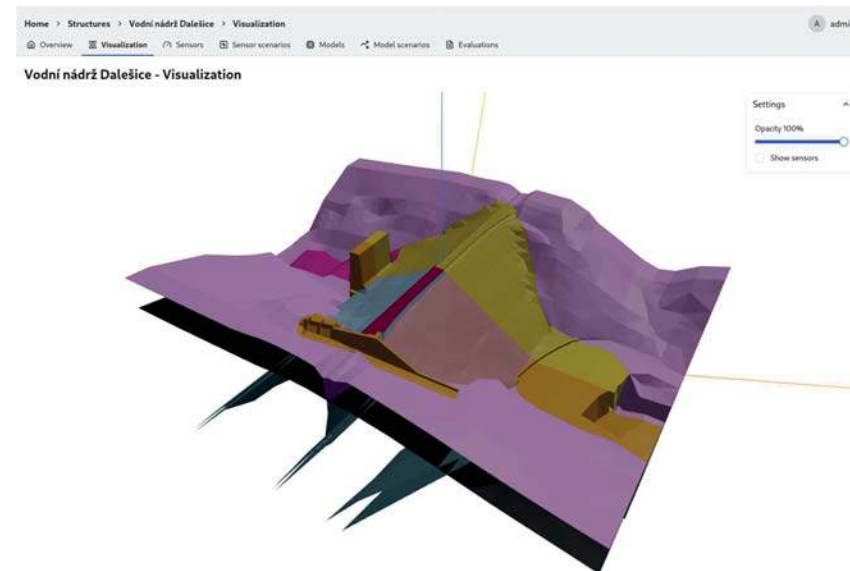
Obrázek 3: Postup zpracování dat a učení modelu pro predikci veličin TBD

3. DIGITÁLNÍ DVOJČE VD DALEŠICE

Digitální dvojče VD Dalešice je uživateli zpřístupněno prostřednictvím webové aplikace, která tvoří prezentační vrstvu celé platformy. Jejím úkolem není pouze zobrazovat data, ale umožnit uživateli aktivní práci s digitálním dvojčetem včetně prohlížení konstrukce, správy senzorů a modelů, vytváření scénářů a vyhodnocování predikcí. Po přihlášení se uživateli zobrazí domovská stránka s přehledem dostupných konstrukcí. Po výběru konkrétní konstrukce je k dispozici několik navazujících sekcí. Stránka „Overview“ (viz obr. 4) slouží jako základní přehled a zobrazuje nejčastěji používaná data, typicky měřené a predikované signály vybraných senzorů. Sekce „Visualization“ (viz obr. 5) umožňuje zobrazit 3D model konstrukce včetně zobrazení polohy senzorů. Sekce „Sensors“ a „Sensor scenarios“ slouží ke správě senzorů a scénářů jejich časových signálů, které je možné vkládat, filtrovat a vykreslovat v grafech. Sekce „Models“ a „Model scenarios“ umožňují registrovat modely, nastavovat jejich parametry, definovat vstupy a výstupy a zobrazovat predikované průběhy veličin. V sekci „Evaluations“ jsou pak k dispozici nástroje pro porovnání měřených a predikovaných dat pomocí vybraných metrik kvality predikce. Aplikace současně rozlišuje uživatelské role, takže privilegovaní uživatelé mohou spravovat uživatele, modely a konfiguraci systému, zatímco běžní uživatelé pracují především se scénáři a vyhodnoceními. Význam webové aplikace spočívá v tom, že spojuje databázové, výpočetní a analytické části digitálního dvojčete do přehledného pracovního prostředí využitelného pro technickobezpečnostní dohled nad vodním dílem.



