MANAŽÉRSTVO ŽIVOTNOSTI CHLADIACICH VEŽÍ S PRIRODZENÝM ŤAHOM ▮ LIFETIME MANAGEMENT OF NATURAL DRAUGHT COOLING TOWERS

Juraj Bilčík, Jan Závodný, Vladimír Priechodský

Veľké množstvo koróziou iniciovaných porúch stavieb a s tým spojené veľké náklady na ich sanáciu sú dôvodom na zamyslenie o koncepcii manažérstva životnosti chladiacich veží. Pre existujúce veže sa používajú metódy a materiály, ktoré majú vytvoriť dlhodobú ochranu betónu pred účinkami obklopujúceho prostredia. Pri výstavbe nových chladiacich veží sa stále viac pozornosti venuje možnosti zvýšenia odolnosti betónu. V príspevku sú stručne opísané environmentálne zaťaženia chladiacich veží a metódy na predĺženie ich životnosti. ▮ Corrosion is the primary cause for the structural deterioration of structures and results in high costs for infrastructure maintenance. The concept of lifetime management of new cooling towers moves more and more into the focus the increase of concrete resistivity. Additionally, for existing cooling towers there is a demand for methods and materials, which are able to ensure a long lasting protection of concrete against the aggressive environment. The paper presents environmental loads and examples of both approaches for extending the lifetime of cooling towers.

Atómová elektráreň Mochovce bola plánovaná so štyrmi blokmi, pre ktoré bolo postavených osem chladiacich veží typu Iterson 125 m bez primárnej alebo sekundárnej ochrany betónu. V roku 1998, resp. 1999 boli dokončené bloky 1. a 2., ktoré využívajú chladiace veže (CHV) č. 1 až 4 (postavené v roku 1987). V súčasnosti prebieha dostavba 3. a 4. bloku, čo je najväčšia súkromná investícia v histórii Slovenska. Tretí blok má byť uvedený do prevádzky v roku 2012 a štvrtý v roku 2013.

Na novo budované bloky budú napojené CHV č. 5 až 8 (1991), ktoré od dokončenia neboli v prevádzke. Na tie pôsobila doteraz iba atmosférická agresivita obklopujúceho prostredia. Povrch betónu bol vystavený najmä vzdušnému CO_2, mäkkej alebo kyslej zrážkovej vode, ktorej účinok bol zosilnený striedavým zmrazovaním a rozmrazovaním, resp. nasakovaním a vysúšaním. Ak by chladiace veže boli zhotovené z kvalitného a hutného betónu a bolo dodržané predpísané krytie výstuže, uvedené prostredie ich degraduje len veľmi pomaly. Pri vizuálnej prehliadke boli však zaznamenané viaceré chyby a poruchy plášťa, šikmých stojok a prefabrikovanej ochodze, ktoré súvisia predovšetkým s nedostatočnou hrúbkou betónovej krycej vrstvy a s tým spojenou koróziou výstuže. Na základe výsledkov stavebno-technického prieskumu a požiadavky predĺženia ich životnosti sa v súčasnosti robí kompletná sanácia CHV č. 5 až 8.

Pri takejto rozsiahlej investícii je vhodné zamyslieť sa nad alternatívami manažérstva životnosti chladiacich veží.

