

## VD KAROLINKA – REKONSTRUKCE HRÁZE

### WATER RESERVOIR KAROLINKA – DAM RECONSTRUCTION

*Ing. Zbyněk Jareš, Ing. Vlastimil Krejčí*

#### **Abstrakt:**

Příspěvek informuje o přípravě a realizaci sanace středního těsnícího jádra zemní sypané hráze VD Karolinka a opatřeních v odpadní chodbě od šachtového přelivu, vedoucích k zajištění bezpečnosti vodního díla při převádění povodňových průtoků. Vodní dílo bylo prakticky od prvního napouštění provozováno se sníženou hladinou vody v nádrži z důvodu výsaků na vzdušném líci hráze, které byly v průběhu provozu lokálně sanovány a sledovány při technicko-bezpečnostním dohledu.

V rámci posouzení vodního díla na převedení povodňových průtoků a následném hydraulickém modelovém výzkumu bylo zjištěno možné zahlcení odpadní chodby a ohrožení stropní konstrukce tlakovými pulzacemi.

Příspěvek obsahuje popis průzkumů, projekční přípravy a následné rekonstrukce realizované v období od listopadu 2012 do srpna 2013.

#### **Abstract:**

The paper informs about the preparation and implementation of the remediation of central impervious core in the earth dam Karolinka and about the measures in the outflow tunnel of shaft spillway, which ensure the reservoir safety during floods. Water reservoir was operated with lowered water level since first filling due to dam leakages visible on the downstream dam face, which were solved locally during reservoir operation and monitored by dam safety surveillance and supervision.

It was discovered the possible congestion of the outflow tunnel during the water reservoir assessment to pass the flood discharges and during hydraulic model research and also possible threat to tunnel ceiling by pressure pulsation.

The paper describes survey, design works a following water reservoir reconstruction in the period since november 2012 till august 2013.

**Klíčová slova:** Karolinka, rekonstrukce, těsnící clona, trysková injektáž

## 1. ÚVOD

Vodní dílo (VD) Karolinka se nachází na říčce Stanovnici v říčním kilometru 0,75 nad městem Karolinka v okrese Vsetín. Celkový objem nádrže je 7,644 mil. m<sup>3</sup>, plocha povodí 23,1 km<sup>2</sup>. Výstavba probíhala v letech 1977 až 1985. Hráz byla vystavěna jako přímá zemní nehomogenní, sypaná z místních štěrkových materiálů se středním hlinitým těsněním napojeným na betonovou injekční chodbu. Výška hráze nad základovou spárou je 47 m, délka hráze v koruně 391,5 m. Sklon návodního svahu je 1 : 3,3 a vzdušního 1 : 2,2 - 2,4. Vzdušný svah je rozdělen dvěma lavičkami na kótě 500,00 m n.m. a 512,00 m n.m. Materiál je uložen v jednotlivých zónách tak, že střední úzké těsnící jádro je z obou stran obklopeno štěrky z údolí Stanovnice. Lícové zóny by měly tvořit propustné štěrky z Nového Hrozenkova.

