

# BETON VE STAVBÁCH PRO VÝROBU A ZÁSOBOVÁNÍ PITNOU VODOU

**Ing. Richard Schejbal**

HYDROPROJEKT CZ a.s., Táborská 31, Praha 4  
e-mail: richard.schejbal@hydroprojekt.cz

## ÚVOD

Základním a rozhodujícím materiálem vodohospodářských staveb byl, je a zřejmě ještě dlouho bude beton. Během mé více než čtvrtstoleté projektové praxe jsem se ale prakticky nesetkal se situací, při níž by některý z účastníků výstavby formuloval nějaké speciální požadavky kladené na betonové konstrukce. Jsem pevně přesvědčen, že právě toto je oblast, kde by všichni, kdo se pohybují v oblasti vodárenství, měli mít znalosti přesahující to málo, co jim dokázalo dát formální vzdělání – požadavky na betonové konstrukce ve vodohospodářských aplikacích.

## POUŽITÍ BETONU VE VODÁRENSTVÍ – VŠEOBECNÁ SITUACE

Za zcela dostačující požadavky se až do devadesátých let (a někde i poté) považovala ustanovení platných norem, např. Vodojemy (ČSN 73 6650) nebo Zkoušky vodotěsnosti vodárenských a kanalizačních nádrží (ČSN 75 0905), případně řady typizačních prací, obsahujících v té době známé a praxí ověřené postupy pro navrhování i realizaci. Později se již typizační práce neaktualizovaly (nebylo, kdo by tuto práci zaplatil), technické normy řada lidí začala mylně považovat za nedůležité, protože z dikce zákona náhle „nezávazné“, dominantní dodavatelé zanikali nebo se transformovali. Od počátku tisíciletí pak začaly být postupně zaváděny nové evropské standardy jak pro spolehlivost konstrukcí (tzv. Eurokódy), tak pro funkční a stavební řešení mnoha různých objektů. Řada z nás sice stále žije v minulosti, alespoň co se technického řešení staveb týká, ale současná situace je jiná, má své klady, např.:

- Úroveň znalostí i o betonových konstrukcích se prohloubila. Jsou známy postupy navrhování zohledňující chování betonových konstrukcí v čase, do norem byly zahrnuty požadavky souvisící s působením různých druhů prostředí atd.
- Projektanti a investoři nejsou omezováni diktátem monopolních dodavatelů. Nic nenutí k místy nesmyslné prefabrikaci, neexistují materiálové limity.
- Na rozdíl od minulosti jsou běžně dostupné i vyšší pevnostní třídy betonu, rozšiřují se technologie výroby a zpracování, které umožňují dosažení dříve nedostupných vlastností. Jde např. o beton s rozptýlenou výztuží, betony samozhutnitelné (SCC), nové typy bednění, hutnění a úpravy povrchu atd.
- Nové evropské normy jasně definují řadu požadavků na betonové konstrukce, jejichž splnění zajišťuje nejen statickou spolehlivost ale i požadovanou životnost.
- Projektanti staveb mají k dispozici nástroje dokonalého modelování jak v oblasti spolehlivosti – FEM apod., tak pro výkresové stavební řešení – 3D CAD. Jsou k dispozici rozsáhlé databáze řešení řady jednotlivých detailů.

... ale i záporny:

- Mnohem větší důraz je kladen na ekonomickou stránku investic nebo rekonstrukcí i na provozování vodohospodářských děl. S tím obvykle souvisí i tlak na enormní zkrácování lhůt výstavby.

