

## Speciální požadavky na sanace konstrukcí vodohospodářských objektů

Beton je základním materiálem vodohospodářských staveb všech základních oborů – hydrotechnických (stavba hrází, úpravy toků, hydroenergetika), vodárenských (úpravny vody, vodojemy) i čistírenských (čistírny odpadních vod, objekty na stokové síti). Jedná se vesměs o stavby vodu nebo vodní suspenze zadržující nebo vedoucí. Každý z oborů klade specifické požadavky na stavební část díla, a tedy i na betonové konstrukce, resp. jejich opravy a sanace.

Tento článek se soustředí na zvláštní podmínky působení vody nebo vodní suspenze a z nich plynoucí speciální požadavky především na železobetonové nádrže úpraven, čistíren a vodojemů. Vycházíme z mnohaleté zkušenosti při projektování řady významných vodohospodářských staveb, z bezprostředního kontaktu s jejich provozováním, s diagnostikou jejich stavu i s realizacemi navrhovaných rekonstrukcí.

Článek vychází z textu publikovaného ve sborníku konference Sanace 2010. Text byl upraven a doplněn tak, aby obsahoval i některé informace přednesené na konferenci při prezentaci.

### Požadavky kladené na stavební konstrukce nádrží

Základní požadavky vyplývají z funkce a určují objem nádrží, úroveň hladin, napojení na další objekty atd. na základě vodohospodářského řešení. Požadavky na stavební provedení novostavby i rekonstrukce (resp. sanace) je pak možné rozdělit do několika skupin, zejména:

- požadavky plynoucí z charakteru stavby a související s funkcí, především vodotěsnost; u sanací nádrží nebývá rozhodující, nepropustnost se obvykle požaduje od základní konstrukce;
- požadavky na ekonomičnost realizace;
- stabilita stavby a statická spolehlivost celku jednotlivých prvků;
- zajištění požadované životnosti a odolnosti vůči vlivům působícího prostředí;
- požadavky na spolehlivé, snadné, ekonomicky nenáročné a bezpečné provozování (čištění, možnost oprav nebo rekonstrukce za provozu, omezení nároků na údržbu);
- pro vodárenské nádrže hygienické požadavky (vhodnost pro styk s pitnou vodou).

Je přitom zřejmé, že konkrétní stavební řešení může někdy současně splnit některé požadavky z různých skupin (např. dostatečná „hladkost“ návodních povrchů vodojemu bude vyhovovat požadavkům provozním – snadné čištění – i hygienickým), jindy ale může současně odporovat požadavkům jiným (opět např. „hladkost“ dna, a tedy kluzkost, bude snižovat bezpečnost provozování). Úkolem správného návrhu a provedení je tedy i optimalizace splnění všech relevantních požadavků.

### Vlivy prostředí působící na konstrukce ve vodním hospodářství

Jak z podstaty věci vyplývá, rozhodujícím specifickým působením je v nádržích přímý styk s vodou nebo s vodními suspenzemi (spláskové a odpadní vody proměnného složení a v různých fázích procesu čištění, čistírenské kaly apod.) a dále styk s prostředím s vysokou vlhkostí nad provozní hladinou. Na povrchy konstrukcí ve vodním hospodářství působí kapaliny:

- trvale nebo výrazně dlouhodobě – v případech provozních hladin držených přelivy na odtoku, tedy u většiny čistírenských nádrží (usazovací, aktivační, dosazovací, regenerační) a některých vodárenských (filtry, flotace, flokulace, ozonizace);
- s výrazným rozkmitem hladin (vodojemy a vodárenské akumulace, vyrovnávací nádrže, uskladňovací nádrže čistíren na kal), obvykle s definovanou minimální provozní hladinou;
- jen krátkodobě (retenční dešťové nádrže, havarijní jímky apod.), převážnou část provozní životnosti jsou povrchy bez kontaktu s kapalinou.