MANAŽERSTVO ŽIVOTNOSTI CHLADIACICH VEŽÍ

Z hľadiska minimalizovania nákladov, ale aj s ohľadom na trvalo udržateľný rozvoj je vhodné, predovšetkým pre stavby infraštruktúry s dlhodobou životnosťou, použiť vhodnú koncepciu manažérstva životnosti. Tá zohľadňuje pre obdobie zhotovovania a prevádzky stavby pravdepodobnostný návrh trvanlivosti a predpovedania životnosti. Predpokladajú sa aj pravidelné prehliadky alebo monitorovanie kritických oblastí. Tak je zaistená kontinuálna aktualizácia prognózy životnosti, optimálna údržba, či prípadná oprava sledovanej stavby. Výhody manažérstva životnosti v oblasti betónových stavieb sa využívajú až v posledných rokoch. Jeho aplikácia je mimoriadne vhodná na chladiace veže, nakoľko sa jedná o železobetónové konštrukcie s veľkým pomerom medzi plochou vystavenou obklopujúcemu prostrediu a prierezovými rozmermi. Vzhľadom na charakter konštrukcie a spôsob využívania je ich spoľahlivosť, tzn. bezpečnosť, používateľnosť a trvanlivosť, najviac ohrozená chemickými a fyzikálnymi účinkami prostredia.

Chemické a fyzikálne účinky prostredia

Súčasné poznatky z monitorovania a sanácie železobetónových chladiacich veží poukazujú na skutočnosť, že tieto stavby s pôvodne projektovanou dlhodobou životnosťou vykazujú, po relatívne krátkej dobe, značné porušenie, predovšetkým od účinkov obklopujúceho prostredia. Z hľadiska poškodenia betónov treba posúdiť zvlášť vonkajší a vnútorný povrch plášťa veží. Táto potreba vyplýva najmä z odlišnosti pôsobiacich vplyvov okolitého prostredia.

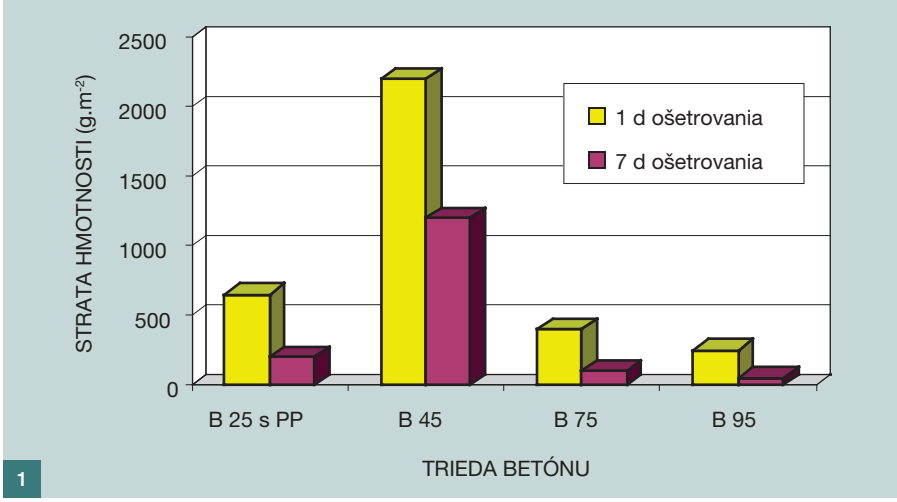
Na vonkajší povrch betónu pôsobí najmä vzdušný CO_2, mäkká alebo kyslá dažďová voda, ktorej účinok môže byť zosilnený vetrom, striedavým zmrazovaním a rozmrazovaním alebo nasakovaním a vysúšaním. Aj nerovnomerné oslnenie môže spôsobiť vznik porúch.

Na vnútorný povrch plášťa pôsobí najmä vzdušný CO_2, kondenzát (hladná voda) a riasy. V prípade zaústenia dymovodov do CHV pribudnú aj chemické účinky spalín, ktoré kondenzujú na vnútornom povrchu plášťa. Pre tieto prípady sa zvyšujú požiadavky na odolnosť betónu.

Nedostatočné krytie výstuže spojené s rýchlym postupom karbonatácie, resp. vylúhovaním zásaditých zložiek cementového kameňa spôsobujú rýchlu depasiváciu povrchu výstuže a jej skorú koróziu. Tlaky koróznych splodín na betónovú kryciu vrstvu vedú k vzniku trhlín v smere výstuže a neskoršie k odpadnutiu krycej vrstvy. Tieto degradačné účinky sa neprejavujú iba na plášti, ale aj na šikmých stojkách a vostavbe chladiaceho systému.

