

VODNÍ DÍLO HARCOV – ZAJIŠTĚNÍ BEZPEČNOSTI ZA POVODNÍ

Martin Kyselák,

Valbek spol. s r.o., Liberec, Česká republika

ABSTRAKT: Příspěvek se věnuje technickému řešení a zkušenostem z provádění rekonstrukčních prací vodního díla (VD) Harcov v Liberci. Dílo bylo vybudováno v letech 1902–1904 především za účelem snížení povodňových průtoků a zajištění částečné ochrany území pod nádrží před účinky povodní. Po více než stoletém provozu bylo nutné přistoupit k celkové rekonstrukci vodního díla s ohledem na splnění platných požadavků na kapacity objektů pro převádění vody, zejména pak pro převedení kontrolní povodňové vlny. Nepříznivým faktem byly rovněž i dlouhodobě zvýšené vztlaky v základové spáře hráze a průsaky objevující se na vzdušném líci. V současné době probíhá realizace rekonstrukce hráze a objektů VD Harcov, při které dochází k zásadní změně parametrů tohoto historického vodního díla. Spočívá zejména ve zkapacitnění spodních výpustí a korunového bezpečnostního přelivu, včetně úpravy kaskády pod přelivem. Pro omezení účinků vztlaků na těleso hráze je pak zásadním opatřením utěsnění podloží pomocí injekční clony

1. HISTORIE VÝSTAVBY PŘEHRADY

Vodní dílo Harcov patří do soustavy přehrad pro regulaci odtokových poměrů v povodí Lužické Nisy.

Přehrada Harcov v katastru města Liberec byla vybudována v letech 1902 až 1904 a je ze soustavy přehrad v Jizerských horách nejstarší. Podnětem k výstavbě přehrady byly katastrofální povodně na konci 19. století, zejména povodeň z 30. července 1897, kdy byl zjištěn nejvyšší průtok Harcovským potokem v Liberci $20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Zděná, gravitační, půdorysně zakřivená přehrada o výšce 19 m se nachází na Harcovském potoce. Projekt vodního díla zpracoval a na stavbě měl současně hlavní dozor Dr. Ing. Otto Intze z Cách. Stavbu prováděly fy. W. Streitzig z Liberce a H. Rella z Vídně. Stavební práce byly zahájeny v listopadu 1902, skončeny v prosinci 1903. Konečná kolaudace byla provedena dne 29. dubna 1904. Komplexně byla přehrada dokončena v červnu 1904.



Obr. 1 Pohled na hráz po dokončení v roce 1904

2. DŮVOD REKONSTRUKCE

Cílem rekonstrukce celého vodního díla je bezpečné převedení extrémní povodně PV_{10000} (přivalová vlna pro povodeň se střední dobou opakování 1000 let) přes korunu hráze tak, aby nedošlo k ohrožení bezpečnosti a stability vodního díla. Zároveň aby nedošlo ani ke zvýšení mezní bezpečné hladiny (MBH) a tedy i navýšení objemu neovladatelného retenčního prostoru.

V rámci rekonstrukce probíhají nezbytné stavební úpravy jednotlivých objektů vodního díla, konkrétně na koruně hráze, návodním i vzdušném líci, ve zdrži i pod ní, a na zařízeních technickobezpečnostního dohledu (TBD), technologie a monitoringu.

Realizací souboru navržených opatření dojde ke zvýšení kapacity všech objektů pro převádění vody (spodní výpusti a bezpečnostním přelivem) a současně k zajištění stability hráze i pro případ přelití její koruny (snížení vztlaků v základové spáře utěsněním podloží pomocí injekční clony budované z injekční chodby u návodní paty hráze, obnova těsnicí funkce návodního líce, výplňová injektáž zdiva hráze, rekonstrukce koruny hráze). Výše uvedenými opatřeními budou zásadně zlepšeny podmínky pro převádění „běžnějších“ povodní s kratší dobou opakování. Současně bude zajištěna bezpečnost vodního díla II. kategorie za povodní. Po realizaci opatření dojde k přerozdělení prostorů nádrže se zvýšením objemu „krizového“ retenčního prostoru (zvýšení mezní bezpečné hladiny) a možnosti efektivnějšího využití ovladatelného retenčního prostoru.

Účelnost investice (celková rekonstrukce historického díla) se dále projeví zvýšením provozní spolehlivosti manipulací, prodloužením životnosti díla a snížením nákladů na drobné opravy při zachování historického rázu stavby. Při přípravě a realizaci stavby budou rovněž doplněny informace o stavu zdiva a podloží hráze a zlepšeny podmínky pro monitorování chování stavby v rámci TBD.

Provozovatelem a zároveň investorem rekonstrukce VD Harcov je Povodí Labe, státní podnik.

3. PŘÍPRAVA

Po katastrofálních povodních v roce 2005 bylo rozhodnuto o revizi přístupu k bezpečnosti VD v České republice, ze které vyplynulo, že VD by měla být schopna zadržet a převést povodeň PV_{10000} . Pro vodní dílo Harcov v Liberci byl tedy v roce 2006 zpracován posudek bezpečnosti vodního díla za povodní (Chroumal 2006). Podkladem pro zpracování posudku byly hydrogramy teoretických povodňových vln s dobou opakování 10 000 let (PV_{10000}) odvozené z jednodenní, resp. dvoudenní srážky stanovené v rámci hydrologické studie ČHMÚ (Tyl, Boháč 2005). Z výsledků transformace povodňových vln bylo patrné, že teoretické povodňové vlny nelze v ochranném prostoru nádrže transformovat a v obou případech dojde k přelití koruny hráze o 70 respektive 20 cm. Hlavním důvodem negativního výsledku posudku byla nedostatečná kapacita objektů pro převádění vody, které nejsou dostatečné i na převedení méně extrémních průtoků v hodnotách pod teoretickou PV_{100} . Nezbytné bylo vyřešit i problém dlouhodobě zvýšených vztlaků v oblasti základové spáry hráze a plošného zamokření vzdušného líce způsobeného průsakem zdiva.

