

OPRAVA BETONOVÝCH KONSTRUKCÍ VODNÍHO DÍLA VRANOV REPAIR OF CONCRETE STRUCTURES OF THE VRANOV HYDRAULIC STRUCTURE

DAVID RICHTR

Po téměř sedmdesátiletém provozu se na vodním díle Vranov projevily různé technické závady, v systému běžné údržby neodstranitelné, které jsou důsledkem procesu stárnutí stavby. Jednalo se především o značnou degradaci povrchů betonových konstrukcí. Stav vodního díla se výrazně zhoršil po povodni v srpnu 2002, kdy došlo k dalšímu progresivnímu narušení povrchu betonových konstrukcí a k značným povodňovým škodám. Správce vodního díla, Povodí Moravy, s. p., proto přistoupil k rozsáhlým opravám.

After almost 70 years of operation of the Vranov hydraulic structure, various technical faults, impossible to repair within the system of everyday operation, appeared. They arose as a consequence of the structure's aging process. They included, above all, considerable degradation of surfaces of concrete structures. The condition of the hydraulic structure worsened significantly after the flood in August 2002, when further progressive damage of the surface of the concrete structures and major flood damage were inflicted. Therefore, the waterworks supervisor, River Morava Authority (state-owned enterprise), set about vast repairs.

Vodní dílo Vranov bylo postaveno v letech 1930 až 1933 jako víceúčelová vodní nádrž. V současné době je využívána k protipovodňové ochraně, nadlepšování nízkých průtoků v korytě pod nádrží, zajištění výroby elektrické energie ve špičkové VE, zajištění odběrů pro vodárenské využití a v neposlední řadě i k rekreaci.

Vzdouvajícím objektem je betonová tížná hráz s osou v oblouku o poloměru 500 m, dělená dilatačními spárami na osmnáct bloků. Šířka jednotlivých bloků hráze je 13,5 až 15,5 m, elektrárenský dvojblok má šířku 27 m. Délka hráze v koruně je 290,5 m, maximální výška nad základovou spárou je téměř 60 m. Bloky jsou děleny dilatačními spárami těsněnými měděným plechem a šachtíčkou s asfaltovou zálivkou. Na návodní straně jsou železobetonové lichoběžníkové těsnící klíny.

Pro převedení víceletých vod je devět bloků provedeno s nehrazenými bezpečnostními přelivy. Přepadající voda ze čtyř přelivů se uklidňuje na kaskádách, které jsou vybudovány na levém svahu a jsou zakončeny vývarem. Kaskádu tvoří deset betonových stupňů s obvodovou zdí.

Jako spodní výpusti slouží čtyři potrubí profilu 1600 mm opatřená vždy třemi uzávěry. Na návodní straně jsou tabulové, na vzdušné straně hráze jsou klínová soupátka a regulační (provozní) uzávěry.

Regulační uzávěry jsou dvojího typu. Dva jsou typu Johnson a dva jsou válcové.

Na pravém břehu je umístěná špičková vodní elektrárna se třemi Francisovými turbínami o maximální hltnosti $3 \times 15 = 45 \text{ m}^3/\text{s}$. Přívodní potrubí na turbíny jsou ocelová profilu 2 600 mm.

Přehrada Vranov byla první přehradou z litého betonu v tehdejší Československu. Později s nástupem technologie vibrování masivního přehradního betonu bylo od výstavby hrází z litého betonu u nás ustoupeno.

Stav litého betonu, po dlouholetém provozu vodního díla, byl jedním z cílů průzkumných prací před zpracováním projektové dokumentace pro opravu.