Obrázek 4: Stránka „Overview“ webové aplikace digitálního dvojčete VD Dalešice



Obrázek 5: Vizualizační stránka digitálního dvojčete VD Dalešice se zobrazením modelu konstrukce

4. ZÁVĚR

Představené řešení ukazuje, že technologie digitálních dvojčat má v oblasti přehradních vodních děl reálný aplikační potenciál. Jejím hlavním přínosem je propojení reálných měření, numerického modelování, redukovaných modelů na bázi strojového učení a uživatelsky přístupné webové aplikace do jednoho funkčního systému. Takové pojetí umožňuje nejen průběžně sledovat stav konstrukce, ale také efektivněji interpretovat získaná data, porovnávat skutečné a očekávané chování a vytvářet scénáře pro podporu rozhodování při provozu a údržbě. V případě VD Dalešice je přínos řešení významný i tím, že vedle klasického monitoringu umožňuje využít rychlé datově řízené modely pro vybrané veličiny související s bezpečností vodního díla. Zkušenosti z vývoje a nasazení současně potvrzují, že úspěšné digitální dvojče nevzniká pouze jako softwarový produkt, ale jako kombinace kvalitních dat, odpovídajícího fyzikálního nebo ML modelu a přehledného uživatelského rozhraní. Do budoucna lze očekávat, že podobná řešení budou hrát stále důležitější roli při správě významných inženýrských konstrukcí, zejména tam, kde je požadována vysoká úroveň bezpečnosti, průběžné vyhodnocování stavu a podpora prediktivní údržby.

PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek vznikl v rámci projektu „Softwarová platforma pro vytváření a provoz digitálních dvojčat inženýrských konstrukcí a staveb využívající technologii strojového učení“, registrační číslo CZ.01.01.01/22_002/0000705, realizovaného za finanční podpory Operačního programu Technologie a aplikace pro konkurenceschopnost (OP TAK).



LITERATURA

- [1] PREGNOLATO, M.; GUNNER, S.; VOYAGAKI, E.; DE RISI, R.; CARHART, N.; GAVRIEL, G.; TULLY, P.; TRYFONAS, T.; MACDONALD, J. a TAYLOR, C. Towards Civil Engineering 4.0: Concept, workflow and application of Digital Twins for existing infrastructure. *Automation in Construction*. 2022, sv. 141, čl. 104421. ISSN 0926-5805.
- [2] VODNÍ DÍLA-TBD a.s. VD Dalešice – 36. etapová zpráva o TBD za období 1. 5. 2023 – 30. 4. 2024. Brno: VODNÍ DÍLA-TBD a.s., 2024.
- [3] VODNÍ DÍLA-TBD a.s. *VD Dalešice: program TBD*. 4. revize platná od 01/2013. Brno: VODNÍ DÍLA-TBD a.s., 2013.
- [4] HLADÍK, Ivo. Závěrečná zpráva 4. etapy. Vytvoření matematického modelu napjatosti a přetvoření hráze. Elektrárna Dalešice, 4. etapa – Prostorové modelování hráze a podloží – dokončení. Praha, 2022.

Ing. Petr Vymlátíl, Ph.D.

Designtec s.r.o., Žižkova 59, Brno, Česká republika
vymlatil.p@designtec.eu

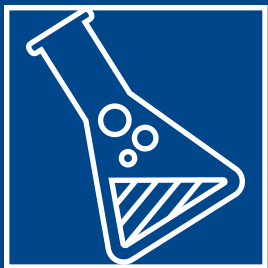
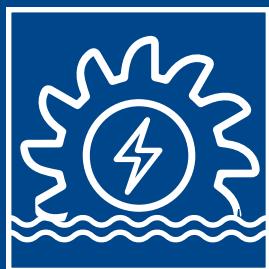
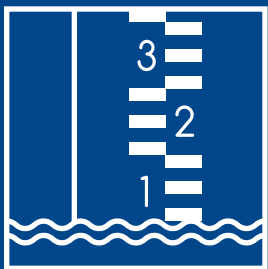
Ing. Vít Rainer

VODNÍ DÍLA-TBD a.s., Studená 909/2, Brno, Česká republika
rainer@vdtbd.cz

Ing. Jiří Hodák, Ph.D.