Pro zajištění bezpečnosti tohoto historického vodního díla při extrémních povodňových situacích, i pro zajištění jeho bezpečnosti a dlouhodobé životnosti v normálním provozním stavu, bylo nutné přistoupit k návrhu opatření, která by zvýšila stabilitu tělesa hráze a kapacitu objektů pro převádění povodňových průtoků. Technické provedení, efekt a předpokládané finanční náklady byly variantně rozpracovány ve Studii opatření z roku 2008 firmou VD-TBD (Richtr, Klemša 2008). Výsledky provedených stabilitních výpočtů prokázaly, že stupeň bezpečnosti proti posunutí a překlopení tělesa hráze nedosahuje hodnot požadovaných normou při hladině v úrovni koruny hráze. Na základě zjištěných skutečností bylo studií mimo jiné, doporučeno zvýšit kapacitu korunového bezpečnostního přelivu snížením úrovně přelivné plochy a snížit vztlaky pod hrází utěsněním podloží pomocí injekční clony. V roce 2010 bylo výše uvedené opatření na zkapacitnění bezpečnostního přelivu ověřeno fyzikálním hydraulickým modelem sestaveným fakultou stavební ČVUT v Praze (Satrapa a kol. 2010). Následně byl v roce 2012 proveden inženýrskogeologický průzkum (IGP) firmou AZ CONSULT (Alföldi a kol. 2012). Posouzení a výběr vhodné varianty rekonstrukce vodního díla a sanace podloží hráze bylo provedeno zpracováním Návrhu

opatření z roku 2015 společností VD-TBD (Richtr, Klemša, 2015) se zohledněním výše popsaných průzkumů. V rámci zpracování projektové dokumentace pro stavební povolení společností VALBEK (VALBEK spol. s.r.o. 2017) byl v roce 2017 realizován doplňkový IGP firmou AZ-GEO (Králík, 2017). Prováděcí dokumentace byla zpracována v roce 2020 společností VALBEK (VALBEK spol. s.r.o. 2020), která byla použita jako zadávací dokumentace pro výběr zhotovitele. Stavební práce byly zahájeny v roce 2022, po více než 15 letech příprav. Generálním zhotovitelem je společnost GARDENLINE ve sdružení s firmou YUCON CZ. Předpoklad dokončení stavby je duben 2026.

4. PRŮBĚH REKONSTRUKCE

Po vypuštění nádrže a odstranění předsypu chránícího návodní líc se ukázalo, že historická dokumentace, která sloužila jako jeden z hlavních podkladů pro návrh technického řešení rekonstrukce, neodpovídá zcela skutečnosti. V rámci zpracování realizační dokumentace bylo nezbytné, především u některých stavebních objektů, zohlednit jejich skutečný stav. VD je, vzhledem ke své výjimečnosti, kulturní technickou památkou a veškeré stavební zásahy jsou prováděny pod dohledem a se souhlasem NPÚ, jehož nejzásadnějším požadavkem bylo, že nesmí být narušen historizující kamenný vzhled hráze. V rámci rekonstrukce byla řešena úprava podhrází, odtěžení sedimentů, vzdušný a návodní líc hráze, úprava předsypu hráze, reprofilace bezpečnostních přelivů, kaskády, výstavba provozních technologických objektů (PTO), oprava pravobřežní zdi a pláže, úprava technologie spodních výpustí, realizace provozních souborů elektro a ovládání, vzdáleného přístupu a zabezpečení. Tyto oborově odlišné objekty nejsou součástí článku a dále jsou podrobněji uváděny pouze stavební objekty týkající se ražeb, zakládání a injektáže podloží hráze.