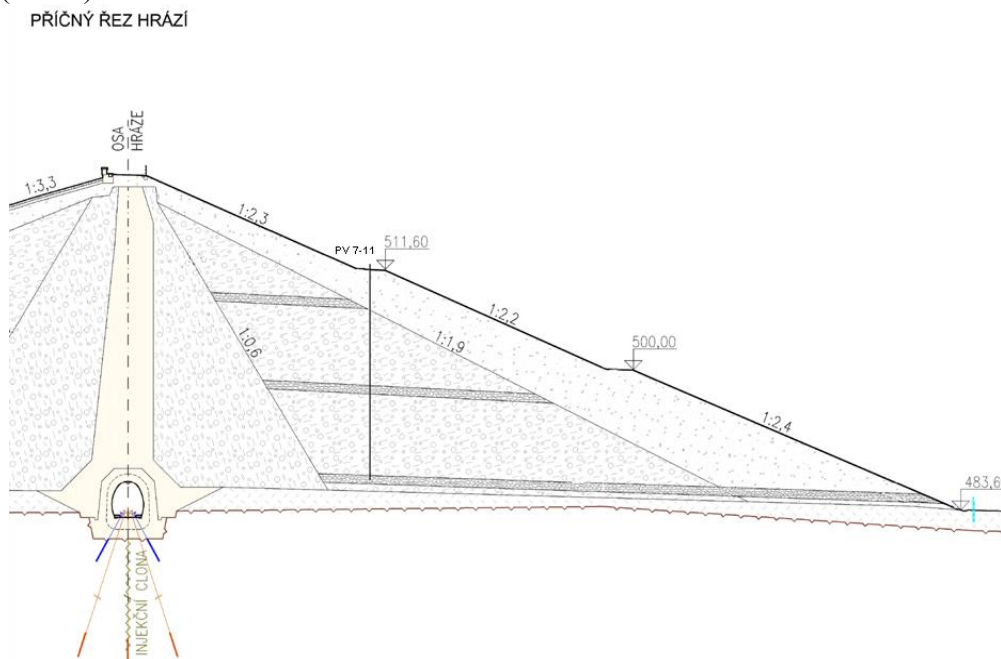
Návodní líc je opevněn makadamem prolévaným živicí. Základová spára a vnější přechodová zóna hráze jsou odvodněny oboustranným plošným drénem tl. 60cm (Obr.1).

Výpustné a odběrné zařízení je umístěno ve věžovém objektu. Vodárenský odběr je realizován ze 3 úrovní. Před věžový objekt je předsazen bezpečnostní přeliv, který je řešen jako nehrazený kruhový šachtový přeliv s průměrem v úrovni přelivné hrany 10,50 m. Od věžového funkčního objektu je vedena železobetonová patrová chodba délky 231 m. Její spodní část slouží k převádění povodňových průtoků od bezpečnostního přelivu do podhrází, v její horní části je pak vedeno potrubí spodních výpustí a rovněž slouží jako komunikační chodba mezi strojovnou uzávěrů spodních výpustí při vzdušné patě hráze a věžovým objektem.

Hlavním účelem vodního díla je dodávka surové vody pro zásobování Vsetínska a Vlárská, mezi další účely patří ochrana před povodněmi, zachování minimálního průtoku v toku pod nádrží a energetické využití.

## 2. PROBLEMATIKA PRŮSAKOVÝCH POMĚRŮ V TĚLESE HRÁZE PŘED REKONSTRUKCÍ

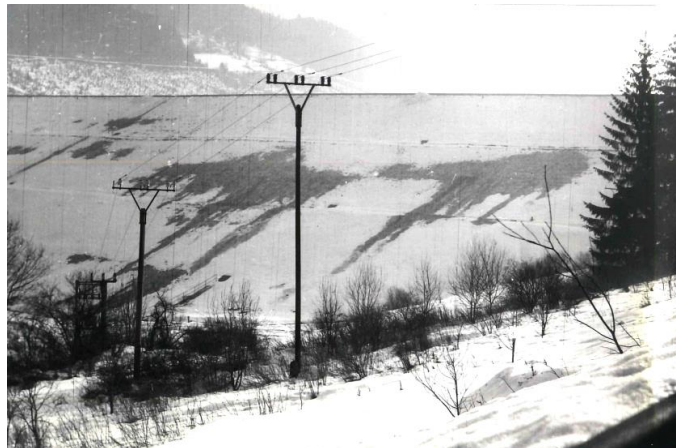
Prakticky od prvního napouštění je VD Karolinka provozováno v omezeném režimu. V únoru 1986, v období, kdy probíhalo první napouštění nádrže a hladina vody dosahovala kóty 517,61 m n.m. - tj. 2.39 m pod hranou bezpečnostního přelivu, se na vzdušném líci hráze objevily výsaky (Obr.2).



