

ANALÝZA, DIAGNOSTIKA A SANÁCIA TRHLÍN V STENÁCH BETÓNOVÝCH NÁDRŽÍ ■ ANALYSIS, DIAGNOSIS AND REPAIR OF CRACKS IN CONCRETE TANK WALLS

Juraj Bilčík, Jiří Dohnálek

Rozhodujúca vlastnosť betónových nádrží – nepriepustnosť úzko súvisí so vznikom a charakterom trhlín. Počas skúšok vodonepriepustnosti alebo krátko po začatí prevádzky nádrží sa často v stenách prejavujú zvislé deliace trhliny, cez ktoré dochádza k líniovým priesakom zadrživanej kvapaliny. Dlhodobé priesaky môžu vyvolať nevratné poškodenie nádrží a prípadne aj zamorenie životného prostredia. Vzhľadom na závažnosť výskytu presakujúcich trhlín z hľadiska spoľahlivosti nádrží sa v prvej časti príspevku analyzujú príčiny a následky ich vzniku a v druhej časti metódy na ich diagnostiku a utesnenie. ■ The crucial characteristic of concrete tanks – tightness is strongly influenced by the development and character of cracks. During watertight tests or soon after commissioning of the tanks, vertical separation cracks allowing liquids to leak through the walls is often observed. Long-term leakage can cause irreversible damage to the tank and possibly contamination of the environment. Considering the importance of leaking cracks in terms of the reliability of tanks, the contribution in the first part analyses causes and consequences of their occurrence and in the second part analyses methods for their diagnostic and sealing.

Trvalo udržateľný rozvoj spoločnosti je nepredstaviteľný bez rozvoja environmentálnej infraštruktúry. Dôležitou súčasťou tejto infraštruktúry sú aj betónové nádrže (obr. 1). V nasledujúcich rokoch možno očakávať nárast výstav-

by nádrží, najmä v súvislosti so záväzkami členských krajín EU na odkanalizovanie a napojenie obcí nad 2 000 obyvateľov na ČOV a zvyšovanie podielu elektrickej energie vyrábanej z obnoviteľných zdrojov energie, medzi ktoré patria aj bioplynové stanice.

Napriek tomu, že v časopise Beton TKS boli publikované viaceré články o betónových nádržiach [1] až [3], vychádzajúc z poznatkov o pretrvávajúcich problémoch pri navrhovaní, zhotovovaní a sanácií nádrží v posledných rokoch, považujú autori predložený príspevok za nanajvyš aktuálny.

Všeobecné pravidlá na navrhovanie betónových konštrukcií obsahuje EN 1992-1-1 [4]. EN 1992-3 [5] uvádza dopĺňajúce pravidlá na návrh tých častí konštrukcie, ktoré priamo zachytávajú zadrživajú kvapalinu. Zadrživanie a úprava kvapalín prebieha najčastejšie v kvádrových alebo valcových betónových nádržiach. Nádrže sa zhotovujú z vodonepriepustného betónu, ktorý po vhodnom návrhu a dobrom spracovaní zabezpečí, že nedôjde k plošným priesakom cez prvky nádrže.

Minimálna hrúbka steny vodonepriepustnej konštrukcie, pri uvážení hrúbky krycej vrstvy, polohy výstuže, tesnenia škár a zabetónovaných prvkov, musí umožniť betonáž a splnenie nosných a tesniacich funkcií, ako aj všetkých ostatných požadovaných

vlastností. Hrúbka obvodových stien **vodotesnej** nádrže (vodotesnosť zabezpečuje vodotesný povlak alebo výstelka) nemá byť vo všeobecnosti menšia ako 120 mm pre triedu tesnosti 0, resp. 150 mm pre triedu 1 alebo 2 [5]. Minimálna hrúbka **vodonepriepustnej** nádrže (vodonepriepustnosť zabezpečuje vodonepriepustný betón) pre triedu tesnosti 3 je 240 mm, pri použití špeciálnych technologických a realizačných opatrení 200 mm [6].