CREA Hydro&Energy, z.s., Traubova 6, Brno, Česká republika
hodak@vdtbd.cz





60 LET
POVODÍ VLTAVY
1966 - 2026

ŽIJEME VODOU



www.pvl.cz



www.instagram.com/povodivltavy/



[povodivltavy](https://www.facebook.com/povodivltavy)



[povodí Vltavy \(@povodivltavy\)](https://twitter.com/povodivltavy)

Voda je zdrojem života

Česká republika se nachází na střeše Evropy a veškerá voda z našeho území odtéká. Prioritou je zadržení vody v krajině a současně akumulace vody ve vodních nádržích, abychom i v období sucha mohli zajistit dostatek vody pro zásobování obyvatel pitnou vodou, energetiku, průmysl i na-
dlepšování průtoku na dolní části vodního toku.

S ohledem na postup klimatické změny bude potřeba v určitých lokalitách Česka vybudovat ještě několik dalších vodních nádrží. Je nezbytné zajistit dostatečné množství kvalitních zdrojů vody, aby i další generace mohly užívat vodního blahu-
bytu jako my nyní...

Za nejstarší známou přehradu na světě je považována Jawa Dam v dnešním Jordánsku, vybudovaná přibližně kolem roku 3000 př. n. l. Přehrada Sadd el-Kafara budovaná asi 2650 př. n. l. v Egyptě měla sloužit k ochraně před povodněmi, Nimrudskou přehradu budovali Asyřané kolem roku 879 př. n. l. v Iráku pro zásobování vodou. Účely jejich výstavby byly v podstatě stejné jako potřebujeme my dnes.

Přehrady byly, jsou a budou.



**BEZ
VODY
TO NEPŮJDE...**





MVE jez Rajhrad vč. rekonstrukce
jezu a rybí přechod; Povodí Moravy, s.p.



Ochranná stání služebních plavidel Brná;
Ředitelství vodních cest ČR



PK Rohatec a jez Sudoměřice;
Ředitelství vodních cest ČR



VD Orlík, zabezpečení VD před účinky
velkých vod; Povodí Vltavy, státní podnik

Ovládáme obor

Kvalita, přesnost a důslednost.
Společná koordinovaná práce lidí desítek oborů a profesí.
Schopnost řešit náročná zadání a odvaha hledat nová řešení.
Je tohle umění? Možná ne. Jen to dobře umíme.

www.metrostavCZ.cz

metrostav CZ



VODA. KRAJINA. INFRASTRUKTURA.

Navrhujeme řešení pro vodní hospodářství a životní prostředí.



VODA

Vodní nádrže a přehrady
Vodní elektrárny
Vodní cesty a plavba
Protipovodňová ochrana



KRAJINA

Vodní toky a revitalizace
Krajinné a vodohospodářské plánování



INFRASTRUKTURA

Vodárenství
Kanalizace a čistírny odpadních vod
Matematické modelování

Od prvních studií po komplexní projektovou dokumentaci.



AQUATIS a.s.

Projekční a inženýrská společnost pro
vodní hospodářství a životní prostředí
www.aquatis.cz
info@aquatis.cz



Potápěčská stanice, a. s.

nabízí:

- Potápěčské práce stavebního charakteru
- Potápěčské práce strojního charakteru
- Průzkumy a diagnostiku, včetně odborných posouzení technického stavu konstrukcí a zařízení
- Video a fotodokumentaci
- Potápěčské práce záchranného charakteru
- Potápěčské práce ve fermentoru bioplynových stanic
- Potápěčské práce v nádržích průmyslových technologií
- Pohotovostní službu pracovních potápěčů
- Výuku a výcvik pracovních potápěčů
- Služby soudního znalce a autorizované osoby pro potápění

www.potapecska.cz

info@potapecska.cz, tel.: +420 720 046 096





Kompletní rekonstrukce VD Harcov

Průběh výstavby: předání staveniště: 08/2022, dokončení díla: 03/2026

Celkové náklady akce: 550,4 mil. Kč

Zdroje financování: stavba byla financována ze státního rozpočtu ČR v rámci programu Ministerstva zemědělství 129360 – Podpora prevence před povodněmi IV (224,6 mil. Kč) a z vlastních zdrojů státního podniku (317,8 mil. Kč), účelovou investiční dotaci připojilo Statutární město Liberec (7 mil. Kč, rekonstrukce zdi v zátopě, pobytové schodiště).