- Výrazně v průměru klesla odbornost a profesní zkušenost pracovníků na stavbách. Současně systém s dlouhou řadou podzhotovitelů vede ke snížení nebo úplné ztrátě zodpovědnosti za kvalitní provedení díla.
- Došlo k tomu, co někteří odborníci nazývají revolucí ve výrobě cementu (jako rozhodujícího pojiva betonu) – při úsporách paliv nahrazují cementárny jejich podstatnou část méně kvalitními (např. i odpadními surovinami). To má významný vliv na výsledné vlastnosti cementového slínku, např. na chování při objemových změnách i na detaily chemického složení, které jsou pak proměnné v závislosti na výrobní šarži. (Na stejně působících, tvarovaných i vyztužených prvcích se při shodných podmínkách provádění i ošetřování projevují v různé intenzitě objemové změny ve formě vzniku trhlin.)
- Požadavky na vlastnosti konstrukcí se v čase významně mění a prakticky ve všech oblastech zpřísňují, a to na základě národní i evropské legislativy. Zvláště výrazný je tento nárůst v oblasti zdravotní nezávadnosti.
- Stále ještě nízká cena inženýrské práce (včetně té projektové) ve vztahu k celkovým investičním nákladům vede k nižší kvalitě přípravy staveb
- Značné problémy pak může způsobit nekritické využívání výpočetní techniky. Užití SW bez důkladné interpretace vede v řadě případů k nesmyslným výsledkům, které lze odhalit jen s pomocí zkušenosti a „inženýrského citu“. Jako příklad lze uvést lokální extrémy v deskostěnových modelech i od renomovaných výrobců.
- A samozřejmě řada problémů plyne ze samotného přechodu z původních českých norem na nový systém Eurokódů a navazujících standardů.

## **VÍME, CO OD BETONU CHCEME?**

Základní požadavky na konstrukce jistě vyplývají z funkce stavby. Ve vodárenství zejména určují objem nádrží, úroveň hladin, napojení na další objekty atd. U konstrukcí nesouvisících přímo s vodní linkou jsou požadavky obdobné, jako u běžných pozemních staveb. Požadavky na stavební provedení vodohospodářských konstrukcí je pak možné rozdělit např. do těchto skupin:

1. Požadavky plynoucí z charakteru stavby a souvisící s funkcí, tedy tvar, objem, výškové řešení, trubní vystrojení nádrží apod.
2. Pro vodárenství a nádrže rozhodující vlastnost – vodotěsnost (nepropustnost)
3. Požadavky ekonomické realizace i provozování
4. Stabilita stavby a statická spolehlivost celku i jednotlivých prvků
5. Zajištění požadované životnosti a odolnosti proti vlivům působícího prostředí.
6. Hygienické požadavky
7. Požadavky na spolehlivé a snadné a bezpečné provozování – čištění, možnost oprav nebo rekonstrukce za provozu, omezení nároků na údržbu atd.
8. Další, výše neuvedené požadavky plynoucí z ekonomických, ekologických, architektonických a jiných aspektů výstavby

Z výše uvedených požadavků je ovšem přesně definována jen část. Jasně jsou – obvykle z principu věci – požadavky 1. skupiny. Normy pro spolehlivost stavebních konstrukcí definují požadavky mezních stavů únosnosti i použitelnosti (někdy ne zcela jasně) a tedy podmínky 4. skupiny. U ostatních skupin je řada požadavků ovlivněna různou interpretací legislativních nebo normových ustanovení, individuální zkušeností projektanta, zvyklostmi provozovatele, místními podmínkami, a dalšími vlivy. Příklady nejasných požadavků mohou být:

- Detailní požadavky na vodotěsnost. Jaký stupeň nepropustnosti volit pro nádrže uvnitř větších stavebních objektů? Jaké jsou stavebně fyzikální souvislosti prosakující vlhkosti a prostředí v budovách, resp. jejich obvodových pláštích?