Obr. 1 VD Karolinka - příčný řez tělesem hráze

Na základě provedených průzkumů bylo zjištěno, že tyto výsaky jsou zapříčiněny především nedostatečnou propustností hrozenkovských šterkopísků tvořících zónu při vzdušném líci hráze a technologickou nekázní v sypání jednotlivých zón. Stabilizační zóna vzdušního líce byla nasypána z velmi různorodých vrstev, které se odlišují především obsahem prachových částic, jejichž zastoupení mělo být dle projektu nižší než 4%, ale ve skutečnosti obsah prachových částic dosahuje až 11%. Tento rozdíl zastoupení prachových částic zásadně ovlivňuje propustnost, takže vnější stabilizační zóna při vzdušném líci hráze je tvořena vrstvami s propustností od cca  $2,5 \cdot 10^{-2}$  až  $9,6 \cdot 10^{-4}$  m/s (předpoklad projektu  $4 \cdot 10^{-4}$  až  $1 \cdot 10^{-5}$  m/s), přičemž propustnost vnitřních stabilizačních zón je pak od cca  $2,3 \cdot 10^{-1}$  až  $6,4 \cdot 10^{-3}$  m/s

(předpoklad projektu  $1 \cdot 10^{-6}$  až  $1 \cdot 10^{-7}$  m/s). Prosakující voda po vrstvách vnější zóny vytékala na vzdušní líc hráze, kde vytvářela z mokřená místa.



Obr.2 VD Karolinka – výsaky na vzdušném líci hráze

Práce, které byly po objevení výsaků zahájeny směřovaly především k objasnění původu vod, zabývaly se jejich vlivem na bezpečnost vodního díla a dále navrhovaly a zajišťovaly jejich sanaci.

V červenci 1987 bylo provedeno 5 svislých drenážních vrtů PV7 až PV11 na horní bermě, které v současnosti slouží k měření hladiny vody v násypu hráze (Obr.2). Mělo se jimi blíže objasnit složení násypu hráze a ověřit možné svislé propojení propustných a nepropustných vrstev ve vzdušní části násypu hráze. V tělese hráze nebyla zjištěna průsaková depresní křivka. Ve třech vrtech byla hladina pod úrovní střední drenážní vrstvy, v jednom vrtu byla hladina pod horní drenážní vrstvou. Ukázalo se, že propojení nepropustných a propustných vrstev násypu hráze prostřednictvím vrtů nemá na výsaky vliv.

V červenci 1988 byly provedeny dovrchní drenážní vrty na levém a pravém břehu. Vrty jdou od paty hráze v podloží břehu směrem ke koruně. Vrty mají délku 85 až 105 m a počáteční sklon 10 až 15°. Vrty měly sloužit k odvádění případné průsakové vody z pravého a levého závazání. Vrty jsou prakticky suché a pouze v době srážek jsou u nich registrovány výtoky.

Od roku 1990 až do roku 2003 byla na vzdušném líci hráze postupně prováděna drenážní pera, kterými byly přerušeny nepropustné vrstvy a průsaková voda byla svedena do odvodňovacího žlabu v patě hráze. Provedení každé etapy budování drenážních per vyvolalo změny průsakového režimu ve vzdušní stabilizační části hráze. Část nezachycených vod nově vybudovanými drenážními pery prosakovala níže a po méně propustných vrstvách vysakovala zpět na vzdušní líc, což vedlo k dalším etapám budování drenážního systému.

Na horní bermě bylo vybudováno celkem 11 drenážních per, z nichž celkový průměrný výtok činil za období 2010 až 2012 0,13 l/s (průměrná hladina v nádrži v tomto období byla 515,82 m n.m.). Na dolní bermě je na levé části hráze 15 drenážních per. Průměrný celkový výtok z těchto per na levé straně byl v období 2010 až 2012 0,61 l/s. Na pravé části hráze je 11 per, a celkový průměrný výtok ve stejném období byl 1,47 l/s.

Souhrnné výtoky z drenážních per měřené automaticky v intervalu 1 hodiny měly výraznou závislost na hladině vody v nádrži a vysokou teplotu vody, která ukazovala na prosáklou vodu z horní části nádrže.

Z regresní analýzy výtoků z drenážních per na horní a dolní bermě bylo patrné, že výtoky jsou intenzivní po úroveň hladiny cca 517 m n.m. Od této kóty po úroveň cca 515 m n.m. jsou výtoky znatelně menší a pod touto kótou je celkový průsak opět intenzivnější. Výtok z drenů na dolní bermě (500 m n.m.) prakticky ustává při hladině v nádrži na kótě cca 511 m n.m.