Dodržaním uvedených požiadaviek by sa v stenách betónových nádrží nemali vyskytovať plošné priesaky. Často sa však cez trhliny a/alebo netesné pracovné škáry zaznamenávajú líniové priesaky. Z dôvodov životnosti konštrukcie, resp. ochrany životného prostredia, či obsahu nádrže sa nepripúšťa alebo limituje infiltračia, resp. exfiltračia kvapalín. Šírku trhlín v závislosti od triedy tesnosti obmedzuje EN 1992-3, ako aj nižšie uvedené smernice. Trhliny prechádzajúce cez celý prierez (deliace trhliny) obmedzujú použiteľnosť (priesaky) a trvanlivosť (korózia betónu a výstuže) a v extrémnych prípadoch aj odolnosť a stabilitu nádrží.

UPLATNENIE VODONEPRIEPUSTNÝCH NÁDRŽÍ

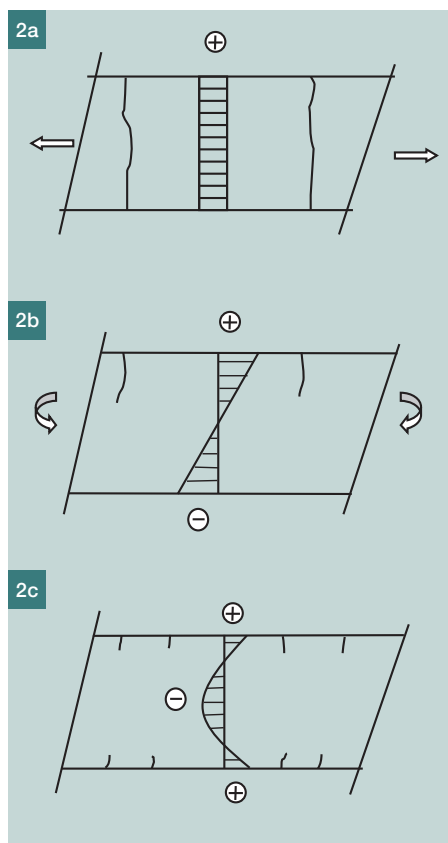
Betón má v konštrukcii okrem nosnej funkcie často aj iné úlohy: vodonepri-



1a



1b



Obr. 1 Celkový pohľad na betónové nádrže, a) čistiareň odpadových vôd, b) bioplynová stanica ■ Fig. 1 General view to the concrete tanks, a) wastewater treatment plant, b) biogas plant

Obr. 2 Hĺbka trhlín zodpovedá rozdeleniu napätí v betóne: a) deliace trhliny, b) čiastočné trhliny, c) povrchové trhliny ■ Fig. 2 Crack depth corresponds to the distribution of stresses in concrete: a) separation cracks, b) flexural cracks, c) surface cracks

pustnosť, mrazuvzdornosť, odolnosť voči vysokým teplotám a obrusovaniu. Betón nie je vodotesný, ale môže byť vodonepriepustný. Vodonepriepustnosť betónu poznali už starovekí Rimanovia a využívali ju na stavbu akvaduktov a nádrží. V posledných dekádach sa vodonepriepustnosť betónu využíva i na konštrukcie vystavené účinkom podzemnej vody (suterény budov, hĺbené tunely). Pre tie sa zaužíval názov biele vane (BV).

Na navrhovanie a zhotovovanie vodonepriepustných betónových konštrukcií boli v Rakúsku (1999) a Nemecku (2003) vydané smernice. V Česku bola prevzatá preložená rakúska smernica (2006) a na Slovensku vznikla na podklade nemeckej smernice SmeBV [7] (2012). Rakúska smernica pri ná-

vrhu BV nevychádza z EN 1992-1-1 a je viazaná na cementy bez obsahu C_3A .