PRŮZKUMNÉ PRÁCE

Průzkumné práce byly jedním z nezbytných podkladů pro projekty opravy. Pro jednotlivé etapy bylo při zajištění průzkumných prací potřeba vyčerpání vývaru, dočasného snížení hladiny vody v nádrži i použití horolezecké techniky. Pro určení rozsahu a příčin poškození betonových konstrukcí byly provedeny vizuální prohlídky, akustické trasování, nedestruktivní zkoušky pevnosti v tlaku, odběry jádrových výtvů, destruktivní zkoušky betonu v tlaku a prostém tahu, zkoušky pevnosti povrchových vrstev v prostém tahu a zkoušky nasákavosti a mrazuvzdornosti.

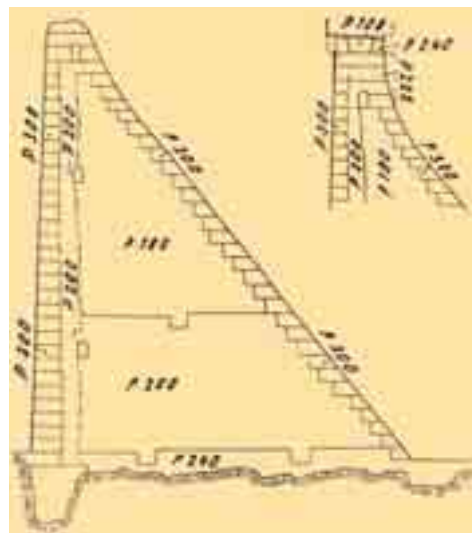
Obr. 1 Poškození betonu zhlaví obvodové zdi vývaru

Fig. 1 Damage to the concrete of the end of the external wall of the stilling basin



Obr. 2 Druhy betonu v hrázovém bloku

Fig. 2 Types of concrete in the dam block



Nejvýraznější bylo porušení betonu v místech vystavených klimatickým vlivům s možností vniknutí vody do konstrukce (styk pracovních vrstev a jednotlivých bloků hráze). Výsledky pevnostních zkoušek prokázaly vyhovující pevnosti betonu v tlaku. Nižší hodnoty pevnosti v tahu byly zaznamenány u povrchových vrstev, které jsou narušeny účinky klimatických vlivů s dominantním postavením mrazového zvětrávání.

Z analýzy původních technologických postupů použitého litého betonu vyplynulo, že hlavní příčinou degradace povrchu betonových konstrukcí je jeho mikrostruktura, existence kapilárních pórů a z toho vyplývající nízká mrazuvzdornost. To potvrdily i výsledky zkoušek mrazuvzdornosti, při nichž se prokázalo, že beton nedosahuje ani stupně mrazuvzdornosti T25. Použitý litý beton nesplnil kritéria pro vodostavební beton.

Litý beton se vyznačuje především vyšším vodním součinitelem v/c . Ten však má významný vliv právě na vodotěsnost, propustnost a nasákavost. Na vodním díle Vranov bylo použito betonu s vodním součinitelem v/c v rozmezí cca 0,75 (P 300) – 1,1 (P 180).

Oprava betonových konstrukcí probíhala od září 2003 do konce roku 2005 ve třech základních etapách.

Oprava rozdělovacího objektu

První etapa zahrnovala opravu rozdělovacího objektu, vytvářejícího „ostrov“ mezi

Obr. 3 Pohled na vyčerpáný vývar při opravě rozdělovacího objektu

Fig. 3 View of the drained stilling basin during the repair of the separating structure



vývarem pod přelivy a spodními výpustmi a vývarem elektrárenským. V této etapě byly opraveny i obvodové zdi vývaru, betonové bloky odrazníků, lávka spojující strojovnu spodních výpustí s rozdělovacím objektem, byly odstraněny nánosy z vývaru a z odpadu od elektrárny a doplněn odplavený zához za prahem vývaru.

Jelikož pro tyto práce bylo nutné zajistit vyčerpání vývaru, byl při té příležitosti opraven i povrch betonu vzdušního líce hráze v úrovni kolísání hladiny ve vývaru. Pro zajištění vyčerpání vývaru byla na jeho prahu zřízena ochranná jímka. Ta byla vytvořena pomocí hradidel a sloupků osazovaných do připravených vývrtů. Vodotěsnost jímky opatřené ještě PVC fólií byla téměř stoprocentní.