Kromě hydrostatického tlaku je styk povrchů s kapalinami provázen korozními vlivy závislými na komplexním chemickém složení vody (suspenze), na rychlosti proudění, na teplotě a dalších faktorech. Rozhodujícími účinky jsou:

- vyluhování, resp. tzv. hydrolytická koroze I. druhu. Hydroxid vápenatý  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  vzniklý při hydrataci a dlouhodobém styku složek cementu s vodou je postupně uvolňován z povrchových vrstev betonu s následným poklesem pH i strukturálními změnami;
- koroze výztuže, a to i pod hladinou bez přístupu kyslíku; hrozí ve vodárenských objektech s vysokou koncentrací chlóru ( $\text{Cl}_2$ ) ve vodě;
- chemická koroze II. a III. druhu způsobovaná obsahem dávkovaných chemikálií s různými redukčně oxidačními potenciály; ve vodárenství a čistírenství se běžně nebo občas dávkuje: fluorid sodný (NaF), fluorokřemičitan sodný ( $\text{Na}_2\text{SiF}_6$ ), chlornan sodný ( $\text{NaClO}$ ), chlorid železitý ( $\text{FeCl}_3$ ), kyselina sírová ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ),

manganistan draselný (KMnO<sub>4</sub>), síran hlinitý Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>, síran železnatý FeSO<sub>4</sub>, plynný chlór (Cl<sub>2</sub>), ozón (O<sub>3</sub>) a další chemikálie (v poslední době např. často metylalkohol);

- abraze, především v objektech na stokách (a samozřejmě ve stokách samotných) a ve vstupních objektech čistíren;
- alkalická reakce kameniva ve zvláštních případech.

Nad hladinou pak vždy kromě běžné karbonatace vzdušným CO<sub>2</sub> působí vysoká vzdušná vlhkost dosahující lokálně i nasycení. Vodní pára vstupující do konstrukcí může kondenzovat – v závislosti na rosném bodu – jak uvnitř, tak na povrchu stěn a stropů. Kondenzát má nízké pH (6,0–6,4) a tvrdost 0,04 až 0,10 mmol/l a způsobuje vyluhovací korozi. Zejména v uzavřených čistírenských nádržích a ve stokách je zcela běžná síranová koroze III. druhu působením iontů kyseliny sírové SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, pocházejících ze sirovodíku H<sub>2</sub>S vzniklého v anaerobním prostředí splaškových vod, dále biochemicky oxidovaného až na volnou kyselinu sírovou. Dále pak nad hladinou mohou působit v závislosti na poloze nádrže v technologické lince nerozpuštěné a uvolněné agresivní plyny (Cl<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, CO), zvýšené riziko hrozí zejména u dokonalých přelivů nebo v důsledku řízených procesů, jako je např. aerace nebo praní vodárenských filtrů (s aktivním uhlím absorbujícím zbytkový ozón).

Správný návrh a úspěšné provedení sanačního zásahu, pokud chce docílit dlouhodobé životnosti revitalizované konstrukce, musí vzít do úvahy kromě běžných kritérií i všechny výše uvedené vlivy, což vyžaduje jistě dobrou znalost prostředí a technologických procesů.

### Rozhodující faktory pro sanace nádrží

Podmínkou správného návrhu a následné realizace sanačního zásahu a poté bezproblémového fungování sanovaných nádrží vodního hospodářství je stejně jako u jiných staveb kvalitní stavebnětechnický průzkum – diagnostika konstrukčních i podružných prvků.

Průzkum se zaměřuje přednostně na tři hlavní oblasti:

- **stav nosných konstrukcí** – u železobetonu se jako u jiných druhů staveb zjišťují pevnostní charakteristiky, hloubka karbonatace, tloušťka neporušených krycích vrstev, stav a soudržnost povrchových vrstev, stav případně narušené výztuže apod. Navíc mrazuvzdornost u prvků, které mohou být vystaveny klimatickým účinkům, případné projevy alkalické reakce kameniva, hloubka penetrace látkami obsaženými ve vodě nebo vyluhování, nasákavost, stav dilatačních spár a další vlastnosti ovlivňující nepropustnost a jiné požadované vlastnosti konstrukce;
- **stav ostatních prvků stavby** – přídržnost původních povrchových úprav (podlahy, obklady, omítky), stav a funkčnost izolačních vrstev ovlivňující podmínky působení betonové konstrukce (hydroizolace v zemi a na střeších, tepelné izolace);
- **stav podloží původní stavby – inženýrsko-geologický průzkum.**

Pro armaturní prostory nádrží se průzkum doplňuje o zjištění stavu a vlastností obvodového pláště a podružných stavebních prvků.