Z hľadiska možnosti vzniku porúch sa za zvlášť kritické považuje obdobie odstávky veží v zimných mesiacoch:

- Pri nízkych teplotách v zime dochádza predovšetkým na náveternej strane k zamŕzaniu a následnému rozmrazovaniu pórového roztoku v betóne. Opakované zmrazovacie a rozmrazovacie cykly vedú k rozpadu štruktúry betónu.
- Hrúbka plášťa je najväčšia na dolnom okraji a smerom nahor sa kontinuálne zmenšuje. Pri odstavení veže klesá teplota vo vnútri veže z 35 °C veľmi rýchlo na teplotu vonkajšieho prostredia, nakoľko veža pôsobí ako komín. Pritom tenšie vrstvy plášťa chladnú rýchlejšie ako hrubšie. To znamená, že spodný, hrubší okraj plášťa veže obmedzuje kontrakciu v strednej časti veže. Vznikajúce obvodové ťahové napätia môžu viesť k vzniku deliacich zvislých trhlín, ktoré uľahčujú postup agresívnych látok do betónu.



Obr. 1 Výsledky skúšok mrazuvzdornosti betónov [1] ▮ Fig. 1 Freeze/thaw resistance of concrete [1]

Trvanlivosť chladiacich veží sa zvyšuje primárnou alebo sekundárnou ochranou betónu chladiacej veže, resp. kombináciou oboch systémov.

Primárna ochrana betónu

V posledných rokoch sa stále výraznejšie presadzuje koncepcia primárnej protikoróznej ochrany chladiacich veží. Tento spôsob zvýšenia trvanlivosti sa uplatňuje najmä v SRN. Dosahuje sa úpravou zloženia betónu a konštrukčnými opatreniami počas zhotovovania. Betón osobitných vlastností, ktoré nie je možné dosiahnuť základnými zložkami a štandardnou technológiou, sa označuje ako vysokohodnotný betón (VHB). Najčastejšie požadované vlastnosti VHB, oproti obyčajnému betónu, sú:

- lepšia spracovateľnosť a súdržnosť,
- rýchlejší nárast a vyššia konečná pevnosť,
- zvýšená trvanlivosť v agresívnom prostredí.

Princíp dosiahnutia vysokých pevností betónu spočíva v rovnomernejšej a hutnejšej štruktúre betónu s minimálnym obsahom pórov a zväčšení podielu zhydratovaného cementu.

Pre plášť chladiacej veže nie je výhodná zvýšená pevnosť betónu, naopak zvyšuje spotrebu výstuže. Hutnejšia štruktúra a nízky vodný súčiniteľ však spôsobujú redukciu priepustnosti pre kvapaliny a plyny. Táto skutočnosť je z hľadiska trvanlivosti CHV veľmi výhodná. Skúšky mrazuvzdornosti ukázali, že VHB má dostatočnú odolnosť aj bez použitia prevzdušňovacích prísad (obr. 1).

Podobné výsledky boli zistené aj pri uložení VHB v kyslom prostredí. Použitím aktívne minerálnych a/alebo latentne hydraulických prímesí, ktoré reagujú s voľným hydroxidom vápenatým za vzniku kalciumsilikáthydrátov, sa zvýši stálosť cementového kameňa voči rozpúšťaniu hydratačných produktov a tvorbe expanzných reakčných produktov.