Zhotovitel: Spol. VD Harcov (Gardenline s.r.o., Litoměřice, YUCON CZ, s.r.o., Brno)

Průběh rekonstrukce poznamenal četná neočekávaná zjištění, a to kvůli nesouladu historické dokumentace a reálného stavu hráze. Značnou komplikací bylo neočekávaně nesourodé horninové podloží hráze, jež vyžadovalo zásah. Řešením byla injektážní clona pod hrází, která dosahuje hloubky až 25 metrů. Pod základovou spárou byla navíc vybudována podzemní injektážní štola dlouhá 86 metrů, ze které bude možné provádět další injektáže podloží nebo vlastního tělesa hráze.



Rozebrání mostovky nad přelivem a práce na vzdušném líci – duben 2023



VD Harcov po dokončení rekonstrukce (foto Gardenline s.r.o.)



VODNÍ DÍLO VLACHOVICE – VODA PRO ZLÍNSKÝ KRAJ

Důvodem přípravy VD Vlachovice je zajištění spolehlivého zdroje povrchové vody pro zásobování obyvatel pitnou vodou a pokrytí potřeb vody v území s nedostatkem podzemních zdrojů vody. Tuto funkci jsou v období dlouhodobého sucha a v průběhu povodní schopny zabezpečit víceúčelové vodní nádrže s dostatečným zásobním a retenčním prostorem.

Nádrž bude garantovat dohodnutou velikost minimálních průtoků, což povede ke zlepšení ekologického stavu vodního toku a umožní jeho další užívání.

Vedlejším (marginálním) účelem bude energetické využití odtoku z nádrže. Výroba vodní energie je plánována jako doplňková bez vlivu na manipulaci na vodním díle.

Návrhové parametry	
Typ hráze	sypaná zemní
Celkový objem nádrže	29,1 mil. m ³
Plocha zátopy	212,9 ha
Max. výška hráze	40 m
Délka hráze	570 m
Šířka hráze v základové spáře	193 m
Nadlepšení průtoků	30 l/s

Primárním účelem VD Vlachovice je zajištění zdroje povrchové vody pro úpravu na vodu pitnou. Hlavní účel díla bude realizovaný dodávkou vody do propojených vodárenských systémů v širším území.

Ochrana před povodněmi není hlavním účelem díla, avšak vytvořený ochranný prostor nádrže zajistí významné zlepšení ochrany území v povodí Vlčáry pod vodním dílem (v nejbližších sídlech až na úroveň stoleté povodně).



Více informací zde



Naše laboratoř poskytuje komplexní služby v oblasti analýz vod, sedimentů a dalších složek životního prostředí. Díky dlouholetým zkušenostem, odbornému zázemí a moderním technologiím jsme spolehlivým partnerem pro široké spektrum zákazníků z veřejného i soukromého sektoru.

Zaměřujeme se především na rozborů vod všech typů – povrchových, podzemních, pitných, odpadních i vod ke koupání. Nedílnou součástí našich služeb jsou také analýzy sedimentů, plavenin a zemin, stejně jako rozborů kalů a odpadů včetně vodních výluhů. Zajišťujeme rovněž odborné odběry vzorků, které jsou klíčové pro správnost a reprezentativnost výsledků.

Provádíme široké spektrum analytických zkoušek, které pokrývají jak základní, tak i specializované požadavky:

Chemické a fyzikálně-chemické analýzy

Stanovujeme základní ukazatele kvality vody, jako jsou pH, vodivost, nerozpustné látky (NL), rozpustné anorganické soli (RAS), biochemická spotřeba kyslíku (BSK₅), chemická spotřeba kyslíku (CHSK), celkový organický uhlík (TOC), celkový dusík (TN), anionty a kationty, a to včetně terénních měření.

Anorganické analýzy

Zajišťujeme stanovení až 30 kovů a dalších prvků s vysokou přesností a citlivostí.

Organické analýzy

Provádíme analýzy uhlovodíků v rozsahu C10–C40, extrahovatelných látek (EL) a adsorbovatelných organicky vázaných halogenů (AOX).