Z výsledků měření a pozorování prováděných v rámci technicko-bezpečnostního dohledu vyplynula nutnost na provedení podzemní svislé těsnicí jílocementové stěny do hloubky min. 16 m (po kótu 507,00 m n.m. B.p.v.).

### 3. GEOTECHNICKÝ PRŮZKUM HRÁZE

V roce 2004 a 2006 byl proveden na koruně hráze geotechnický průzkum za účelem ověření materiálových charakteristik těsnícího jádra a průsakových poměrů na kontaktu vlastního jádra a přechodové zóny. Bylo provedeno 8 průzkumných jádrových vrtů délek 14,2 a 18,7 m a 5 penetračních sond v r. 2004 resp. 7 sond v r. 2006. Vrtné práce byly využity pro osazení snímačů pórového tlaku těsně za těsnícím jádrem. Cílem prací bylo získání podrobných podkladů pro zpracování projektové dokumentace na provedení těsnící clony.

Výsledky průzkumu lze shrnout do následujících bodů :

- Vlivem široké škály zrnitosti zemin (od jemnozrnných – CH, CS, CG po šterkovité – GM, G-F) je propustnost těsnícího jádra a vzdušných stabilizačních částí v horizontálním i vertikálním směru značně rozdílná. Mezi jednotlivými vrty i přes jejich polohovou blízkost nebyla potvrzená vzájemná podobnost skladby zemin.
- Polohy šterkovitých zemin v oblasti těsnícího jádra dosahují hloubky okolo 10 - 12 m (510,00 m n.m.) resp. 17 - 18 m (cca 505 m n.m.)
- Rozhraní kvalitnějších zemin těsnícího jádra se nachází v hloubce cca 12 - 13 m pod korunou (509,00 – 510,00 m n.m.)
- Cesty průsaků vod jsou odvislé od toho, jakým způsobem probíhalo navážení a hutnění materiálů těsnícího jádra - velký vliv na to mělo nedodržování technologického postupu v průběhu výstavby. Příkladem nekázně může být i nalezení perforované drenážní trubky bezprostředně za těsnícím jádrem při vrtných pracích. Po jejím navrtání se zvýšily průsaky z drenů na levé straně dolní bermy o 1 l/s. Po zalití prostoru jílocementovou suspenzí, se průsaky vrátily na původní hodnoty.
- Koruna těsnícího jádra se nachází na úrovni maximální hladiny vody v nádrži, což je o cca 0,8 m níže než byl projektovaný stav.

Z uvedených zjištění se dalo předpokládat, že „heterogenita“ těsnícího jádra se s největší pravděpodobností bude projevovat po celé délce hráze, a z toho důvodu bylo nutné uvažovat o vybudování těsnící clony po celé délce hráze.

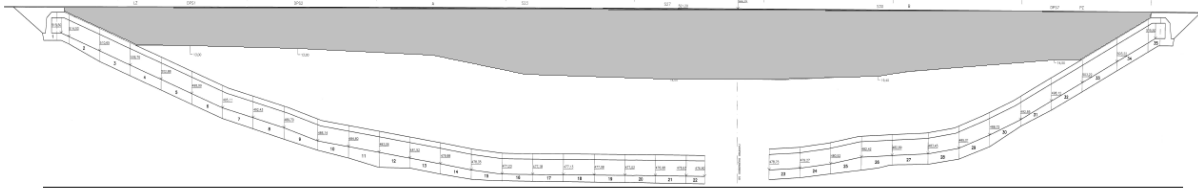
Všechny poznatky ukazovaly na možné ohrožení filtrační stability při extrémních stavech hladiny vody v nádrži.

### 4. PROJEKČNÍ A PŘÍPRAVNÉ PRÁCE

#### 4.1. Těsnící clona

Na základě závěrů z dlouhodobého sledování vývoje průsakových poměrů v tělese hráze v rámci technicko-bezpečnostního dohledu (TBD) a výsledků geotechnického průzkumu byla zpracována v roce 2007 projektová dokumentace pro vydání stavebního povolení [1].