Koncepcia BV vychádza z poznania, že betón požadovanej kvality a hrúbky je bez ohľadu na veľkosť hydrostatického tlaku vodonepriepustný. Z hľadiska vzniku a rozvoja deliacich trhlín sa rozlišujú tri koncepcie návrhu a zhotovenia konštrukcie BV [6], [7]:

- **bez deliacich trhlín** sa dosiahne konštrukčnými, technologickými a výrobnými opatreniami,
- **s deliacimi trhlinami so šírkou umožňujúcou ich samoutesnenie** sa získa návrhom a usporiadaním betonárskej výstuže na medzný stav šírky trhlín,
- **s deliacimi trhlinami s maximálnou šírkou** podľa tab. 7.1N v EN 1992-1-1, ktoré sa dodatočne utesnia.

Z uvedeného je zrejmé, že deliace trhliny majú rozhodujúci vplyv na funkčnosť koncepcie BV. Podľa smeru tesniacej funkcie možno konštrukcie rozdeliť na dve skupiny. Prvú tvoria konštrukcie brániace presakovaniu podzemnej vody do vnútorných priestorov stavby (suterény budov, technologické šachty a pod.), druhú konštrukcie na zadržiavanie vody (priehrady, nádrže, kanalizačné zberače a pod.). Všeobecne platí, že pre prvú skupinu konštrukcií možno uplatniť koncepciu BV. Vyvstáva otázka či koncepciu BV možno použiť aj na druhú skupinu, konkrétne na nádrže. Odpoveď nie je jednoduchá ani jednoznačná. V rámci predloženého článku sa autori pokúsili analyzovať podmienky použitia koncepcie BV pre nádrže.

ANALÝZA TRHLÍN V STENE NÁDRŽÍ

Limitné šírky trhlín

Nádrže na kvapaliny je vhodné triediť z hľadiska požadovaného stupňa ochrany proti priesaku. Zatriedenie priepustnosti betónu uvádza EN 1992-3 v tab. 1.

V stenách betónových nádrží sa rozlišujú trhliny, s ohľadom na:

- smer trhlín: zvislé, vodorovné a šikmé,
- hĺbku trhlín: deliace, čiastočné a povrchové (obr. 2),
- zmeny šírky trhlín: pasívne a aktívne.

Pri hodnotení vodonepriepustnosti stien nádrží je dôležitá najmä hĺbka a aktivita trhlín. Povrchové trhliny nepredstavujú z tohto hľadiska riziko. Čiastočné (ohybové) trhliny sa považujú

za vodonepriepustné, ak výška tlačenej zóny je väčšia ako 50 mm. Výnimku tvoria steny, kde dochádza vplyvom priameho alebo nepriameho zaťaženia k striedavému namáhaniu.

Ak šírka deliacich trhlín je menšia ako w_{max} , možno očakávať samoutesnenie trhlín, ktoré bráni priesaku vody, ak nádrže počas prevádzky nie sú vystavené významným zmenám zaťaženia alebo teploty. Na obr. 3 sú zobrazené maximálne šírky trhlín podľa STN EN 1992-3 a smerníc [6], [7].

Z hľadiska dynamiky šírky trhlín sa rozlišujú **aktívne** trhliny, ktoré menia šírku (od vplyvu zaťaženia, zmeny teploty a pod.), a **pasívne** trhliny, ktoré majú konštantnú šírku. Samoutesnenie trhlín je reálne u pasívnych trhlín. Keď sa hladina kvapaliny v nádržiach mení a/alebo nádrže sú vystavené zmenám teploty a vlhkosti, je zrejmé, že zvislé trhliny v stenách nádrží majú charakter aktívnych trhlín a nemožno očakávať, že samoutesnenie zabezpečí ich vodonepriepustnosť. Samoutesnenie možno predpokladať u zasypávaných nádrží s ustálenou hladinou kvapaliny.