V roku 2001 bola dokončená stavba 200 m vysokej chladiacej veže elektrárne Niederaussem (SRN), ktorá je najvyššou CHV na svete. Na jej zhotovenie bol po prvý krát navrhnutý betón s vysokou odolnosťou proti fyzikálnym a chemickým účinkom, ktorý nevyžaduje sekundárnu ochranu. Vysoká odolnosť sa dosiahla minimálnou medzerovitosťou kameniva a maximálnou stálosťou matrice. Použitý betón mal hutnosť betónu C70/85, ale jeho charakteristická kocková pevnosť v tlaku bola 35 MPa. Zmenšenie pevnosti betónu malo za cieľ redukciu množstva výstuže potrebného na kontrolu šírky trhlín. Z návrhu „bielych vaní“ sú aj u nás skúsenosti, že zvýšenie pevnosti betónu vedie k zvýšenej spotrebe výstuže. Zmenšenie pevnosti veľmi hutného betónu sa dosiahlo použitím plastových guliek s priemerom menším ako 100 µm, bez toho aby bola ovplyvnená jeho odolnosť. Betón obsahuje 225 kg cementu, lietajúci popolček, kremičitý úlet a superplastifikátor. Pomer vody a spojiva (cement + k. prímes II. druhu) bol 0,42. Zvýšená odolnosť proti kyselinám sa nezakladá na použití organicko-chemických prísad alebo polymérov, ale na fyzikálno-chemickom účinku minerálnych komponentov. Betón, vzhľadom na nízky obsah cementu, vyvíjal malé hydratačné teplo a mal obmedzenú tendenciu k vzniku trhlín [2].

Pri výstavbe elektrárne Boxberg (SRN) bola v roku 2009 postavená nová chladiaca veža s výškou 155 m. Cez CHV sa odvádzajú aj spaliny plynovodov elektrárne na hnedé uhlie. Zloženie betónu plášťa CHV musí preto spĺňať požiadavky EN 206-1 pre stupne vplyvu prostredia XC4, XF1 a XA3 (tab. F1). Ako spojivo bol použitý cement CEM II/B 42,5 R a dva druhy lietajúceho popolčeka (Steament DO a Microsit M10). Spracovateľnosť čerstvého betónu s nízkym obsahom vody (125 kg/m^3) bola zlepšená použitím superplastifikátora na báze polykarboxyléteru. Betón neobsahuje kremičitý úlet, je preto menej „lepivý“, ľahšie pumpovateľný a nápadne svetlejší [3].

Okrem uvedených dvoch prípadov boli koncepciou primárnej ochrany betónu postavené v SRN viaceré CHV a ďalšie sa nachádzajú vo výstavbe. Pri použití sekundárnej ochrany betónu sa na vnútorný povrch CHV nanáša náterový systém na báze epoxidovej živice, na vonkajší povrch náter na báze akrylátov. Pri predpokladanej životnosti 40 rokov treba počítať minimálne s jedným kompletným obnovením náterového systému oboch povrchov. Náklady na sekundárnu ochranu, jej obnovu, ako aj straty pri odstávke CHV treba pripočítať k celkovým nákladom stavby.

Sekundárna ochrana betónu

Sekundárna ochrana chladiacich veží obmedzuje účinky obklopujúceho prostredia na betón nanesením náterového systému po jej zhotovení. Pre betóny CHV má ochranný náter predovšetkým:

- zabrániť prenikaniu vody do betónu,
- účinne spomaliť postup negatívne pôsobiacich plynov ako CO_2, SO_2, NO_x, prípadne ďalších oxidov z atmosféry alebo zaústených plynov a na vonkajšom povrchu umožniť vysýchanie betónu,
- byť trvanlivý v alkalickom prostredí betónu a odolný voči klimatickým podmienkam a UV žiareniu.

Ako parameter ochrannej účinnosti náterov, voči prenikaniu plynných látok, sa udáva koeficient difúzneho odporu pre vodnú paru μ_{H2O} a oxid uhličitý μ_{CO2}. Koeficient μ je bezrozmerné číslo, udávajúce koľkokrát je difúzny odpor náterového alebo iného systému väčší, ako difúzny odpor vzduchu rovnakej hrúbky. Pre vzduch je teda veľkosť hodnoty μ rovná 1, dob-

2

rý betón má za normálnych pomerov hodnotu μ okolo 100. Ak prenásobíme koeficient difúzneho odporu hrúbkou náteru s, získame hodnotu ekvivalentnej difúznej hrúbky S_D. Hodnota S_D udáva hrúbku ekvivalentnej vrstvy vzduchu v metroch. V prípade tenkostenných konštrukcií, ktoré sú z jednej strany vystavené účinkom vodnej pary (plášť chladiacej veže), sa pre náter na vnútorný povrch požaduje zvýšená ekvivalentná difúzna hrúbka voči vodnej pare (S_D > 50 m). Vysýchanie betónu musí v tomto prípade umožniť náter na vonkajšom povrchu (S_D < 5 m) [4].