Materiál odplavený při povodni z rozdělovacího objektu byl doplněn, řádně zhutněn a pro ochranu opatřen kotvenou protierozní matrací. Finální povrch byl oset.

Obvodové zdi vývaru a rozdělovacího objektu byly sanovány reprofilací. Expozovaná část zdí (v kolísání hladin) byla vyztužena svařovanou sítí KARI Ø 8 mm o rozteči 100 x 100 mm. Síť byla k původnímu betonu zdi kotvena systémem konstrukčních hřebů z žebírkové betonářské oceli Ø 10 mm. Reprofilačním materiálem byla polymer-cementová malta, pro silnější vrstvy reprofilací (až 100 mm) modifikovaný střikáný beton.

Reprofilace betonových konstrukcí byly prováděny podle stanovených technologických postupů, po vybourání degradovaného betonu a řádné předúpravě povrchu, technologií nástřiku „za sucha“.

Značně poškozené betony zhlaví zdí byly reprofilovány dobetonováním (beton do bednění) provzdušněným betonem vyztuženým kotvenou svařovanou sítí.

Lávka spojující strojovnu spodních výpustí s rozdělovacím objektem byla sanována reprofilací. Na povrchu konstrukce desky byla provedena přímopochází izolace.

Oprava vzdušního líce hráze

Nejrozsáhlejší etapa zahrnovala opravu převážného povrchu vzdušního líce hráze, kaskády bezpečnostního přelivu, jeho opěrné zdi, opravu betonových konstrukcí spodní stavby vodní elektrárny a opravu technologických částí strojovny spodních výpustí.

Sanace betonových povrchů vzdušního líce hráze měly charakter velkoplošných reprofilací poměrně silných vrstev (místy až 200 mm) vyztužených kotvenou ocelovou sítí. Značné byly i objemy bouracích prací, kde pro splnění požadavku na předúpravu povrchu (pevnosti v tahu) bylo nutno odstranit značné množství degradovaného betonu (průměrně celoplošně 50 až 100 mm). Bylo použito několik technologií sanací podle míry poškození původního betonu.

V horních partiích hráze, které jsou „chráněny“ proti účinkům povětrnostních vlivů převisem koruny hráze, byla použita jen lokální reprofilace a sjednocení povrchu cemento-disperzní stěrkou s nízkým difúzním odporem. Pro použití této technologie musela být nezbytně splněna podmínka dosažení průměrné pevnosti

Obr. 4 Zajištění přístupu na vzdušní líc kombinací pevného lešení a mobilní lávky

Fig. 4 Securing access to the downstream face by means of a combination of a stationary scaffolding and a mobile footbridge





Obr. 5 Zavěšené lešení na návodním líci
Fig. 5 Suspension scaffolding on the upstream face

povrchových vrstev v tahu po předúpravě povrchu v minimální hodnotě 1,4 MPa.

Nejvíce plošně uplatněnou technologií byla reprofilace do 100 mm s vytužením kotvenou svařovanou sítí KARI Ø 5 mm o rozteči 100 x 100 mm. Reprofilacním materiálem byl modifikovaný stříkaný beton s příměsí mikrosiliky a polypropylenových vláken. Reprofilace byly prováděny technologií nástřiku „za sucha“.

Základním předpokladem plošných oprav takového rozsahu bylo zajištění přístupu pracovníků většinou prostřednictvím lešení, v místech přelivů i s použitím závěsných lávek spouštěných z koruny přelivu.