Speciální organické látky

Specializujeme se na stanovení látek, jako jsou PCB, PBDE, PAU, pesticidy, ftaláty či nitrolátky. Nově jsme zavedli metodu pro analýzu haloacetylových kyselin a spektrum stanovovaných látek se snažíme neustále rozšiřovat podle aktuálních trendů a legislativních požadavků.

Radiochemické analýzy

Provádíme stanovení celkové alfa a beta aktivity, dále analýzy radionuklidů jako ²²²Rn, ²²⁶Ra a uranu.

Mikrobiologické rozborů

Zajišťujeme stanovení mikrobiologických ukazatelů, například E. coli, enterokoků a koliformních bakterií.

Hydrobiologické rozborů

Provádíme hodnocení biologické kvality vod, včetně analýz sinic, makrozoobentosu, fytozobentosu a mikroskopického rozborů vody.

Klientům nabízíme komplexní řešení v oblasti kontroly a monitoringu kvality vod a souvisejících matic:

- monitoring kvality povrchových vod
- rozborů pitné vody (např. pro kolaudace či pravidelnou kontrolu kvality)
- odběry a rozborů odpadních vod
- rozborů dle povolení k nakládání s vodami
- analýzy sedimentů, zemin, rozborů kalů a odpadů včetně vodních výluhů

Naším cílem je poskytovat kvalitní, přesné a spolehlivé služby, které pomáhají chránit životní prostředí i zdraví obyvatel. Díky odbornosti našeho týmu a neustálému rozvoji analytických metod dokážeme reagovat na aktuální požadavky i nové výzvy v oblasti chemie a kvality vod.

60 LET

POVODÍ OHŘE

„Mnozí pracují s vodou,
my máme tu čest pracovat pro vodu...“

Jan Svejkovský, generální ředitel



Pražské vodovody
a kanalizace

LABORATORNÍ SLUŽBY

Zkušební laboratoř č. 1247 akreditovaná ČIA
podle ČSN EN ISO/IEC 17025



CO VÁM NABÍZÍME:

- ▶ Odběry vzorků vod, kalů, odpadů.
- ▶ Laboratorní analýzy pitné vody, teplé vody, surové vody, povrchové vody, podzemní vody, mezioperační vody, vody ke koupání, odpadní vody, kalů a provozních chemikálií.

NOVINKY:

- ▶ Stanovení Legionella spp. a L. pneumophila, hepatitidy A a SARS-CoV-2 metodou polymerázové řetězové reakce (PCR).
- ▶ Stanovení kontaminantů pitné a surové vody zahrnující stanovení pesticidních látek, metabolitů pesticidních látek, benzotriazolů, bisfenolů a farmak včetně farmak doporučených ke sledování dle stanoviska Státního zdravotního ústavu k otázce sledování léčiv v pitné vodě.
- ▶ Sekvenování mikrobiomu aktivovaného kalu pro posouzení technologie ČOV.



V souladu s přírodou

Rekonstruuje a stavíme
vodní díla, upravujeme
toky a provádíme
protipovodňová opatření.



Dodáváme moderní
a vysoce účinná řešení
výroby pitné vody a čištění
odpadních vod, vodovodní
a kanalizační systémy.



Pražské vodovody a kanalizace, a.s.

Útvar kontroly kvality vody
Podolská 15/17, Praha 4, www.pvk.cz
laborator@pvk.cz; tel.: 727 879 543



Součást Skupiny





STERPLAN

Česká tradice s moderním přístupem k vodnímu hospodářství

Odbornost, spolupráce
a odpovědnost — principy,
na nichž Sterplan stojí

Sedmdesát let práce českých inženýrů se promítlo do tisíců projektů, které formovaly podobu krajiny, měst i infrastruktury.

Na tento odkaz dnes navazuje **Sterplan**. Společnost, která spojuje zkušenosti Hydroprojektu a Sweco CZ s novým českým vedením a pohledem na budoucnost. Věříme, že inženýrství má smysl, když pomáhá vytvářet prostředí, které funguje a obstojí v čase. Každý projekt proto vnímáme jako závazek — vůči místu, investorovi i lidem, pro které stavba vzniká. *„Naše síla je v propojení disciplín, pečlivosti a aktivním přístupu ke každému projektu,“* říká Jan Krejčík, předseda představenstva společnosti.