5. REALIZACE VYBRANÝCH STAVEBNÍCH OBJEKTŮ

5.1 ZDIVO HRÁZE

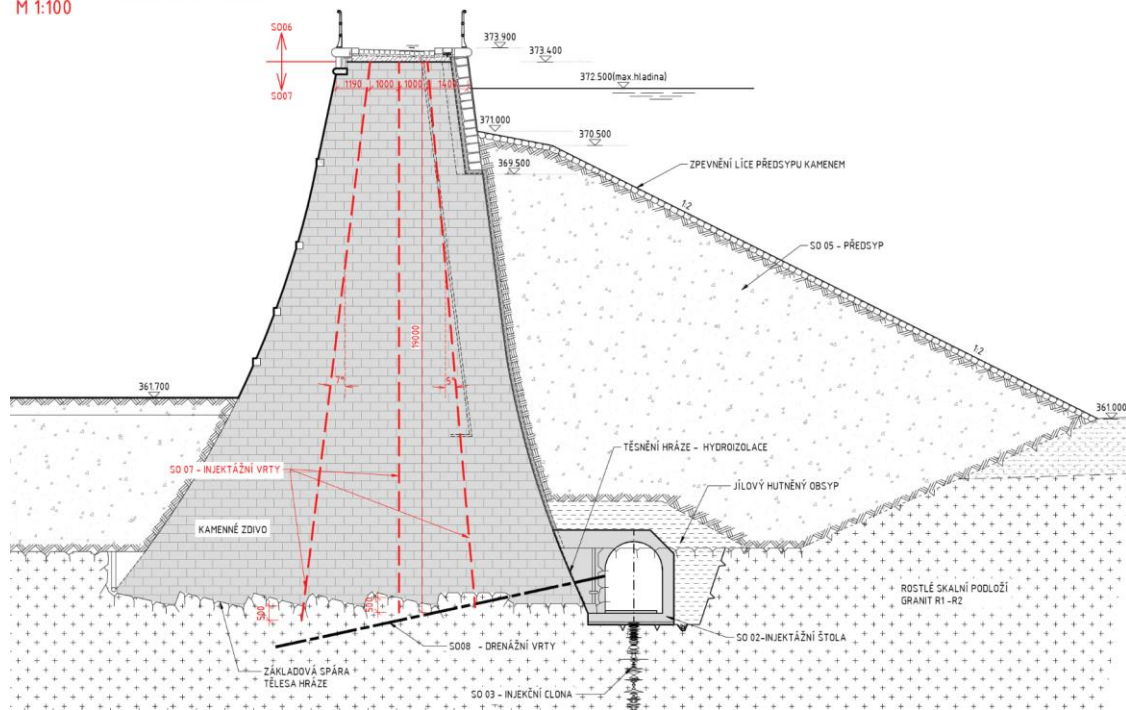
Po vyhodnocení výsledků vodních tlakových zkoušek (VTZ) provedených při IGP (inženýrskogeologický průzkum, jehož součástí byl vzhledem k provádění jádrových vrtů z koruny hráze i stavebně technický průzkum zdiva hráze) bylo prokázáno, že zdivo hráze má velmi vysokou propustnost ($4,76 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}$ při tlaku $0,3 \text{ MPa}$) a lze ho hodnotit jako nekvalitní, a to zejména z důvodu předpokládané vysoké degradace pojiva. Jako opatření pro zlepšení především fyzikálně-mechanických vlastností zdiva bylo projektem navrženo provedení injektáže kamenného zdiva tělesa hráze. Po vyhodnocení injektáží na zkušebním poli bylo zjištěno, že je možné změnit projektem předpokládané množství injekční směsi na metr vrtu ze 157 l na cca 50 l a max. injektážní tlaky zvýšit z $0,2 \text{ MPa}$ na $1,3 \text{ MPa}$. Dále se prokázalo, že použití původně navržených chemických hmot je bezpředmětné a injektáž může být kompletně realizována výrazně levnějšími hmotami na bázi jílocementu.

Pro ověření injektovatelnosti zdiva hráze bylo navrženo provedení zkušebních injekčních vrtů. Pro jejich provádění byl zpracován Technologický předpis, jehož cílem bylo podrobnější zadání injekčních prací k vyzkoušení injektovatelnosti zdiva. Injektáž byla prováděna jílocementovou směsí po etážích $3,0 \text{ m}$. Zásadní bylo zjištění, že zdivo hráze lze poměrně dobře injektovat pomocí jílocementových injekčních směsí.

Vrty injektáže o $\varnothing 56$ a 76 mm byly oproti projektu (VALBEK spol. s.r.o. 2017) prodlouženy tak, aby zasahovaly min $0,5 \text{ m}$ pod základovou spáru hráze. Maximální délka vrtů dosahovala 20 m . Pro kvalitnější výnos jádra byla použita dvojitá jádrovnice. Technologie rotačně-příklepového vrtání byla v daných podmínkách nevhodná. Ve spodní části některých vrtů pak byla zastižena v podloží hráze zcela zvětralá žula, kterou bylo třeba těž proinjektovat. Průměrná spotřeba jílocementové injekční směsi vycházela $52,26 \text{ l/bm}$. Ve všech vrtech byla použita vzestupná injektáž s jednoduchým obturátorem.

Zdivo hráze po injektáži podle výsledků VTZ na kontrolních vrtech mělo propustnost zdiva cca třikrát menší ($1,6 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}$ při tlaku $0,3 \text{ MPa}$).