- Místně i časově odlišné požadavky na odvodnění, příp. na čištění nádrží. Liší se pohledy různých provozovatelů na nutné spády podlah, systém úžlabí nebo žlábků a jejich hloubky atd.
- Požadavky na rovinnost a hladkost povrchů nádrží. Podle jakého etalonu vůbec hodnotit hladkost, jak jednotlivé stupně ocenit (současné ceníky stavebních prací např. rozlišují hlazení betonu podlah dřevěným nebo ocelovým hladítkem bez další podrobnosti). Jak objektivizovat kritéria převzetí plochy?
- Požadavky hygienické, resp. na styk materiálů s pitnou vodou jsou sice asi jasné legislativně, obtížnější je situace při návrhu a realizaci. Pro betonové konstrukce obecně nejsou k dispozici nástroje pro ověřování souladu s platnou vyhláškou in situ. Neexistují údaje výrobců cementů, což souvisí i s výše uvedeným rozptylem vlastností. Jak tedy požadavky specifikovat, na stavbě provést a poté ověřit? Jaká jsou kritéria tvarové vhodnosti z hlediska omezení růstu mikroorganismů na vnitřním líci nádrží?
- Všeobecné požadavky na životnost, trvanlivost a odolnost proti vlivům prostředí. Jen výjimečně se v praxi setkáme s číselně jasně vyjádřeným požadavkem na životnost. Ze vztah mezi plánovanou životností a tzv. indikativní třídou betonové konstrukce podle Eurokódů plynou různé požadavky na zásady i detaily řešení.

Často je zřejmé, že stavební řešení současně splní některé požadavky z různých skupin (např. dostatečná „hladkost“ návodních povrchů vodojemu bude vyhovovat požadavkům provozním – snadné čištění – i hygienickým), v jiných případech si ale budou navzájem odporovat (opět např. „hladkost“ dna a tedy kluzkost bude snižovat bezpečnost při čištění za provozu). Úkolem správného návrhu a provedení novostavby nebo rekonstrukce je splnění všech relevantních požadavků. Na otázku v názvu této kapitoly ale musíme bohužel odpovědět: *Obvykle nevíme, pokud ano tak ne přesně.*

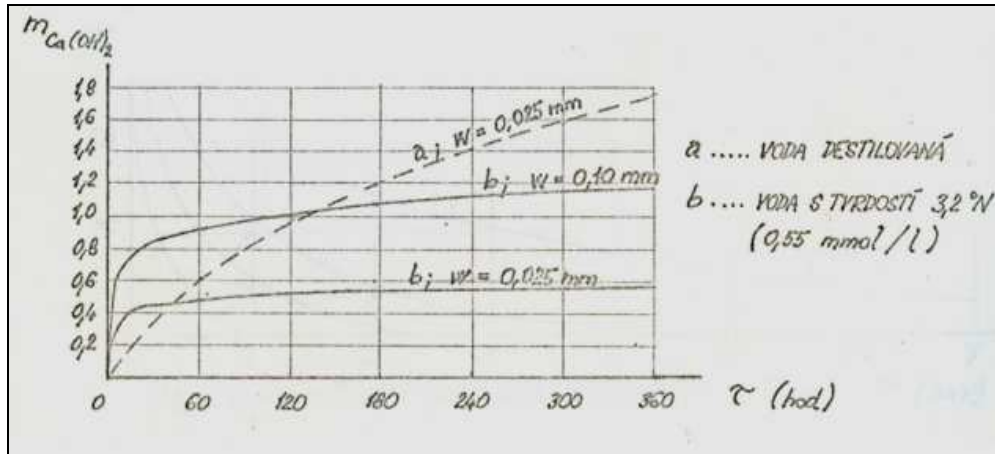
## **ZVLÁŠTNÍ POŽADAVKY VE VODÁRENSKÉM PROSTŘEDÍ**

**Hygienické** požadavky kladené na betonové konstrukce ve styku s pitnou, resp. upravovanou vodou:

- Nejen hmoty v přímém styku s pitnou vodou musí vyhovět požadavkům Vyhlášky 409/2005 Sb. (4). Požadavek se přeneseně týká i např. prvků nad nádržemi, kde může docházet k odkapu kondenzátu.
- Ve vodárenství se při zpříšňování hygienických požadavků bude prokazovat vhodnost samotného betonu pro styk s pitnou vodou. Problémem pro zhotovitele pak bude doložit požadovanou vhodnost. Byla již zavedena evropská norma hodnotící vliv průmyslově vyráběných cementových výrobků na vodu určenou k lidské spotřebě (3). Už před více než 20 lety bylo v původní ČSN 73 1209 ustanovení o hygienické vhodnosti **cementu** v betonu ve vodárenských nádržích!
- U materiálů pro sanace betonových konstrukcí platí stejné zásady, projekt přitom musí jasně specifikovat technické a hygienické požadavky na materiály a postupy.
- 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, jako jsou např. akrylátové nátěry nebo tmely apod. (vžívá se pojem „minerální hmoty bez organických přísad“).