Těsnící clona o šířce 0,60 m byla navržena jako klasická kopaná podzemní těsnící stěna z cemento-bentonitové samotvrdnoucí suspenze po celé délce hráze (355,00 m). Hloubka těsnící clony je proměnná, od 10,50 m po 19,30 m. Hloubkový rozsah byl stanoven jako obalová čára vystihující potřebnou hloubku těsnící clony ve vybraných průzkumných dílech (provedených jádrových vrtů a sond penetrace) s nejnepříznivějšími vlastnostmi těsnícího jádra (Obr.3). V údolní části byla hloubka těsnící stěny prodloužena na základě doporučení TBD o cca 0,5 - 4 m. V rámci projektové dokumentace byla rovněž posouzena stabilita rýhy proti zavalení s určením stupňů bezpečnosti v závislosti na hloubce těsnící stěny a hladině vody v nádrži.



Obr.3 VD Karolinka – podélný řez hrází – navržená těsnicí stěna

## 4.2. Rekonstrukce odpadní chodby

Ze studie [2] zabývající se posouzením bezpečnosti vodního díla za povodní, vyplynula nutnost prověření tlakových pulsací v odpadní chodbě, které mohou vyvolat destrukci stropních panelů patrové chodby a také odstranění propustku z prefabrikovaných dílců vybudovaného při realizaci vodního díla cca 100 m za koncem vývaru.

V září 2006 byl dokončen hydraulický modelový výzkum [3], jehož účelem bylo pro průtoky  $Q_{1000\ TR}$  ( $95\ m^3/s$ ) a  $Q_{10\ 000\ TR}$  ( $115\ m^3/s$ ) posoudit proudové a tlakové poměry v prostoru šachtového přelivu, odpadní chodby a vývaru.

Bylo zjištěno, že při průtoku  $Q = 84\ m^3/s$  by docházelo k zahlcení odpadní chodby a následně k výrazným tlakovým pulzacím v počátečním úseku chodby. Jednotlivé max. hodnoty tlakových pulsací při  $Q = 115\ m^3/s$  by činily až 23 m vodního sloupce.

Navrženou stěžejní úpravou dle výsledků zkoušek na hydraulickém modelu bylo snížení stropu o 0,63 m na délce 20,6 m vstupní části chodby.

V březnu 2007 byl proveden technický návrh koncepce úpravy stropu a návrh sanace betonových konstrukcí chodby včetně ocelového kolena šachtového přelivu, který zpracoval výsledky realizovaného stavebně technického průzkumu chodby [4].

V březnu 2010 byla následně dle uvedeného technického návrhu zpracována dokumentace ke stavebnímu povolení.

## 4.3. Modernizace monitoringu TBD

Z důvodu významného zásahu do konstrukce tělesa hráze a potřeby podrobnějšího sledování změn průsakového režimu v průběhu stavby i v následném zkušebním provozu byl v březnu 2011 zpracován projekt [5] na rozšíření stávajících měřících zařízení TBD vč. modernizace automatického sběru dat a jejich vizualizace. Bylo navrženo vybudování 10 pozorovacích vrtů, dvou měrných přepážek v injekční chodbě a úprava měrného profilu limnigrafu na přítoku. Dále byl navržen nový automatický systém měření a sběru dat pro závislé (TBD) a nezávislé veličiny s přenosem do domku hrázného a na vodohospodářský dispečink v Brně.

## 5. REALIZACE OPATŘENÍ

Realizace navržených opatření proběhla v období od listopadu 2012 do srpna 2013.

Stavba byla rozdělena na čtyři stavební objekty a to : SO 01 – rekonstrukce odpadní štoly, SO 02 – odstranění rámového mostu, SO 03 – těsnicí clona a SO 04 - modernizace monitoringu.

V souladu s požadavky projektové dokumentace a dodatku manipulačního řádu bylo zahájeno postupné snižování hladiny vody v nádrži tak, aby před vlastním zahájením prací na těsnicí cloně a sanačních prací v odpadní chodbě byla dosažena a udržována po celou dobu stavby hladina 510,00 m n.m. ( tj. 9,82 m pod max. hladinou zásobního prostoru).