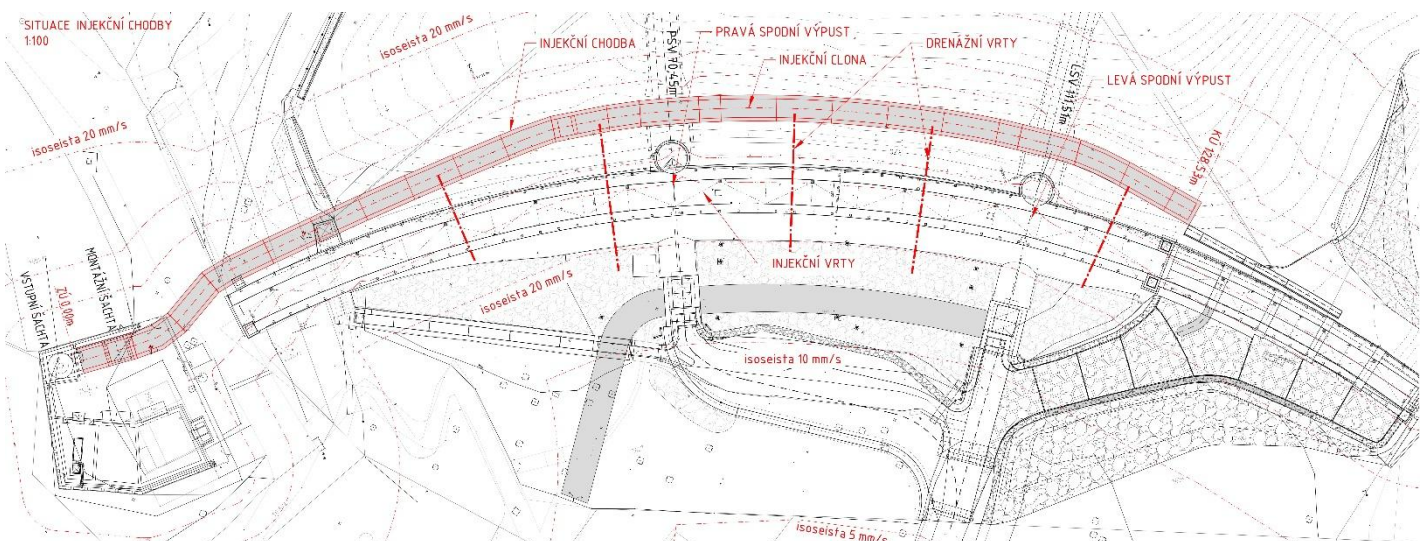
VZOROVÝ PŘÍČNÝ ŘEZ HRÁZÍ M 1:100



Obr. 2 Výplňová injektáž tělesa hráze

5.2 INJEKČNÍ CHODBA

Nově budovaná injektční chodba (ICH) celkové délky cca 130 m je vedena před návodním lícem mírně pod úrovní základové spáry tělesa hráze. Vstupní šachta je vybavena točitým nerezovým schodištěm a nachází se na pravém břehu u nového provozního objektu a umožní sestoupit pod úroveň terénu. Následuje první úsek štolý s montážní šachtou, který umožní dopravu techniky a stavebních hmot pro případné budoucí opravy. Dále ICH pokračuje k levému zavázání, kde je ukončena na rozhraní tělesa hráze a bezpečnostního přelivu. Průběh ICH půdorysně a výškově sleduje základovou spáru hráze. Podélný sklon štolý na sestupných ramenech dosahuje 40 % a je v těchto místech opatřena schodišťovými stupni. Světlá šířka chodby je 2,0 m a její světlá výška 2,4 m. Definitivní ostění štolý bylo navrženo a provedeno jako monolitická ŽB konstrukce z vodostavebního betonu C30/37 dělená těsněnými dilatačními a pracovními spárami na 24 bloků. Jednotlivé bloky mají základní délku 6,0 m. Pracovní a dilatační spáry mezi bloky jsou izolovány vnitřním spárovým těsnicím pásem šířky 400 mm a jsou opatřeny pojistným injektážním systémem pro případné doinjektování po napuštění přehrady. V pracovní spáře na úrovni dna a stěny je osazen těsnicí pás KAB 125. Minimální mocnost železobetonové stěny je 400 mm.

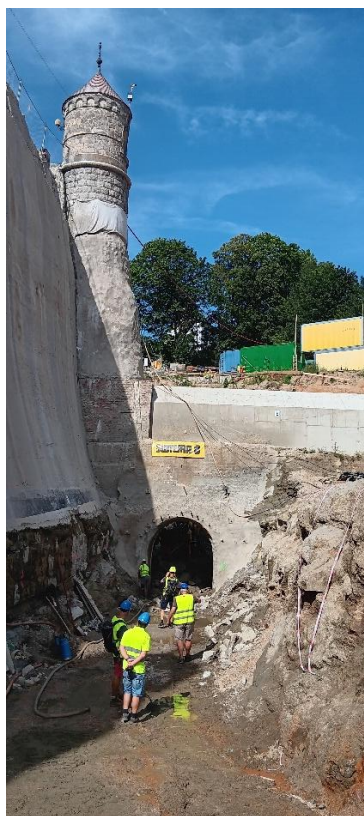


Obr. 3 Situace nově budované injektční štolý v patě hráze

5.3 RAŽENÁ ČÁST ŠTOLY

Injekční chodba je realizována v převážné délce (90% délky) otevřeným výkopem provedeným pomocí mechanizace a trhacích prací. Betonáž ostění chodby byla realizována na podkladní vyrovnávací beton. Pouze v místě křížení ICH s přítokovými štolami do manipulačních věží spodních výpustí byla provedena ražba pod ochranou mikropilotového „deštníku“ z vodorovných injektovaných ocelových tyčí MAI SDA \varnothing 51 mm. Plocha výrubu činila 10,5 m². Délka ražby pod výpustmi byla 2x 6m, což činí cca 10% délky chodby. Výrub byl stabilizován v průběhu provádění primárním ostěním tl. 200 mm sestávajícím se z příhradových rámu BTX, stříkaného betonu SB 25/30-X0 SBII J2 s dvěma vrstvami KARI sítí. Ražba v bezprostřední blízkosti věží, tělesa hráze a štol spodních výpustí probíhala pomocí trhacích prací s minimální velikostí náloží a záběry dl. 0,5 m. Účinnost trhacích prací snižoval v čelbě zastižený zdravý granit R1–R2 s vysokou puklinatostí, navíc prostoupený vrstvou navětralého granitu v úrovni základové spáry hráze. Po částečném provedení otevřeného výkopu v blízkosti stavebních konstrukcí spodních výpustí bylo dále zjištěno, že založení věží spodních výpustí není zhotoveno až do úrovně základové spáry tělesa hráze, proto bylo nutné přistoupit ke stabilizaci prostoru v blízkosti výrubu. Tento prostor byl z hlediska materiálového složení velmi členitý a tvořily ho nekvalitní beton, jednotlivé kameny a zvětralá žula s pevností od R2 až po R5. Stabilizace stavební jámy v místě založení věží spodních výpustí byla provedena stříkaným betonem SB 25/30-X0 SBII J2 s KARI sítí a injektovanými zemními hřebíky IBO \varnothing 32 mm, délky 4 m. Hřebíky a deštníky byly injektovány mikro cementovou směsí s plastifikátorem v poměru 1,0–2,0% hmotnosti cementu při vodním součiniteli 0,8–1,0.