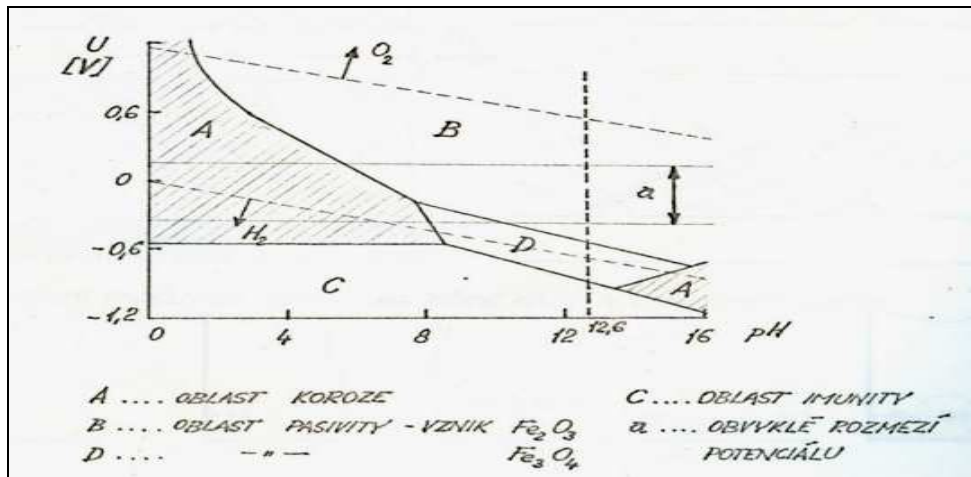
Požadavky **mezních stavů použitelnosti** jsou obsaženy v dnes již plně zavedených a od dubna t.r. jedině platných částech Eurokódů – viz (1) a (6). Rozhodující pozornost

je nutné věnovat omezení šířky trhlin – ovlivňují vodotěsnost, odolnost proti účinkům prostředí a celkově životnost konstrukce. Národní příloha (6) upřesňuje limitní hodnoty. Zásadní vliv na celkovou spolehlivost a porušení trhlinami má chování mladého betonu při omezení vynucených přetvoření od objemových změn, především vývoje hydratačního tepla a smršťování. Následující graf ukazuje vztah šířky trhliny a průběhu vyluhování při průsaku vody.



**Obr. 1. Průběh vyluhování  $Ca(OH)_2$  z trhlin v betonu (g/10 mm délky trhliny)**

Požadavky na **odolnost proti specifickým vlivům prostředí**. Rozhodující vliv na zvýšené riziko koroze výztuže má vysoká vlhkost, v případě nádrží přímý styk s vodou. Důsledkem je vyluhování (nebo jev v německy mluvících zemích známý jako „hydrolytická koroze“), koroze probíhající i bez přítomnosti kyslíku (při vysokém obsahu chlóru), koroze výztuže nad hladinou a zejména v oblasti kolísání hladiny.



**Obr. 2. Pourbaixův diagram pro systém Fe –  $H_2O$  při 25°C**

Pro připomenutí trocha chemie. Petrografické složky cementového slínku - TRIKALCIUMSILIKÁT  $(CaO)_3 \cdot SiO_2$  (zkráceně  $C_3S$ , alit), DIKALCIUMSILIKÁT  $(CaO)_2 \cdot SiO_2$  -  $(C_2S$ , belit), TETRAKALCIUMALUMINÁTFERIT  $(CaO)_4 \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$  ( $C_4AF$ , celit) a TRIKALCIUMALUMINÁT  $(CaO)_3 \cdot Al_2O_3$  ( $C_3A$ ) exotermně reagují s vodou, vytvářejí hydratované sloučeniny (řady kalciumhydroaluminátů a kalciumhydrosilikátů s různým