Sterplan staví na tradici českého inženýrství, které vždy spojovalo technickou preciznost s respektem k prostředí. Usilujeme o řešení, jež jsou promyšlená, proveditelná a trvale užitečná, nejen dnes, ale i pro další generace.

sterplan.cz



TBG METROSTAV
Pro lepší stavění



Beton po Vltavě

**Po řece k nám míří suroviny.
A někdy po ní míří i beton na stavbu.**

Vltava je pro TBG METROSTAV dlouhodobě součástí stavební logistiky. Betonárny na Rohanském ostrově a v Libni mají vlastní přístaviště a až 80 % surovin pro výrobu betonu do nich připlouvá po řece. Jedna loď přiveze přibližně 1 000 tun kameniva a nahradí tak zhruba 40 nákladních automobilů v pražských ulicích.

Vodní cesta se ale uplatňuje i při samotných betonážích. Čerstvý beton byl po Vltavě dopravován již při zesilování jednoho z pilířů Libeňského mostu a později při rekonstrukcích Staroměstského a Štítkovského jezu. Autodomíchávače, v některých případech i s čerpadlem betonu, byly na pontonech dopraveny až k místu betonáže, kde se směs čerpala přímo do konstrukce.

**Vltava tak pro TBG METROSTAV není jen místem, kde se staví.
Je dopravní cestou pro suroviny i čerstvý beton.**

Bezpečnost vodních děl • Projektování • Digitální dvojčata • Povodňová ochrana

TECHNICKOBEZPEČNOSTNÍ DOHLED NAD VODNÍMI DÍLY

Odborníci na bezpečnost vodních děl již od roku 1975

NAŠE OBLASTI ČINNOSTI



Bezpečnost
vodních děl (TBD)



Digitální dvojčata
vodních děl



Provoz
vodních děl



Průzkumy, studie
a projektování



Povodňová
ochrana



Znalecké
posudky



Kategorizace
vodních děl



Geodetická
měření



DIGITÁLNÍ DVOJČATA VODNÍCH DĚL

Propojujeme data z technickobezpečnostního
dohledu s výstupy simulačních modelů.



2D A 3D MODELOVÁNÍ PROUDĚNÍ VODY

Simulujeme chování vody v nádržích,
tocích a objektech pro návrh i provoz.



Pověření MZe ČR
pro TBD nad VD I.-III. kategorie



Znalecký ústav
(MS ČR, od 1995)



KONTAKTY

 www.vdtbd.cz



Praha | paha@vdtbd.cz | +420 222 241 362
Brno | brno@vdtbd.cz | +420 721 222 313



VODNÍ
STAVBY



POZEMNÍ
STAVBY



DOPRAVNÍ
STAVBY



PRŮMYSL
ENERGETIKA



KRAJINNÉ
INŽENÝRSTVÍ

Strategie,
koncepty,
analýzy

Dotační
management

Projektová
a inženýrská
příprava

Věda & výzkum

Poradenství,
matematické
modelování

BIM



VAV

VODOHOSPODÁŘSKÝ
ROZVOJ A VÝSTAVBA





**vodní
hospodářství®**



Časopis již více než tři čtvrtě století přináší informace o malé i velké vodě, v Česku i na Slovensku.

Informace o předplatném a možnosti inzerce najdete na
www.vodnihospodarstvi.cz

Uvedete-li heslo Přehrady, obdržíte slevu 20 % na letošní předplatné (do vyčerpání zásob) a pro rok 2027 novým předplatitelům poskytneme slevu 10 %.



PRAGUE BOATS

SINCE 1990

LÍDR **UDRŽITELNÉ** LODNÍ DOPRAVY



NEJVĚTŠÍ FLOTILA
ELEKTRICKÝCH LODÍ V EVROPĚ



ELECTRIC

www.prague-boats.cz