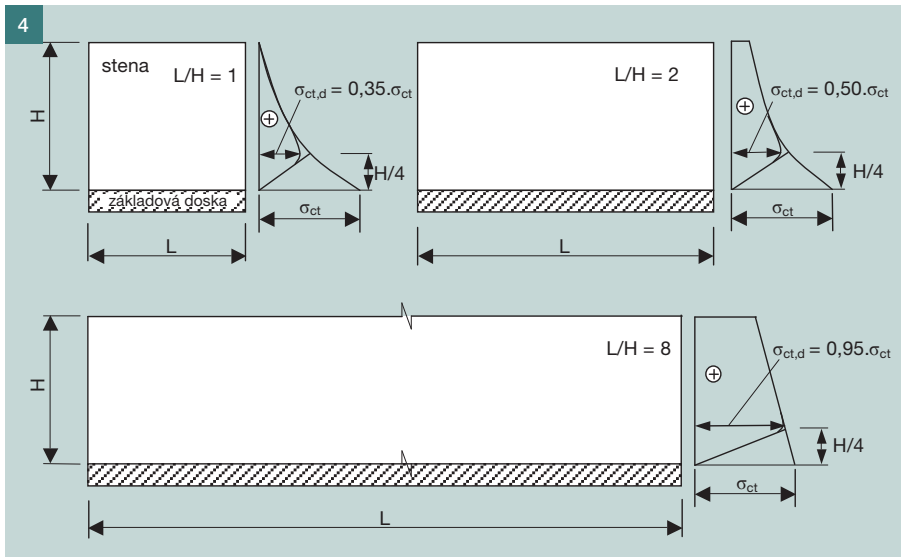
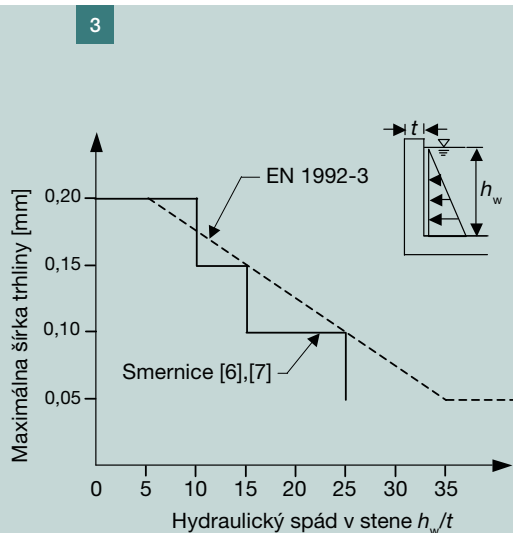
Príčiny a obmedzenie vzniku deliacich trhlín

Rozlišujú sa dve hlavné príčiny vzniku a rozvoja trhlín v betónových konštrukciách:

- od účinku priamych zaťažení vznikajú **statické trhliny**,
- od účinku nepriamych zaťažení (objemových zmien) vznikajú **technologické trhliny**.

Od statických účinkov tlaku náplne alebo zásypu nádrže vzniká v základových doskách a stenách kombinácia ohybových momentov a normálových síl. Tie v základových doskách a stenách kvádrových nádrží väčšinou vyvolávajú čiastočné trhliny. Ako primárnu príčinu vzniku deliacich trhlín možno označiť pretvárne účinky objemových zmien (teplotné rozdiely a zmršťovanie betónu), v stenách valcových nádrží aj účinok ťahovej normálovej sily od hydrostatického tlaku.

Ak sa styk steny monoliticky spojenej so základovou doskou presnejšie neanalyzuje, predpokladá sa dokonalé votknutie steny do základovej dosky. Pri betónovaní steny na zatvrdnutú základovú dosku vzniknú vplyvom nárastu hydratačného tepla v stene najprv tlakové napätia. Pri ochladzovaní (analogicky aj pri zmršťovaní) betónu steny má tento snahu sa skrá-



tiť. Tuhé spojenie so základovou doskou bráni deformácii, čo má za následok vznik vodorovných ťahových napätí a často aj zvislých deliacich trhlín. Tieto vychádzajú z pracovnej škáry medzi základovou doskou a stenou nádrže, dosahujú dĺžku niekoľko metrov a môžu siahať až po horný okraj steny.

Z obr. 4 je zrejmé, že veľkosť ťahového napätia σ_{ct} na spodnom okraji steny je takmer nezávislá od dĺžky steny. Dĺžka steny má však vplyv na priebeh ťahových napätí po výške steny. Od pomeru $L/H > 2$ sa zvyšuje riziko vzniku zvislých deliacich trhlín.