množstvím chemicky vázané vody), vzniká komplexní krystalická struktura, a z částí alitu a belitu volný hydroxid vápenatý  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Výsledkem je vysoce alkalické prostředí s pH v hodnotě cca 12,6. Ocel betonářská výztuže je v takových podmínkách pasivována – nemůže docházet k běžné korozi oxidací. Hydroxid vápenatý  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  je ale jednak rozpustný (při styku s vodou, zejména proudící a „hladovou“ je vyluhován – dochází k hydrolytické korozi), jednak reaguje se vzdušným  $\text{CO}_2$  (při procesu karbonatace). Výsledkem obou procesů je postupný pokles pH a následná koroze oceli.

## **ŽIVOTNOST KONSTRUKCÍ A ÚČINKY PROSTŘEDÍ VE VODÁRENSTVÍ**

Zásadním požadavkem na stavební provedení je vysoká životnost v daných podmínkách, při minimálních nákladech na údržbu a opravy. Kategorizaci staveb podle požadované životnosti zavádí soubor Eurokódů – doporučená třída **běžných** betonových konstrukcí je S4. Letošní Změna Z1 Národní přílohy Eurokódu ČSN EN 1990 (Zásady navrhování konstrukcí) přitom zařazuje stavby vodního hospodářství (kromě hrází a jezů) opět do kategorie 4 s informativní návrhovou životností 50 let, tedy stejnou, jako pro běžné budovy. Měla by proběhnout diskuse, zda u vodárenských staveb s ohledem na význam neuvažovat s vyšší třídou a delší návrhovou životností.

Speciální účinky prostředí působícího na konstrukce a prvky ve vodárenských stavbách můžeme shrnout v několika bodech:

- Ve všech případech vysoká vlhkost až po relativní nasycení vzduchu, doprovázená agresivním působením dávkovaných chemikálií jak ve vodě, tak nad hladinou, i v prostorech bez otevřené hladiny. Významný je vliv  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{O}_3$  a různých síranů
- U nádrží dlouhodobé působení vodního tlaku na návodní líc, někdy se stálou ale často s proměnlivou hladinou. I při pH v neutrální oblasti a běžné tvrdosti vody vysoké riziko vyluhování povrchových vrstev. Zvyšuje se s klesající tvrdostí a s rostoucí rychlostí výměny vody v nádrži.
- Střídání směru působení rozhodujícího zatížení, velmi neobvyklé pro jiné typy konstrukcí. Má to zásadní vliv na průběh a chování trhlin.
- Velmi stabilní teploty prostředí ovlivňované jen sezónním kolísáním teploty vody o několik °C. Při nízké vnitřní teplotě je běžné působení mrazu na stropní konstrukci i při vysokém zásypu nebo tepelné izolaci.
- Dno a stěny nádrží jsou běžně čištěny tlakovou vodou se značnou intenzitou proudu, v periodě několika měsíců. Zvýšené je riziko abraze.

## **ZÁVĚR – NĚKTERÁ OBECNÁ DOPORUČENÍ PRO BETONOVÉ KONSTRUKCE**

Při návrhu a realizaci jak nových staveb, tak při sanacích starších objektů je nutné přizpůsobit působícímu prostředí konstrukční, materiálové i technologické řešení.

Dále uvedená doporučení vycházejí zejména ze zkušeností z navrhování a realizací řady staveb, a to i nejnovějších, při použití již platících Eurokódů, a jsou v souladu s obdobnými požadavky již jinde v EU zahrnutými do národních technických standardů.

A. Pro nové objekty:

- Monolitické konstrukce navrhovat z betonů vyšších tříd (dnes běžně C 25/30 a C 30/37 oproti dříve běžným B 20, tedy nárůst až o tři pevnostní třídy!), uplatnit zvláštní požadavky na ochranu proti působícímu prostředí.
- Konstrukce musí být správně navržena i na mezní stavy použitelnosti, tedy na omezenou šířku trhlin. Pro kontrolu šířky je rozhodující správné vyztužení.
- Navrhovat pro styk s vodou pokud možno nedilatované celky pouze s pracovními spárami. Zjednodušit tvar a odstranit citlivé detaily i při vyšším stupni vyztužení. Zdůrazňuje se správné tvarové a materiálové provedení spár.