Prenikanie CO_2 a SO_2, spojené s karbonatáciou a sulfatáciou, sú najčastejšie príčiny neutralizácie povrchových vrstiev betónu, a tým aj príčinou korózie výstuže v betóne CHV. Z uvedeného dôvodu má mať povrchová úprava čo najväčší odpor voči prenikaniu týchto oxidov. Náter s hodnotou S_D > 50 m pre CO_2 prakticky zastaví postup karbonatácie betónu.

SANÁCIA CHLADIACICH VEŽÍ EMO

Postup a použité materiály

Sanácie CHV 5 až 8 v EMO34 (obr. 2) realizuje, na základe zmluvy s Enelom, firma Chladíci věže Praha v období september 2009 až júl 2011. Cieľom sanácie je obnovenie trvanlivosti všetkých betónových prvkov CHV.

Sanácia pozostáva zo štandardných technologických postupov a materiálov:

- mechanické odstránenie poškodeného betónu vodným lúčom s tlakom 70 MPa a obnaženie korodujúcej výstuže elektrickým i pneumatickým kladivom,
- mechanické očistenie obnaženej výstuže kombináciou mokrého pieskovania a drôtených kotúčov na uhlovej brúske na stupeň SA 2,

Literatúra:

[1] *Guse U., Müller H.S.*: Forschungsergebnisse und Ausblick ins neue Jahrtausend. Betonwerk+Fertigteil-Technik, No. 1/2000

[2] *Hüttl R., Hillermeier B.*: Hochleistungsbeton – Beispiel Säureresistenz. Betonwerk + Fertigteil – Technik, No.1/2000, S. 52–60

[3] *Titze B., Hüttl R., Knüfer T., Starkmann U.*: Beton mit erhöten Säurewiderstand für den Kühlturm Boxberg. Beton- und Stahlbetonbau No. 7/2010, S. A7–A11

[4] STN EN 1504-2: Výrobky a systémy na ochranu a opravu betónových konštrukcií. Časť 2: Systémy na ochranu povrchu betónu, 2005, 48 s.

[5] *Bolha Ľ, Bilčík J.*: Overenie koruny chladiacich veží EMO č. 5, 6, 7 a 8 na zavesenie montážnych lávok. Správa ZoD SvF STU Bratislava, január 2010

[6] Zákon č. 50/1976 o územnom plánovaní a stavebnom poriadku, 1976

[7] Podniková norma ČEZ 009: Technické podmínky pro přípravu a kontroly oprav železobetonových konstrukcí ve výrobnách ČEZ, a. s., – chladící věže a komíny, 2004, 110 s.

[8] EN 1504-1 až 10: Výrobky a systémy na ochranu a opravu betónových konštrukcií

[9] ČSN 73 2578 Zkouška vodotěsnosti povrchové úpravy stavebních konstrukcí. 1981, 4 s.

[10] EN 1504-2: Výrobky a systémy na ochranu a opravu betónových konštrukcií. Systémy na ochranu povrchu betónu. 2005, 48 s.