Při každé rekonstrukci je třeba být připraven, že průzkum neodhalí vše a v průběhu stavby budou vždy zjištěny neznámé skutečnosti – odchylky od očekávaného stavu. Pro tyto případy je vhodné a někdy nutné vytvářet ve shodě investora a projektanta rezervy jak ve specifikaci prací, tak ve finančním zajištění. U provozovaných nádrží jde o zcela běžnou situaci – často není možné nádrž pro účely diagnostiky vyprázdnit, jindy to sice u rekonstrukce vícekomorových objektů za provozu možné je, ale pouze u části nádrží. Již zadání stavby a projekt pak musí počítat s nutností operativního doprůzkumu v době realizace stavby.

Především pro čistírenské (ale i jiné otevřené) nádrže se zdůrazňuje význam určení mrazuvzdornosti původního betonu, resp. jádra ponechávaného po preparaci nebo odbourání původních degradovaných povrchových vrstev. Současně je nutné ověřit další prvky a jejich vlastnosti ovlivňující průnik vody do betonu – např. stav hydroizolací na kontaktu se zeminou apod. Rozhodujícím způsobem to ovlivňuje volbu sanační strategie (rozhodnutí o tenkovrstvé reprofilaci nebo o mechanicky kotveném přibetonování, případně o vyvločkování a jeho úpravě) a výsledný úspěch zásahu.

Pro vodárenské nádrže jsou rozhodující hygienické vlastnosti sanačních hmot – vhodnost pro styk s pitnou vodou ve smyslu platné legislativy.

Ač se může zdát, že stále přísnější hygienické požadavky již překračují reálnou potřebu, je nutné zvážit tyto faktory:

- Nejen hmoty v přímém styku s pitnou (a dokonce i s teprve upravovanou) vodou musí vyhovět požadavkům vyhlášky 409/2005 Sb. Požadavek se přeneseně týká i např. prvků zastropení přímo nad nádrží, kde může docházet k odkapávání kondenzátu. Často bývá problém jak pro projektanta, tak pro zhotovitele najít výrobek, u něhož je výrobce schopen doložit požadovanou vhodnost. Zejména při operativních změnách během realizace je prakticky nemožné zvládnout to včas.

- S ohledem na zpřísnování hygienických požadavků je nezbytné připravit se na nutnost prokazovat vhodnost samotného betonu pro styk s pitnou vodou. Upozorňuje se na fakt, že již byla zavedena evropská norma hodnotící vliv průmyslově vyráběných cementových výrobků na vodu určenou k lidské spotřebě (podotýkáme, že již od 80. let platilo ustanovení původní ČSN 73 1209 o *hygienické vhodnosti cementu ve vodárenských nádržích*).
- U materiálů pro sanace vodárenských betonových konstrukcí platí z hygienického hlediska stejné zásady pro výběr jako u nových konstrukcí. Projekt přitom musí jasně specifikovat technické a hygienické požadavky na materiály a postupy.
- Není jasná hranice, kdy ještě požadavek vhodnosti pro styk prokazovat – vrstvy, které budou překryty jinými tenkovrstvými úpravami při sanacích, by nutně nemusely přísná kritéria splňovat, rozhodující bude vhodnost povrchové úpravy a její schopnost zabránit vyluhování z překrytých vrstev.
- Zásadně je nutné vyhýbat se hmotám umožňujícím nebo dokonce podporujícím vznik mikroorganismů (plísní), jako jsou např. akrylátové nátěry nebo tmely apod. Používat jen tzv. minerální hmoty bez obsahu organických látek.