- Omezit účinky objemových změn (omezení vynucených přetvoření) správnou specifikací požadovaných vlastností betonu jak v konečném stavu, tak při provádění (množství a druh cementu, vodní součinitel, odsunutá doba dosažení požadovaných pevností atd.)
- Zakomponovat odvodňovací prvky přímo do nosné konstrukce nádrží – desky dna. Odstranit nabetonování mazanin a problém jejich přídržnosti na konstrukci. Osvědčuje se použití speciálních vibračních a hladících vedených lišt.
- Použít vždy tzv. drenážní fólie pro bednění stěn s výslednou vysoce kompaktní a hladkou povrchovou vrstvou.
- Navrhnout a realizovat dostatečné krytí výztuže betonem, především nad hladinou a v oblasti jejího kolísání. Běžně 30 a více mm. Vyloučit plastové distanční vložky.
- Navrhovat stropní konstrukce s vyloučením tyčových prvků – trámů a průvlaků, které jsou citlivé na koncentraci zatížení a rozvoj trhlin.
- Pro části staveb pozemního charakteru věnovat zvýšenou pozornost stavebně fyzikálnímu řešení. Limitní hodnoty šířky trhlin volit především v závislosti na vlhkosti a dalším korozním působení.

#### B. Pro rekonstrukce a sanace:

- Pro snížení odparu a ochranu obvykle nedostatečného obvodového pláště vnitřní teploty minimalizovat (v zimě) a pokud možno zakrýt hladiny se zvláštním větráním.
- Nahrazovat poškozené korozně citlivé konstrukce s tyčovými prvky. Není-li to možné, pak zvýšenou pozornost věnovat reprofilaci trámů nad hladinou.
- Kde to lze, preferovat přibetonování před tenkovrstvými reprofilacemi. Výhodou je statické zesílení, jasná kontrola polohy přidané výztuže se zvýšeným krytím a užití betonu vyšší pevnostní třídy s adekvátně specifikovanými vlastnostmi.
- Sanace (tedy preparaci a následnou reprofilaci poškozených ploch) provádět za trvalého odborného dozoru, na základě diagnostiky a operativního doprůzkumu.
- Při existenci kvalitních, soudržných a neporušených omítek na návodním líci ponechat je a pouze poškozená místa lokálně opravit.
- Zvážit možnost užití celoplošných vystýlek či obkladů na návodním líci z důvodů hygienických, překlenutí existujících aktivních trhlin, vodotěsnosti atd. Podle korozního stavu a podmínek působení volit provedení s kontrolovanou vzduchovou mezerou (pokud nehrozí koroze skrytého líce betonu), nebo kontaktní se zainjektováním a pasivací. Volba je možná i co do druhu materiálu - nopované desky z PE, epoxidové lamináty se skleněnými vlákny, skleněné desky, fólie apod.

A nakonec jedna společná zásada: betonové konstrukce ve vodárenství běžně není nutné opatřovat sekundární ochranou proti působení vlivů prostředí. Konstrukce nebo její sanace jen musí být řádně navržena a provedena s vědomím všech souvislostí.

#### Literatura

1. ČSN EN 1992-1-1. Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí. Část 1-1: Všeobecné požadavky a požadavky pro pozemní stavby.
2. ČSN EN 206-1. Beton. Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda. Změna Z3, duben 2008
3. 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.
4. Vyhláška č.409/2005 Sb., o hygienických požadavcích na výrobky přicházející do přímého styku s vodou a na úpravu vody
5. ČSN EN 1992-3. Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí. Část 3: Nádrže a zásobníky.
6. Schejbal: Speciální problémy navrhování betonových konstrukcí vodohospodářských staveb. Kloknerův ústav ČVUT, Praha, 1990