Obmedzenie tvorby a rozvoja zvislých deliacich trhlín v stene možno dosiahnuť

- rozdelenie steny pracovnými škárami na menšie betónovacie úseky, resp. vytvorením nepravých škár,
- predpätím steny alebo predpätím steny a základovej dosky,
- technologickými opatreniami na zníženie hydratačnej teploty betónu,
- kontrolou šírky trhlín betonárskou výstužou.

Rozdelenie steny a nepravé škáry

Zhotovovanie nádrží vyžaduje dodržiavanie všeobecných požiadaviek platných pre zhotovovanie betónových konštrukcií podľa EN 13670 [9]. Rozdelenie základovej dosky a stien na vhodné betónovacie úseky by mal, po dohode s ostatnými účastníkmi stavby, navrhnúť projektant.

Veľkosť obmedzenia pretvorenia stien monoliticky spojených so základovou doskou závisí od pomeru tuhosti stena/základová doska/zemina a dĺžky betónovacích úsekov. Ak to inými opatreniami nie je možné ale-

bo iba za cenu vysokých nákladov, možno ťahové napätia od objemových zmien účinne obmedziť vytvorením nepravých škár. Tak sa dosiahne, že úseky steny medzi škárami budú bez trhlín.

Vzdialenosť medzi nepravými škárami sa stanoví na základe podmienok uloženia, nemala by byť väčšia ako dvoj- až štvornásobok výšky steny. Nepravá škára (riadená trhlinka) vznikne plánovaným oslabením betónového prierezu steny za účelom vzniku deliacej trhliny. V mieste oslabenia sa vloží izolačný pás kolmo na plánovanú riadenú trhlinku.

Predpätie steny alebo predpätie steny a základovej dosky

Na zistenie napätosti od predpätia treba uvážiť aj obmedzenia pretvorenia závislé od podmienok uloženia. V predpätých základových doskách sa zohľadnia straty od trenia v základovej škáre alebo z väzieb k pilótam, základovým pásom a pod. Pre predpäté steny treba urobiť podrobnú analýzu rozdelenia predpínacích síl, aby sa zabezpečila účinnosť predpätia v požadovaných oblastiach.

Vzhľadom na neistoty pri stanovení obmedzenia pretvorenia a nepriamych zaťažení by predpätie, po uvážení všetkých ťahových napätí a strát, malo vyvolať stredné návrhové tlakové napätie v betóne približne 0,5 MPa.

Ak predpätie slúži na zabránenie vzniku trhlín od účinkov hydratačného tepla, treba ho zaviesť čo najskôr. Vneseniu predpätia do steny bráni tuhosť základovej dosky, čo vzhľadom na rozmery nádrží môže byť technologicky náročné a nákladné.

Návrh železobetónovej steny valcovej

nádrže na medzný stav vzniku trhlín vedie k masívnym prierezom: stena hrúbky 800 mm je schopná, bez vzniku trhlín, preniesť tlak vody zodpovedajúci výške vody približne 8 m (obr. 5a), čím sa zvyšuje aj plocha minimálnej výstuže. Z uvedeného je zrejmé, že železobetónové steny valcovej nádrže navrhnuté na medzný stav vzniku trhlín sú použiteľné iba pre nízke nádrže. Vodorovným predpätím sa môže zabrániť vzniku zvislých deliacich trhlín, ako od účinku objemových zmien, tak aj od tlaku kvapalín. Na tento účel sa osvedčili vonkajšie predpínacie láná $\varnothing L_p 15,5 - 1 800$ MPa (Monostrand). Výhodou použitia týchto lán je nielen ich spoľahlivá protikoročná ochrana, ale aj výrazné zmenšenie strát od trenia ($\mu = 0,05$) oproti klasickým injektovaným káblom ($\mu = 0,2$ až $0,35$). Týmto spôsobom sa podarilo dodatočne uzavrieť zvislé trhliny v stenách vyhnívacích nádrží a zabezpečiť ich vodo- a plynonepriepustnosť [10]. Príklad rozmiestnenia lán po výške steny je znázornený na obr. 5b. Pre kvádrové nádrže je výhodnejšie kombinovať technologické opatrenia a návrh výstuže na kontrolu trhlín.