Zásadním požadavkem na každý sanační zásah je další předpokládaná životnost konstrukce (při minimalizaci nároků na údržbu a opravy). Pro orientaci uvádíme, že kategorizaci staveb podle požadované životnosti zavádí soubor eurokódů – doporučená třída běžných betonových konstrukcí je S4 s návrhovou životností 50 let. Letošní *Změna Z1 Eurokódu ČSN EN 1990 (Zásady navrhování konstrukcí)*, zařazuje stavby vodního hospodářství včetně vodojemů v *Národní příloze* opět do kategorie 4 s informativní návrhovou životností 50 let. Zadávací podmínky by tedy měly obsahovat jasný požadavek na životnost povrchových úprav včetně sanací, běžně se uvažuje s prodloužením celkové životnosti díla o 80 až 100 let a s dobou 50 let do další případné rekonstrukce stavby – betonové konstrukce.

### **Příklady realizovaných rekonstrukcí**

V období posledních 10 až 15 let byla realizována řada zásadních rekonstrukcí existujících vodojemů i nádrží čistíren odpadních vod. Z oblasti čistírenství jsme před čtyřmi lety referovali o sanaci první dvojice vyhnívacích nádrží ÚČOV Praha, dosud byly obdobným způsobem rekonstruovány další dvě dvojice a chystá se pokračování na dalších (stavba zahrnuje celkem 8 dvojic VN). Bližší informace o této akci byly rovněž publikovány v *Inženýrských stavbách*. Zde uvedeme příklad úspěšné realizace sanací vodárenských nádrží – v loňském roce dokončené rekonstrukce vždy jedné komory pražských vodojemů Lhotka a Karlov. Na jejich příkladu je možné ilustrovat řadu výše popsaných problémů a skutečností. Vodojem Lhotka má čtyři nádrže budované ve dvou etapách, vždy pro dvojici z nich je součástí stavby armaturní komora (AK). Vodojem je nezasypané, obvodové stěny byly obloženy přízdívkou, střešní plášť tvořila nedostatečná izolace z pěnového polystyrenu a plechová krytina vykazující závady. Rekonstruována byla jedna z jižní dvojice nádrží (6000 m<sup>3</sup>, 33,6x39,6 m) a trubní vystrojení jen po vzdušný líc prostupů do AK. Důvodem rozsáhlého stavebního zásahu na vodojemu ze 70. let byl především korozní stav stropních (střešních) železobetonových prvků – trámů i železobetonových desek. Rekonstrukce se omezila na úplnou výměnu stropu a střešního pláště a na sanační úpravu vnitřního líce nádrže. Na obvodovém plášti – obezdívce a na souvisejících prvcích PSV (rozepsat!!) – byly realizovány jen nutné a lokální opravy. Obdobně i na vodojemu Karlov, který je jen o několik let starší, byla rekonstruována pouze jedna nádrž (8200 m<sup>3</sup>, 42,3x32,8 m). Jedná se o zasypaný (zemní) vodojem s jednou obvodovou stěnou, opět pouze obloženou. Stavební, konstrukční a materiálové provedení bylo obdobné jako u vodojemu Lhotka. Obdobný byl i korozní stav, v horším stavu byl návodní líc stěn, zvláštností původního provedení byl vstup do nádrže pomocí tlakových ocelových dveří v prostoru kolísání hladiny. U obou vodojemů jsme na základě diagnostiky prováděné vždy na vypuštěné nádrži rozhodli o úplném odstranění stropních konstrukcí. Rozhodující byl důvod ekonomický ruku v ruce s technickými požadavky – celoplošný sanační zásah na korozně hluboce zasažených plochách stropů by přes vysokou cenu nezaručil další životnost v řádu několika desítek let. Navrženy a realizovány byly tedy v obou případech plně monolitické deskové stropy, lokálně podpírané, pouze se zesilující deskou namísto sloupových hlavic. Původní sloupy byly v obou vodojemech ponechány a po očištění namísto běžné reprofilace přibetonovány do masivnějšího válcového tvaru s doplněnou výztuží s vysokým krytím. Stropní desky pnuté ve dvou směrech byly zakotveny po celém obvodu nádrží do obvodových stěn a vytvořily tak spolu s nimi prostorovou krabicovou konstrukci. Významný z hlediska provádění se původně zdál rozdíl ve sklonu střech – na Lhotce byly původní panely ve spádu daném různou úrovní průvlaků. Koncepce konstrukce stropů byla nakonec zvolena shodná, na zasypaném vodojemu Karlov s vodorovnou deskou, na Lhotce s deskou ve sklonu totožném s navrhovaným spádem nové střešní krytiny. Realizace staveb potvrdila vhodnost navrženého řešení a přes původní nedůvěru zadavatele i to, že spád desky je dobře proveditelný i s užitím čerpané betonové směsi a moderních technologií hutnění a hlazení povrchu. Všechny nosné prvky byly navrženy a provedeny z betonu pevnostní třídy C 30/37, s vázanou výztuží z betonářské oceli 10 505 (R). Zásadní rozdíl byl v řešení izolace střech na obou stavbách, které se typově liší. U zasypaného vodojemu Karlov byly pod zásyp provedeny celoplošně natavené pásy z modifikovaných asfaltů, na vodojemu Lhotka,