Celý úsek byl z pohledu NRTM zařazen do jedné technologické třídy – VT3. Při provádění zemních prací pro realizaci štol, které se prováděly převážně v horninovém prostředí, byly zjištěny projektem nepředpokládané tlakové vývěry vody v základové spáře. V blízkosti levé spodní výpusti byla laboratorním rozbohem zjištěna uhličitánová agresivita vody na beton a bylo nutno použít tomu odpovídající třídu betonu. Z důvodu, že ražba probíhala pod úrovní tekoucí vodoteče na dně přehrady, bylo nutné v době provádění ražeb a budování štol přítoky soustředit do jímek a vodu kontinuálně odčerpávat ze stavební jámy. Tato průsaková a puklinová voda byla pouštěna do vodoteče. Ač rozsah ražeb byl pouze v jednotkách metrů, tak díky proměnlivosti skalního prostředí a přítomnosti kamenných konstrukcí přehrady byly ražby složitým úkolem pro všechny zúčastněné.



Obr. 4 a 5 Podražba spodních výpustí. Obr. 6 betonáž hloubené části štol

5.4 VYBAVENÍ INJEKČNÍ CHODBY

Vnitřní prostor chodby bude v provozu osvětlen a odvětrán ventilátorem s lutnovým tahem z nerezové oceli DN300 umístěným v klenbě v celé délce štoly. Výdech bude vyvedený ve stěně vstupní šachty. Štola má v nejnižším místě u paty pravé věže čerpací jímku prosáklých vod, kam bude svedena voda z kontrolních drenážních a vztlakoměrných vrtů ústících do štoly.

5.5 INJEKČNÍ CLONA

Injekční clona (IC) má být nepropustným prvkem, který bude eliminovat proudění vody pod základovou spáru hráze a tím, spolu s drenážními prvky, výrazně snižovat vztlakové síly působící na těleso hráze.

Z historicky prováděných hydrogeologických průzkumů před stavbou bylo zjištěno, že proudění vody pod základovou spárou je $58 \text{ m}^3 \cdot \text{hod}^{-1} = 16,1 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$.

Na základě výsledků zkušební injektáže bylo nutno přehodnotit nejen předpokládaný technologický postup, který předpokládal pouze injektáž vzestupnou, ale bylo možno změnit i navržené injektážní hmoty, což znamená výrazné úspory materiálových nákladů. Další změnou provedenou v rámci realizační dokumentace (RDS) byla změna trasy injekční clony na levé straně v místě prvního a druhého pole korunového bezpečnostního přelivu. Tato změna znamenala výrazné snížení nákladů na zajištění stability místní komunikace, která je vedena v těsné blízkosti levého zavázání hráze do terénu. Skutečně zjištěné parametry v trase injekční clony na základě provedení zkušební injektážního pole vedly k významným změnám v RDS. Injekční vrty byly prováděny přes podkladní beton injekční štoly.

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

- Ve všech vrtech byla pod úrovní základové spáry zastižena žula v různém stadiu zvětrání.
- Pro celý zkoumaný profil platí, že i zdravá, jinak pevná žula je rozpukaná (nejčastější pukliny jsou téměř svislé 70° – 90°), rozpadavost je kusová až bloková. Podložní hornina je značně propustná, ztráty vody z nádrže podložím jsou proto značné.
- Skalní podloží je porušeno výraznými puklinovými systémy. Otevřené pukliny zasahují min. 15 m pod úroveň základové spáry hráze.
- Podloží v prostoru pod hrází je méně propustné než podloží pod přehradou. Uvedený fakt způsobuje zvýšení (nárůst) vztlaku pod přehradou.

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

Zkušební injekční pole se skládalo z devíti injekčních vrtů, rozmístěných tak, aby bylo možné injektovat a následně zkontrolovat souvislý úsek injekční clony v podloží. Injektováno bylo postupným zahušťováním injekční clony vrty tří pořadí s použitím injekčních směsí na bázi cementu.

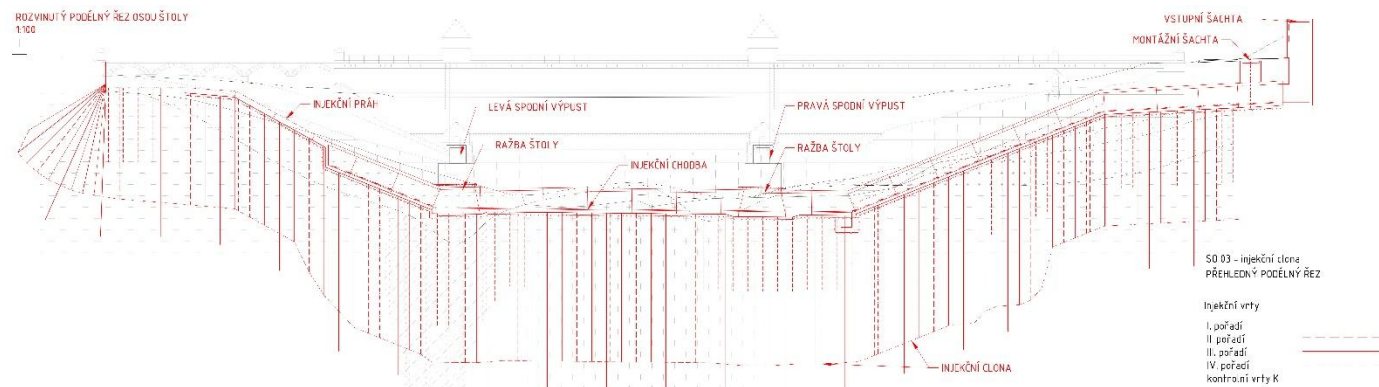
Průměrná spotřeba jílocementové injekční směsi vycházela $50,62 \text{ l/bm}$ a mikrocementové injekční směsi pak $65,29 \text{ l/bm}$. Z výsledků VTZ vyplynulo, že podloží hráze v úseku injekčního pole před dokončením zkušební injektáže dosahovalo průměrné propustnosti $6,86 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}$ při zkušebním tlaku $0,3 \text{ MPa}$. Propustnost podloží se prokazatelně snížila více než osminásobně. Maximální injekční tlaky se pohybovaly od $0,5$ do $1,3 \text{ MPa}$ v závislosti na poloze etáže. Zásadní bylo zjištění, že podloží hráze lze poměrně dobře injektovat pomocí jílocementových injekčních směsí a cementových směsí z velmi jemně mletých mikrocementů.