[11] *Teplý B.*: Management životnosti a spolehlivosti konstrukcí, Beton TKS 2/2010, s. 6–8

3

Tab. 1 Požadované vlastnosti skúšaných materiálov podľa ČEZ 009 [7] a EN 1504 [8] ▮ Tab. 1 Required properties of tested materials by ČEZ 009 [7] and EN 1504 [8]

Materiál	Parameter	Priemerná hodnota[1)] [7]	Priemerná hodnota[1)] [8]
Podkladný betón	Pevnosť v ťahu povrch. vrstiev [MPa]	> 1,4 (0,8)	–
Reprofilačná malta	Pevnosť v ťahu za ohybu [MPa]	5,5	–
	Pevnosť v tlaku [MPa]	> 25 < 50	≥ 15
	Prídržnosť [MPa]	> 1,1 (0,8)	≥ 0,8
Náterový systém	Hrúbka vnútorný parotesný náter [μm]	≥ 219	–
	Hrúbka vonkajší paropriepustný náter [μm]	≥ 140	–
	Vodotesnosť V_{30} parotesný náter [l/m^2] [2)]	0	– [3)]
	Vodotesnosť V_{30} paropriepustný náter [l/m^2] [2)]	2	– [3)]
	Prídržnosť [MPa]	≥ 1,2 (0,8)	≥ 1 (0,7)

Poznámky:
1) hodnota v zátvorke je najmenšia prípustná hodnota jednotlivého merania
2) skúška podľa ČSN 73 2578 [9]
3) EN 1504-2 [10] hodnotí prepúšťanie vody podľa EN 1062-3: w < 0,1 kg/m^2.h^{0,5}

Obr. 2 Chladiace veže EMO č. 5 až 8 pred sanáciou ▮ Fig. 2 EMO cooling towers No. 5 to 8 before repair

Obr. 3 Kotvenie vozíka pre zavesenie montážnych lávok do plášťa CHV [5] ▮ Fig. 3 Anchoring of the hanging scaffolding to the cooling tower shells

- nanesenie antikorózneho náteru Sika Mono Top 610 na výstuž,
- reprofilácia betónového povrchu polymércementovou maltou Sika Rep a oprava pracovných škár tenkovrstvovou omietkou Sika Icoment 520,
- nanesenie náterového systému ako sekundárnej ochrany betónu:
  - vnútorný plášť, šikmé stojky, vostavba a vnútorná časť ochodze: trojvrstvový Icosit 2406 (μ_{H2O} = 4,5.10^4, μ_{CO2} ≈ 43.10^4), v hornej tretine plášťa, na zvýšenie odolnosti proti UV žiareniu sa používa Sikagard 363. Na vyrovnanie podkladu a uzatvorenie pórov sa vodorovné škáry plášťa pred náterom pretierajú stierkou Icoment 520,
  - vonkajší plášť: dvojvrstvový Sikagard 680S Betoncolor (μ_{H2O}= 1,8.10^4, μ_{CO2}= 3,3.10^6),
  - vonkajšia časť ochodze: Icosit EG – System, ktorý bude aplikovaný aj na letecké značenie.

Oprava bazéna je rovnaká ako oprava plášťa CHV. Dilatačné škáry budú prekryté tesniacimi pásmi Sikadur Combiflex a ako ochranný náter sa používa Inertol Poxitar F. Týmto náterom budú chránené i pätky a stĺpy do výšky 0,5 m nad hladinu maximálnej vody.

Overenie koruny na zavesenie lávok

Ochodza veže v tvare písmena U je zhotovená z prefabrikátov (dĺžka jednotlivých prvkov je ~ 2 m). Do monolitického betónu plášťa sú prvky zakotvené pomocou štyroch prútov betonárskej výstuže, ktoré sú privarené na oceľové prípravky osadené v prefabrikátoch. Jednotlivé prefabrikáty pôsobia samostatne, nie sú navzájom spojené. Preto sa ich zvislé steny posudzovali na lokálne zaťažovacie sily od vozíkov a závesných strmeňov ako konzoly votknuté do spodnej časti prefabrikátu.

Pri vizuálnej prehliadke prefabrikovanej ochodze boli zistené viaceré chyby a poruchy, ktoré vyvolali pochybnosti o možnosti zavesenia montážnych lávok na samotnú korunu.