## 5.1. Těsnící clona

Před zahájením vlastních stavebních prací v roce 2013 byla zpracována dokumentace pro provádění stavby [6] včetně následných technologických předpisů dodavatele stavby.

Oproti dokumentaci pro stavební povolení došlo k dílčím změnám a to, ve vybudování trvalých vodících ŽB zídek a dotěsnění břehových zavázání tryskovou injektáží na celou výšku stěny až po strop injekční chodby.

Samostatnou problematikou před zahájením stavebních prací bylo také posouzení přetížení koruny hráze hloubícím strojem, posouzení vlivu provádění clony na globální stabilitu hráze doložením výpočtu napjatosti a přetvoření a rovněž definování vlastností směsí a receptur jak pro kopanou těsnící clonu tak i tryskovou injektáž (směs TIWO pro obor napětí 0,0 - 0,4 MPa s edometrickým modulem 10-20 MPa, max. 25 MPa po 90 dnech a propustností  $1 \cdot 10^{-8}$  m/s).

Byly určeny očekávané meze bdělosti horizontálních resp. vertikálních deformací (10 resp. 15 mm) měřených na koruně hráze při provádění stěny.

Realizace kopané podzemní těsnící stěny proběhla v červnu 2013 a tryskové injektáže v zavázáních hráze na přelomu července a srpna 2013.

Po odstranění vozovky byla v ose koruny hráze provedena rýha šířky cca 1,2 m a hloubky 1,2 m od stávající nivelety vozovky. Pro zajištění stability rýhy, pro omezení deformací koruny hráze, pro zajištění mrazuvzdornosti a vodotěsnosti těsnící stěny v konstrukčních vrstvách vozovky, byla vybudována oboustranná (na návodní a vzdušné straně hráze) železobetonová vodící zídka tloušťky min. 0,25 m a min. výšky 1,0 m. Horní povrch zídek byl proveden cca 0,2 m pod stávající niveletou koruny hráze. Zídky byly provedeny po úsecích délky 6,70 m. Ve svislých dilatačních spárách na návodní straně zídek byl osazen PVC těsnící pás. Vodící zídky mají mezi sebou vnitřní světlost 0,65 m, tak aby nepřesností provedení zídek nebránily hloubení drapákem.

Na levém i pravém břehu, v úseku těsnícího prvku prováděného technologií tryskové injektáže, byla realizována návodní vodící zídka tloušťky 0,15 m. Tato zídka mimo jiné omezila riziko poškození návodního líce při tryskání (Obr.4).

Těsnící clona na délce 301,75 m byla provedena jako klasická kopaná podzemní těsnící stěna z cemento - bentonitové samotvrdnoucí suspenze šířky 0,60 m. Délka lamely je 3,6 m, max. hloubka je 19,3 m a jejich překrytí 0,25 m.

Hloubení těsnící clony probíhalo pod ochranou samotvrdnoucí suspenze a provádělo se po jednotlivých záběrech drapáku tvořících lamelu. K hloubení byl použit bagr Liebherr HS 852 HD o celkové hmotnosti 83,6 t a šířky 4,5 m (Obr.5).

Kontinuální hloubení těsnící clony bylo zahájeno při pravostranném zavázání hráze na lamelu LA 01, potom se lanový bagr přemístil do polohy k hloubení lamely LA 03. Po vyhloubení lamely LA 03 se lanový bagr přemístil k okraji lamely LA 03 a zahájil hloubení lamely LA 02. Při hloubení lamely LA 02 byly vyhloubené lamely LA 01 a LA 03 přehloubeny o 25 cm na každou stranu.

Celkem takto bylo vyhloubeno 90 lamel. Uzavření hloubené stěny bylo provedeno betonem, po odstranění odstojem znehodnocené svrchní vrstvy zatuhnuté směsi, do horní úrovně zídek, v tloušťce cca 0,4 m. Hloubení těsnící stěny v zavázáních hráze bylo ukončeno s bezpečným odstupem 1 m od vrchlíku injekční chodby. V této části byl proveden těsnící prvek ze sloupů tryskové injektáže (TI). Pilíře TI průměru 1,0 m s osovou vzdáleností 0,8 m byly prováděny tak, aby minimální tloušťka těsnícího prvku byla v celé délce min. 0,6 m, bylo zaručeno navázání sloupů TI na vrchlík betonové chodby a napojení na těsnící clonu provedenou hloubenou technologií. Celkem se jednalo o dva úseky délky cca 2 x 25 m.