Samotná injekční clona byla následně provedena na hloubku $24,0 \text{ m}$ ve střední části hráze a $15,0 \text{ m}$ v zavázáních do břehů VD. Počet injektážních vrtů byl 183 ks, kontrolních vrtů bylo 8 ks. Celková délka vrtů byla 2872 m . Clona byla prováděna přednostně pomocí vzestupné injektáže. V místech s výrazně porušenou horninou však bylo nutností použití sestupné injektáže nebo kombinace obou způsobů v jednotlivých úsecích. Injekční clona byla navržena jako jednořadá s vrty ve čtyřech pořadích. Konečné rozteče injekčních vrtů byly přizpůsobeny očekávanému horninovému prostředí. Například v oblastech se zcela zvětralou a rozloženou žulou a v tektonicky porušené žule byla rozteč $0,75 \text{ m}$ a v úsecích s kompaktnější a zdravější horninou 0 m . Injekční i kontrolní vrty průměru min. 59 mm (maximálně 76 mm) byly vrtány jádrově. Pro kvalitnější výnos jádra byla použita dvojité jádrovnice. Technologie rotačně-příklepového vrtání byla v daných podmínkách nevhodná a nepřijatelná.

V době psaní článku (11/2025) je provedena přípojovací (fortifikační) injektáž prostoru pode dnem definitivní injekční chodby. Injektáž je prováděna až po vybudování injekční chodby a nasypání předsypu.

Požadováno je dostatečné „přitížení“ a konsolidace konstrukcí. Účelem přípojovací injektáže je důkladné proinjektování „choulostivého“ prostoru pod základovou spárou injekční chodby.

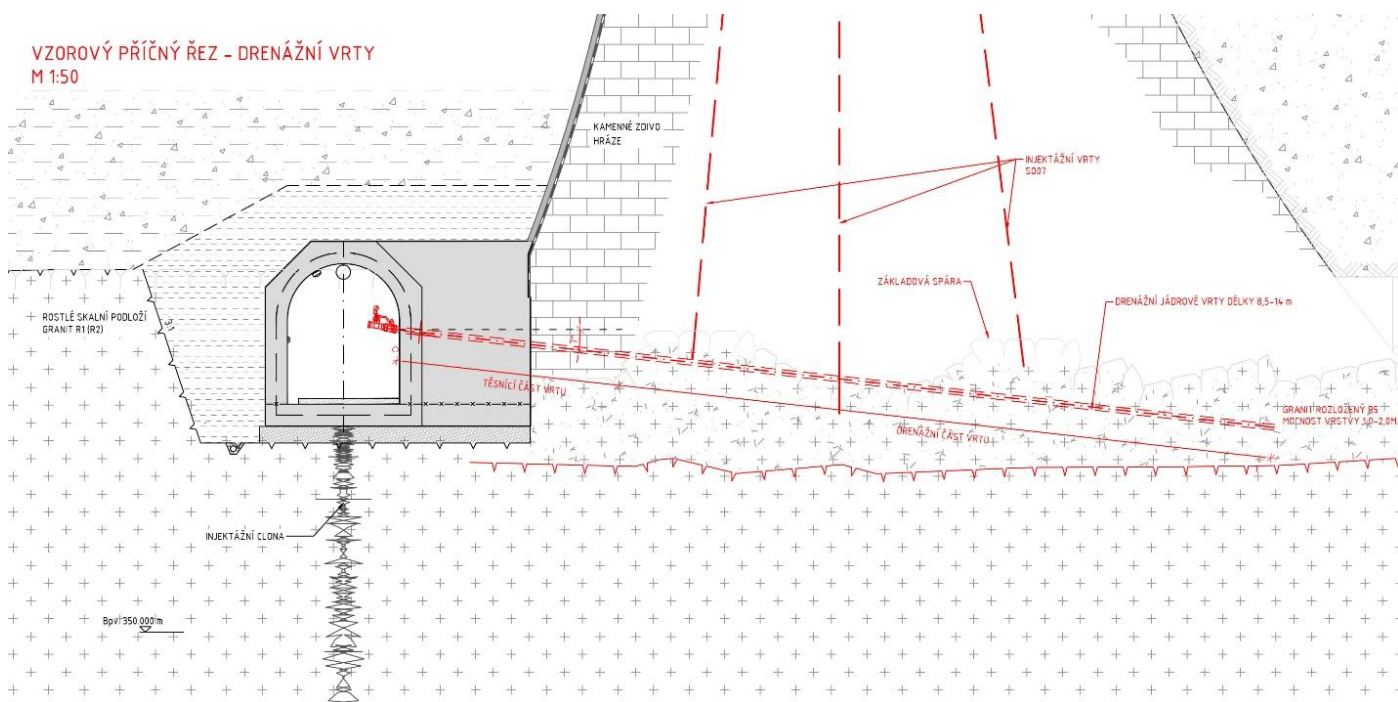
Zjištěné injektážní parametry směsi a výsledky ze zkušebního injektážního pole byly aplikovány s úspěchem na provádění celé injektážní clony. Výslednou kvalitu injektáží podloží hráze prokáže až množství průsakové vody a tlak vody pod hrází, které bude monitorovat 5 drenážních vrtů.