kteřý není zasypaný a jehož stěny jsou obloženy, je střešní plášť tvořen tepelněizolační a současně paronepropustnou vrstvou pěnového skla a hydroizolací z modifikovaných živých pásů. Vnitřní stěny obou nádrží byly celoplošně preparovány vysokotlakým vodním paprskem a poté opatřeny dvouvrstvou reprofilací na adhezivním můstku. Celková tloušťka reprofilačních vrstev přesahuje v průměru 25 mm a vzhledem k vysoké hutnosti, vynikající přidržitosti k podkladu a mechanickým i chemickým vlastnostem bude tvořit spolehlivou pasivační ochranu výztuže po dobu další životnosti stavby, tedy několika desítek let. Práce probíhaly za trvalého odborného dozoru investora (doc. Ing. Dohnálek, CSc.), s průběžným vyhodnocováním zkoušek prováděných in situ i v laboratoři.

### **Závěr – zásady a pravidla pro navrhování sanací ve vodním hospodářství**

Pro navrhování sanací v rámci rekonstrukce původních vodohospodářských staveb jsme na základě vlastních zkušeností a v souladu s doporučeními zahraničních odborných prací formulovali několik zásad, jejichž splnění považujeme za nezbytné:

- A)** Zásadně chybná je strategie rekonstrukce jako pouhé obnovení původního technického stavu stavby.
- B)** Zjednodušené shrnutí správné strategie formulujeme následovně: Po dokončení rekonstrukce má nový stav co nejvíce odpovídat současným poznatkům a požadavkům jak z hlediska stavebních konstrukcí, jejich materiálů a ochrany, tak z hledisek vodohospodářských.
- C)** Pokud je to technicky a ekonomicky možné, má se při opravách a rekonstrukcích postupovat obdobně, jako při návrhu a realizaci zcela nové nádrže.
- D)** Podkladem pro návrh každého sanačního zásahu musí být odborně vypracovaný stavebně-technický průzkum v podrobnosti odpovídající danému stupni projektové dokumentace a současně co nejhlubší znalost působení prostředí na konstrukci (zejména chemického složení a agresivního působení vody zadržované v nádrži).

A dále doporučujeme držet se podrobnějších pravidel vycházejících z výše uvedených zásad a poznatků:

- V případech korozně vážně celoplošně narušených prvků zastropení pokud možno volit náhradu citlivých konstrukcí s tyčovými prvky novými – deskami lokálně podepřenými s hlavicemi nebo jen zesilující deskou u sloupů.
- Kde je to možné a vhodné, preferovat přibetonování s užitím drenážních fólií do bednění před tenkovrstvými reprofilacemi. Výhodou je jasná kontrola polohy přidané výztuže se zvýšeným krytím a vysoká homogenita betonu vyšší pevnostní třídy s jasně specifikovanými vlastnostmi v povrchových vrstvách.
- Při užití tenkovrstvých sanačních postupů na poškozených plochách všechny práce (preparaci, reprofilaci, uzavírací nátěry atd.) provádět za trvalého odborného dozoru, celoplošně, na základě diagnostiky a operativního doprůzkumu.
- Při existenci kvalitních, soudržných a neporušených omítek na návodním líci je ponechat a pouze poškozená místa lokálně opravit obdobnou technologií.
- Zvláštní pozornost věnovat dilatačním spárám v původní konstrukci a aktivním trhlinám.