Zaručený kontakt stěny TI s vrchlíkem chodby byl zajištěn zhotovením většího průměru sloupu (1,4 m) v jeho první fázi, tzn. prvních 30 - 50 cm a ukloněnou tryskou o 15° směrem dolů k betonové chodbě.



Obr. 4 VD Karolinka – realizace TI v zavázání hráze



Obr. 5 VD Karolinka – realizace kopané těsnící stěny

Na závěr bylo dokončeno zařízení pro pozorování a měření v rámci modernizace monitoringu a uvedena koruna hráze do původního stavu.

## 5.2. Rekonstrukce odpadní chodby

Na počátku prací byl odstraněn propustek, který omezoval průtokové poměry bezprostředně pod VD resp. ovlivňoval míru zatopení odpadní chodby.

Hlavním opatřením bylo provedení železobetonového snížení stropu odpadní chodby, na jejím začátku, v délce 20,6 m o 0,63 m, umožňujícího převedení tlakového proudění, včetně úpravy zavzdušňovacího potrubí. Ve zbývající části chodby již bude probíhat proudění o volné hladině.

Dále proběhla sanace poškozených ploch stěn, dna i stropu odpadní chodby, vč. pracovních spár, dvouvrstvou maltou. 1. vrstva s cementovým pojivem s rozptýlenou výztuží, jako finální vrstva stěrka na cementové bázi s epoxidem. Dotěsnění dilatačních spár bylo provedeno šikmo vedenou tlakovou injektáží těsnící hmotou. Na závěr bylo opatřeno nátěrem koleno šachtového přelivu.

## 6. ZÁVĚR

Účelem prací bylo vybudování těsnící clony v horní a střední části těsnícího jádra hráze. Cílovým efektem bylo dosažení snížení průsaků přes těsnící jádro hráze a tím i zvýšení bezpečnosti hráze a současně snížení rizika poruchy přehrady za povodní.

V současné době se vodní dílo Karolinka vzhledem k provedené rekonstrukci nachází ve zkušebním provozu, jehož ukončení se předpokládá po napuštění nádrže na kótu maximálního

zásobního prostoru 519,82 m n.m. (v současnosti cca 516,00 m n.m.) a závěrečném vyhodnocení z pohledu TBD. Po celou dobu stavby i při napouštění nádrže nebyl v rámci TBD zaznamenán negativní vývoj deformací případně průsakového režimu, které by mohly vést k zastavení napouštění nádrže případně řízenému snižování hladiny.

## LITERATÚRA

- [1] *VD Karolinka – Těsnicí clona, HCI Hydroconsulting, s r.o., 02/2007*
- [2] *VD Karolinka – Štola od šachtového přelivu, VODNÍ DÍLA – TBD, a.s., 06/2005*
- [3] *Hydraulický modelový výzkum bezpečnostního šachtového přelivu a odpadní štoly VD Karolinka, VUT Fast ÚVS Brno, 09/2006*
- [4] *VD Karolinka – rekonstrukce odpadní štoly, 1.etapa dokumentace, Pöyry Enviroment, 03/2007*
- [5] *VD Karolinka – modernizace monitoringu, Rittmeyer spol s r.o., 03/2011*
- [6] *VD Karolinka – těsnicí clona, RDS, Pöyry Enviroment, 04/2013*

## AUTOR

Ing. Zbyněk Jareš  
Povodí Moravy, s.p.  
Dřevařská 11, 601 75 Brno  
e-mail: [jares@pmo.cz](mailto:jares@pmo.cz)

Ing. Vlastimil Krejčí  
Povodí Moravy, s.p.  
Dřevařská 11, 601 75 Brno  
e-mail: [krejci@pmo.cz](mailto:krejci@pmo.cz)