Obr. 7 Injekční štola – podélný řez

5.6 DRENÁŽNÍ VRTY

Ze stabilitního posudku tělesa hráze provedeného firmou VD-TBD jako součást „Návrhu opatření k zajištění bezpečnosti vodního díla při povodních“ (Richtr, Klemša, 2015) vyplynulo, že stupeň bezpečnosti proti posunutí za extrémního zatěžovacího stavu je nevyhovující. Výrazným negativním faktorem vstupujícím do výpočtu jsou vztlaky v základové spáře tělesa hráze. Pro jejich monitorování a v případě nutnosti krátkodobé snížení bude sloužit 5 odlehčovacích vrtů, které budou vedeny z ICH pod mírně sestupným úhlem pod základovou spárou tělesa hráze. Délka drenážních vrtů je 8,5–14 m. S ohledem na výskyt silně zvětralých poloh liberecké žuly, ve kterých se při již provedených vrtných pracích ukázala výrazná nestabilita stěn vrtu a vzhledem k přítomnosti tlakové vody, bylo nutno upravit i provedení a vystrojení vrtu na perforovanou ocelovou trubku $\varnothing 114,3/94$ mm.



Obr. 8 Injekční štola s drenážním vrtem

5.7 SPODNÍ VÝPUSTI

Stávající kamenné nátokové štoly byly kvůli svému technickému stavu před ražbami zesíleny železobetonovým sarkofágem a vyztuženy železobetonovým kotveným dnem.

Samotné komory a cihelné zátky spodních výpustí byly vybourány, rozšířeny a prohloubeny tak, aby mohlo být osazeno nové nerezové odtokové potrubí DN 1000 pro levou a DN 1200 pro pravou spodní výpust'. Dále bylo realizováno nové vnitřní technologické vybavení věží spodních výpustí.



Obr. 9 Montáž segmentu spodní výpusti DN1200

6. MONITORING PO DOBU STAVBY

Specializovaná geodetická měření, monitoring a hodnocení výsledků TBD jsou, stejně jako měření při trvalém provozu, prováděna pracovníky pověřené organizace VD-TBD. Oproti monitoringu prováděnému v trvalém provozu vodního díla je během stavby zvýšena četnost vybraných měření. Svislé posuny jsou měřeny velmi přesnou nivelací (VPN). Vodorovné posuny jsou měřeny pomocí polárního proměření prostorové geodetické sítě v řadách a skupinách ze stanovisek vztažné sítě.

6.1 DEFORMACE HRÁZOVÉHO TĚLESA

V průběhu posledních 24 let se vodorovné posuny koruny hráze pohybovaly v průběhu roku v rozmezí od 2 mm (ve směru toku) do 3 mm (proti směru toku).

Celkový vodorovný posun hráze tak nebyl větší než 5 mm a nebyl ani pozorován žádný nárůstový trend. V průběhu stavby, během prvního roku, byly rozdíly ve velikosti určených vodorovných posunů minimální. Vypuštění nádrže, snížení tlaku vody a vztlaku se deformačně významně neprojevovalo. Tyto výsledky byly přisuzovány klenbovému účinku zděné hráze a ochrannému přetížení předsypem.

Zcela odlišné výsledky měření vodorovných posunů pak byly naměřeny při hloubení rýhy pro založení štoly pod patou hráze. Vliv stavebních prací se projevil ve střední části hráze v její koruně vodorovnou deformací proti směru toku v hodnotě +20,0 mm. Vratná deformace při ochlazení hráze v zimních měsících a při opětovném provedení přísypu byla -5,0 mm. Sledované body na koncích (v závazání) hráze vykazovaly minimální mezietaповé pohyby v rozmezí $\pm 0,3$ mm. Celkové svislé posuny mají charakter prokazatelných poklesů, které jsou větší při středu hráze s maximem -4,3 mm.

Celkové posuny na patě vzdušného líce mají charakter poklesů, s maximem -2,9 mm.

Celkově jde zhodnotit měření po třech letech stavebních prací tak, že těleso hráze po vypuštění a během rekonstrukce reagovalo na stavební zásahy, zejména na obnažení základové spáry a odtěžení předsypu

nevratnou deformací (+15,0 mm ve směru toku). Hráz také reagovala se zpožděním na vliv teploty v zimním a letním období. Vliv ročního období se projevoval cyklickými vodorovnými posuny $\pm 5,0$ mm, v závislosti na ohřátí tělesa hráze.

6.2 POSUNY NÁVODNÍCH VĚŽÍ SPODNÍCH VÝPUSTÍ

Posuny ve směru kolmo na tok tj. ve směru osy hráze dosahují polovičních hodnot naměřených maxim ve směru toku a není na nich patrný cyklický režim teplotního zatížení.

Celkové poklesy věží v úrovni koruny hráze byly prokazatelné s maximální hodnotou $-4,5$ mm.

6.3 DEFORMACE PŘÍTOKOVÝCH ŠTOL V MÍSTĚ RAŽBY

Po převedení vody do pravé spodní výpusti na počátku stavby byla při kontrole levé přítokové štoly zjištěna trhlinka mezi kamenným zdívkem štoly a cihelnou vyzdívkou základu věže spodní výpusti. Z důvodů neznalosti způsobu založení objektu a návrhu ražby injekční štoly pod objektem nátoku, byla ve stropě spodní výpusti na spáru šířky 5,0 mm osazena deformetrická základna. Ve směru vodorovném bylo zjištěno sevření spáry o cca 1,0 mm (skokově od srpna 2023). Vysvětlení toho jevu je možné přisoudit prohrátí konstrukce po létě, zjištěné při geodetickém měření v průběhu roku. Svislé deformace ve spáře byly minimální 0,65 mm. Celkové poklesy přítokových štol po provedení sanačních opatření a vyražení injekční chodby pod nimi jsou v součtu $-6,6$ mm. Měření bylo prováděno s přesností $\pm 0,05$ mm. Četnost měření byla 1 x měsíčně s návazností na termín provádění geodetických měření na hrázovém tělese a v jeho okolí.