Oprava spodní stavby elektrárny a zdi odpadního koryta byla realizována v provozní výluce elektrárny v délce pouhých

Obr. 7 Pohled na vodní dílo Vranov při povodni v březnu 2006

Fig. 7 View of Vranov waterwork during the floods in March 2006



Obr. 6 Blok nátoků do elektrárny

Fig. 6 Block of inlets to the power station

30 dní. Pro urychlení prací byla nutná operativní změna projektu a přemostění výtoků ze savek (s jeřábovou dráhou) bylo realizováno ocelovou konstrukcí namísto původní železobetonové.

Oprava návodního líce hráze

Třetí etapa zahrnovala opravu horní části betonového povrchu návodního líce jednotlivých bloků. Realizace opravy spočívala převážně v sanaci povrchů betonu návodního líce hráze v pásu širokém cca 9,5 m. Spodní úroveň sanace byla zvolena s ohledem na kolísání hladiny vody v nádrži a míru porušení betonu. Pod touto úrovní byl již beton bez výraznějších poškození mrazem a ve vyhovujícím stavu.

Obdobně jako u vzdušního líce bylo použito několik technologií sanací podle míry poškození původního betonu. V partiích hráze, které jsou „chráněny“ proti účinkům povětrnostních vlivů, bylo použito jen lokální reprofilace a sjednocení povrchu cemento-disperzní stěrkou s nízkým difúzním odporem (pravá část hráze, plné bloky). Rozsáhlejší reprofilace vyztu-

žené svařovanou sítí KARI byly v oblastech přelivů a v blocích strojovny návodních hradel a nátoků vodní elektrárny. Reprofilacním materiálem byl modifikovaný stříkaný beton s příměsí polypropylenových vláken. Reprofilace byly prováděny technologií nástřiku „za sucha“.

Pro zajištění přístupu pracovníků bylo využito speciální posuvné lešení zavěšené z koruny hráze.

SHRNUTÍ

Při všech etapách opravy byla při sanačních pracích náležitá pozornost věnována zejména důkladné předúpravě (očistění) povrchu betonu. Hloubka odstranění porušeného betonu vycházela z jeho stavu a požadavku na únosnost podkladu, tj. na pevnost v tahu povrchových

Obr. 8 Poškození sanované betonové plochy přelivu v napojení na kaskádu

Fig. 8 Damage of the repaired concrete surface spillway in connection with a cascade



Náročně přísady pro náročný transportní beton!

vrstev. Pro technologie, kde nebylo použito vyztužení sítí, musela být nezbytně splněna podmínka dosažení průměrné pevnosti povrchových vrstev v tahu po předúpravě povrchu v minimální hodnotě 1,4 MPa. Při použití sítí byla tolerována hodnota 1,1 MPa. V některých případech se ani po odstranění vrstvy až 200 mm nepodařilo požadované hodnoty dosáhnout. V dalším neúměrném bourání nevyhovujícího betonu nebylo pokračováno. Dostatečnou ochranu by měla zajistit kotvená „masivní“ konstrukce reprofilace.

Technologie bouracích prací musela být volena optimálně tak, aby nedocházelo k neúměrnému rozrušování betonu. Bylo třeba zohlednit skutečnost, že použitý beton obsahuje frakce kameniva 25 až 80 mm. Při bourání větších vrstev bylo nutné volit optimální sklon nástroje (mírně šikmo a „odlupovat“). Na návodním líci se osvědčilo odstraňování porušeného betonu, i vyšších mocností, jen s použitím VVP.

Z důvodů zajištění co nejmenšího difúzního odporu nebyly sanované plochy opatřeny žádným ochranným finálním nátěrem.

ZÁVĚR

Popsaná oprava přehrady Vranov byla zatím nejrozsáhlejší opravou betonových konstrukcí provedenou na vodních dílech v České republice. Její rozsah byl dán především značným hloubkovým poškozením povrchu použitého litého betonu.