Rozhodující podmínkou pro volbu mezi sanací původní konstrukce a jejím nahrazením novou je požadavek na staticky spolehlivé, provozně bezpečné, ekonomické a (pokud se to požaduje) hygienicky nezávadné provozování díla po rekonstrukci až do příští revitalizace. Minimální uvažovaná doba je ve vodním hospodářství cca 30 až 40 let, běžná 50 až 60 let, pro mimořádně důležité objekty 80 až 100 let. Jako alternativu k sanacím prováděným pomocí běžných systémů (reprofilačních, minerálních) je vždy třeba zvážit možnost užití celoplošných vystýlek či obkladů na návodním líci, a to z důvodů hygienických, k překlenutí existujících aktivních trhlin, zajištění vodotěsnosti atd. Podle korozního stavu a podmínek působení lze volit provedení jak s kontrolovanou vzduchovou mezerou (pokud nehrozí koroze skrytého líce betonu), tak kontaktní provedení se zainjektováním a pasivací betonové konstrukce. Volba je možná i co do druhu materiálu – existují a realizovanými stavbami byly ověřeny různé metody vložkování, např. popovanými deskami z PE, epoxidovými lamináty se skleněnými vlákny, skleněnými deskami, fóliemi apod. Použití řeší ochranu konstrukce před korozními účinky prostředí, kde je to požadováno, současně i hygienické požadavky a v některých případech i efektivní přemostění aktivních trhlin v původní konstrukci. Kontaktní metoda byla úspěšně použita při rekonstrukci jedné z vyhnívacích nádrží ÚČOV Praha. Podrobný popis uvedených materiálů a postupů je nad rámec tohoto příspěvku.

RICHARD SCHEJBAL, TOMÁŠ PARKAN

*foto archiv autorů*

### **Literatura**

- 1) ČSN EN 14944-1 Vliv cementových výrobků na vodu určenou k lidské spotřebě – Zkušební postupy – Část 1: Vliv průmyslově vyráběných cementových výrobků na organoleptické vlastnosti.

- 2) Vyhláška č. 409/2005 Sb., o hygienických požadavcích na výrobky přicházející do přímého styku s vodou a na úpravu vody.
- 3) ČSN EN 1992-3 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí. Část 3: Nádrže a zásobníky.
- 4) Schejbal, Richard: Speciální problémy navrhování betonových konstrukcí vodohospodářských staveb. Kloknerův ústav ČVUT, Praha, 1990.
- 5) Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen in Abwasseranlagen. Sborník příspěvků, 3. Symposium, Technische Akademie Esslingen, 11/2009, Ostfildern.

*Ing. Richard Schejbal (\*1958)*

*vystudoval teorii konstrukcí při oboru konstrukce a dopravní stavby Fakulty stavební ČVUT. Od roku 1984 pracuje ve firmě HYDROPROJEKT CZ, a. s., jako vedoucí oddělení v divizi zdravotně-inženýrských staveb a současně jako statik-specialista. Je členem technické normalizační komise TNK 36 pro betonové konstrukce.*

*Ing. Tomáš Parkan (\*1980)*

*absolvoval obor pozemní stavby a konstrukce na Fakultě stavební ČVUT. Od roku pracuje ve firmě HYDROPROJEKT CZ, a. s., jako vedoucí projektant a statik v divizi zdravotně-inženýrských staveb.*

popisky:

- 1, 2) Původní korozní stav vodojemu Karlov před zahájením prací – strop, stěny
- 3, 4) Vodojem Karlov, koroze návodního líce stěn a stav po preparaci
- 5, 6) Stav po preparaci a přibetonování sloupů ve vodojemu Karlov
- 7, 8) Ochrana odhalené výztuže a vrstvy reprofilací
- 9) Přibetonované sloupy, nová stropní deska
- 10) Příklad: problém mrazuvzdornosti původního betonu u otevřených nádrží
- 11) Příklad: problém odolnosti vůči abrazi při běžném čištění za provozu