Výsledky měření VPN potvrzovaly stabilní chování hráze v celém hodnoceném období.

Překročení varovného stavu mez bdělosti $\pm 7,5$ mm od základního měření bylo pozorováno pouze na některých bodech u levé a pravé nátokové chodby a to v místech nátoku. Mezní hodnoty posunů $\pm 15,0$ mm od základního měření nebylo dosaženo nikde.

6.4 NÁKLONY NÁVODNÍCH VĚŽÍ SPODNÍCH VÝPUSTÍ

Umístění základů bylo provedeno uvnitř věží ve směru kolmo na hráz. Každá náklonoměrná základna je tvořena dvojicí kulových čepů, které jsou pevně zakotveny přes konzoly do stěny věže. U obou věží docházelo k obdobným deformacím. Výsledky měření ukazovaly shodu s prováděnými geodetickými měřeními na koruně hráze.

Ve směru toku se v zimních měsících projevoval na obou základnách náklon ve směru toku (ochlazení hráze). Maxima byla dosažena v průběhu roku na hodnotě 0,376 mm/m (pravá věž, konec února 2024, maximální pohyb po vodě – ochlazení hráze po zimě) a $-0,155$ mm/m (pravá věž, polovina září 2024, maximální pohyb proti vodě – ohřátí klenby hráze). Maximální náklon věže v průběhu roku ve směru toku byl u levé 9,1 mm a pravé věže 9,8 mm.

6.5 TLAKOVÉ POMĚRY

Tlakové poměry v podloží hráze jsou sledovány pomocí vztlakoměrných resp. odlehčovacích vrtů a pozorovacích sond umístěných na koruně hráze, v chodbě spodních výpustí, u vzdušní paty hráze a v podhrází. Po vypuštění nádrže se ve vrtech neprojevovalo žádné významné kolísání hladiny.

6.6 PRŮSAKOVÉ POMĚRY

Průsaky hrázovým tělesem a podložími jsou měřeny objemovou metodou na vyústění svislého drenážního systému v chodbách spodních výpustí. Předpokládá se, že během provádění injekčních prací z koruny hráze dojde k ucpání těchto drenážních systémů v celém rozsahu.

7. ZÁVĚR

Autorům bylo potěšením podílet se na návrhu a realizaci celkové opravy, kterou si přehrada po 120 letech bezpečného provozu určitě zasloužila. Autoři jako technicky nejvýznamnější vnímají doplnění podzákladů o injektážní clonu a vybudování injektážní štoly. V průběhu provádění injektážní clony se podařilo rozšířit geologická data z podloží hráze o důležité poznatky, které při přípravě projektu nebyly

k dispozici a ty poté budou sloužit pro případné budoucí opravy clony. Vzhled hráze rekonstruované pod dohledem NPÚ bude opět takový, jak jej na začátku 20. století naši předci postavili. Koruna hráze bude nadále z kamene s litinovým zábradlím a historickými lucernami, ale uvnitř tělesa hráze bude dílo prostoupeno technologií monitoringu a vybavením ve standardech 21. století.

Autoři věří, že zbývající dokončovací fáze naváží na dosavadní průběh rekonstrukce, a vodní dílo po třech stavebních letech umožní nejen bezpečné provozování minimálně dalších 120 let, ale bude občanům města nadále plnit i funkci rekreační.



Obr. 10 Vzdušná strana hráze

LITERATURA

VODNÍ DÍLA – TBD a. s., Ing. J. Chroumal (2006): Posouzení bezpečnosti vodního díla při povodních, Praha.

ČHMÚ, Ing. Radovan Tyl, Ing. Miloň Boháč (2005): Hydrologická studie pro VD HARCOV – Průběh teoretické povodňové vlny PV10000 určené deterministickým přístupem, Praha.

VODNÍ DÍLA – TBD a. s., Ing. D. Richtr, Ing. T. Klemša (2008): Studie opatření k zajištění bezpečnosti vodního díla při povodních, Praha.

ČVÚT v Praze, fakulta stavební, katedra hydrotechniky, doc. Ing. Ladislav Satrapa, CSc. a kolektiv (2010): Hydrotechnický výzkum vodního díla Harcov, Praha.

AZ CONSULT, spol. s.r.o., Mgr. K. Alföldi a kol. (2012): IG průzkum „VD Harcov, zajištění bezpečnosti vodního díla za povodní“, Ústí nad Labem.

VODNÍ DÍLA – TBD a. s., Ing. David Richtr, Ing. Tomáš Klemša (2015): Návrh opatření k zajištění bezpečnosti vodního díla při povodních, Praha.

VALBEK spol. s.r.o. (2017): dokumentace pro stavební povolení „VD Harcov, zajištění bezpečnosti vodního díla za povodní“, Ústí nad Labem.

AZ GEO, s.r.o., Ing. R. Králík (2017): doplňkový inženýrsko-geologický průzkum „VD Harcov, zajištění bezpečnosti vodního díla za povodní“, Ostrava.

VALBEK spol. s.r.o. dokumentace pro provedení stavby „VD Harcov, zajištění bezpečnosti vodního díla za povodní“, Ústí nad Labem, 2020.

Ing. Martin Kyselák

Valbek spol. s r.o. Vaňurova 505/17, 460 07 Liberec, Česká republika

martin.kyselak@valbek.cz