Použití litého betonu bylo v době výstavby hráze velmi účelné, protože v dalekém okolí staveniště nebyl žádný vhodný lomový kámen pro stavbu jinak rozšířených zděných hrází z lomového kamene. Použití litého betonu předcházely četné studie, kde byly hodnoceny jeho výhody i nevýhody. Podstatnými výhodami litého betonu byla jeho tekutost při zpracování na místě určení, což bylo docíleno zvláštním granulometrickým složením směsi, menší nárok na počet pracovních sil a z toho vyplývající nižší náklady stavby. Zařízení potřebná k této stavební technologii nebyla tak nákladná jako při užití dusaného betonu.

Nevýhodou, na kterou již tehdy poukázali odborníci, byla jeho menší pevnost a nižší odolnost proti mrazu (mrazuvzdornost). Projektanti se však hájili tvrzením, že tyto vady byly moderním výzkumem úplně potlačeny.

Při sedmdesátiletém provozu vodního díla se ukázalo, že tyto předpoklady nebyly správné.

Vlastní masivní bloky z litého přehradního betonu jsou v naprosto dobrém stavu a bez výraznějších poškození. Poškozeny byly povrchy betonových konstrukcí vystavené mrazovému namáhání. Provedenou opravou se zvýšila kvalita (zejména mrazuvzdornost) povrchu betonů a prodloužila se tím tak celková životnost tohoto významného vodního díla.

Vodní dílo Vranov bylo krátce po své opravě koncem března 2006 zatíženo extrémní povodní. Jednalo se o povodeň srovnatelnou s tou, která v roce 2002 způsobila značné škody na vodním díle. Ve velice krátké době tak došlo k praktickému odzkoušení kvality prací i vhodnosti použitých technologií oprav betonu.

Přes vodní dílo byl v době kulminace povodně 30. 3. 2006 převáděn průtok více než 300 m³s⁻¹ (stoletý průtok je v tomto profilu 355 m³s⁻¹).

Značnému zatížení byly vystaveny betonové plochy hrázových bloků tvořící bezpečnostní přeliv, kaskáda přelivů, vývar a jeho obvodové zdi a rozdělovací objekt.

Po ukončení převádění povodňových průtoků byla provedena prohlídka díla a specifikace škod. Poškození byla oproti roku 2002 výrazně nižší. K poškození došlo u rozdělovacího objektu, kde byl odplaven zemní materiál, který zatím nebyl zpevněn dostatečně zakořeněným travním porostem. Další drobné poškození bylo zaznamenáno u sanované betonové plochy přelivu na styku s kaskádou. Zde pravděpodobně docházelo k těžko popsatelným hydraulickým jevům při tlumení kinetické energie přepadající vody. Rozsah poškození je v porovnání s objemem provedených prací, téměř zanedbatelný. Je možno konstatovat, že opravy betonových konstrukcí při „zatěžkávací zkoušce“ obstály.

Investor	Povodí Moravy, s. p.
Dodavatelé	I. etapa prací – SASTA CZ, a. s.
	II. etapa – sdružení EREBOS, spol. s r. o., a SASTA CZ, a. s.
	III. etapa firma ŽS BRNO, a. s.
Projektant	VODNÍ DÍLA – TBD, a. s.

Ing. David Richtr
VODNÍ DÍLA – TBD, a. s.
Hyberská 40, 110 00 Praha 1
tel.: 221 408 319, fax: 224 212 803
e-mail: richtr@vdtbd.cz



Jako středně velký výrobce betonářské chemie, barev a dávkovacích zařízení nabízíme již 35 let oprávněně znalosti o betonu.

Naše služby zahrnují bezplatné návrhy optimalizace receptur, přísad a výrobních procesů.

Obracejte se na nás!



BauChem
Člen skupiny podniků Ha-Be

K Panelárně 172
CZ-Karlovy Vary-Otovice 362 32
tel./fax +420 35 3 56 10 83
mobil: +420 602 64 73 80
e-mail: petr.gulevic@cmail.cz

www.ha-be.com