Výsledky posúdenia potvrdili, že stienky ochodze nie sú schopné odolávať zaťaženiu, ktoré predstavujú závesné lávky a ich príslušenstvo. Preto, aj s prihliadnutím na značné porušenie betónu a koróziu betonárskej výstuže, sa odporučilo kotviť ako závesný vozík, tak aj strmeň pomocou dvoch šikmých ťahadiel z pásnice 60/10 mm z ocele triedy 37 do monolitického betónu plášťa pod prefabrikovanou ochodzou svorníkovými kotvami (obr. 3).

Kontrolné činnosti

Stavebný zákon [6] podmieňuje vydanie kolaudačného rozhodnutia, okrem iného, aj predložením dokladov o vyhovujúcich výsledkoch predpísaných skúšok. Kontrolné skúšky sanácie CHV robí Skúšobné laboratórium Stavebnej fakulty STU v Bratislave, ktoré má na výkon požadovaných skúšok akreditáciu.

Kvalita prác a materiálov sa kontroluje vizuálnymi prehliadkami a skúškami. V zmluve bolo dohodnuté, že technické požiadavky na stavebné výrobky použité na sanáciu CHV budú zodpovedať podnikovej norme ČEZ 009 [7]. Táto dohoda neodporuje slovenskej legislatíve, lebo kritériá použité na vyhodnocovanie skúšok podľa podnikovej normy ČEZ 009 sú prísnejšie ako požiadavky noriem STN EN (tab. 1).

Rozsah skúšok a požadované parametre skúšaných materiálov sú uvedené v tab. 1. Počty skúšok vyplynuli z celkovej plochy CHV, ktorá je 211 036 m^2 (1 CHV má 52 759 m^2).

Hrúbka náterových systémov bola vypočítaná pre použité náterové systémy tak, aby vyhoveli požiadavkám ČEZ 009 na difúzny odpor S_D pre vodnú paru a CO_2 paronepriepustných a paropriepustných systémov.

ZÁVER

Pri návrhu nových chladiacich veží treba, okrem medzných stavov únosnosti a používateľnosti, zohľadniť aj spôsob dosiahnutia požadovanej úrovne trvanlivosti (medzný stav trvanlivosti). Pri úvahách o životnosti a nákladoch sa musia zohľadniť nielen počiatočné náklady (t.j. náklady na projekt a zhotovenie), ale celkové náklady, včítane nákladov na údržbu, sekundárnu ochranu a opravy, ako aj náklady spojené s demoláciou konštrukcie a recykláciou materiálov. Pri takomto komplexnom prístupe k hodnoteniu nákladov sa výraznejšie prejavia výhody primárnej ochrany betónu nielen chladiacich veží, ale aj iných betónových stavieb v agresívnom prostredí. Na Slovensku sa v súčasnosti neplánuje rozsiahlejšia výstavba chladiacich veží, takže s jej aplikáciou možno počítať až v dlhšom časovom horizonte. Tento čas by sa mohol využiť na diskusiu a vyhodnotenie skúseností zo zahraničia. Na druhej strane je ešte veľké množstvo existujúcich CHV, ktoré nemajú sekundárnu ochranu (napr. CHV č. 1 až 4 EMO) alebo ju treba obnoviť. Pri návrhu a realizácii ich ochrany bude možné využiť aj skúsenosti z doterajších sanácii.

Prof. Ing. Juraj Bilčík, CSc.
Katedra betónových konštrukcií a mostov
Stavebná fakulta STU Bratislava
Radlinského 11, 813 68 Bratislava
e-mail: juraj.bilcik@stuba.sk
tel.: +421 259 274 546

Ing. Jan Závodný
Chladící věže Praha
Psohlavců 322/4, 147 00 Praha
e-mail: jzavodny@chv-praha.cz

Ing. Vladimír Priechodský, PhD.
Centrálne laboratória
Stavebná fakulta STU Bratislava
Technická 5, 821 04 Bratislava
e-mail: vladimir.priechodsky@stuba.sk