Technologické opatrenia na zníženie hydratačnej teploty

Proces tvrdnutia betónu je sprevádzaný vývojom hydratačného tepla, ktorého časový priebeh nie je rovnomerný. V počiatočnej fáze tvrdnutia dochádza k nárastu teploty, pričom maximálna teplota sa dosahuje jeden až tri dni po betónovaní. V ďalších dňoch dochádza k relatívnemu poklesu teploty, ktorý je sprevádzaný skrátením betónu, úmerným rozdielom teplôt. Ak sa

Obr. 3 Maximálne šírky trhlin w_{max} z hľadiska ich samoutesnenia ■ Fig. 3 Maximum crack widths w_{max} with regard to their autogenous healing

Obr. 4 Ťahové napätia v stene kvádrovej nádrže od poklesu teploty pre rôzne pomery L/H [8] ■ Fig. 4 Tensile stresses in the wall of a rectangular tank, resulting from a drop in temperature for different ratios L/H

Obr. 5 Pohľad na steny vyhnívacích nádrží: a) priesak pri skúške vodonepriepustnosti, b) po zosilnení vonkajšími predpínacími lanami (fotografie M. Chandoga) ■ Fig. 5 View on the walls of digestion tanks: a) leakages during the watertightness test, b) after strengthening with external post-tensioning (reprinted with courtesy of M.Chandoga)

skrátenej bráni, vznikajú napätia. Keď sú napätia väčšie ako aktuálna ťahová pevnosť betónu $f_{ct,eff}$, vznikajú deliace trhliny. V tejto súvislosti treba zohľadniť tieto vplyvy [7]:

- teplotu čerstvého betónu,
- zvýšenie teploty tvrdnúceho betónu od hydratačného tepla,
- ochladzovanie betónu v konštrukcii,
- klimatické vplyvy.

Na obmedzenie vzniku a šírky technologických trhlin je výhodné, ak má

čerstvý betón (ČB) nízku teplotu, pri tvrdnutí betón vyvíja menšie hydratačné teplo a neskoršie sa pomalšie ochladzuje. Teplota ČB ovplyvňuje začiatok tuhnutia, čas tuhnutia i počiatkové tvrdnutie betónu. Je významná pri betónovaní pri nízkych a vysokých teplotách ovzdušia. Teplota ČB by mala byť rovnomerná počas celej doby betónovania, pričom by sa mala pohybovať v rozmedzí 10 °C až 25 °C. Optimálna teplota ČB pri ukladaní je 12 °C až 18 °C.

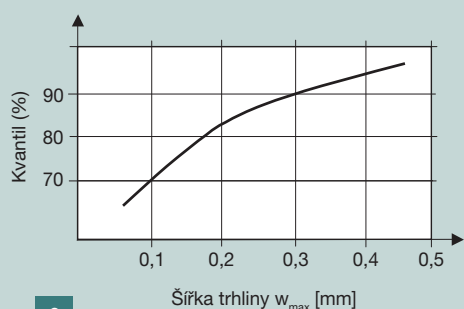
Na výrobu betónu do BV sa zvyčajne používajú čo najnižšie dávky cementov s nízkym alebo veľmi nízkym hydratačným teplom, prímiesi typu II, čiara zrničnosti kameniva obvykle s maximálnym zrnom D_{max} 22 pre základové dosky a D_{max} 16 pre steny a prísady umožňujúce zníženie dávky zámesovej vody ($w/c \leq 0,55$), pri dodržaní požadovanej konzistencie betónu v čase jeho ukladaní. Použitie vysokopecného cementu na zhotovovanie vodonepriepustných konštrukcií je výhodné z hľadiska intenzity, aj celkového uvoľneného hydratačného tepla. Nemenej dôležitý je tiež priaznivý vplyv vysokopecných cementov na odolnosť betónu voči chemicky agresívnemu prostrediu [10].

Predpísaná doba zretia betónu má významný vplyv na jeho zloženie a vlastnosti v čerstvom a zatvrdnutom stave. Použitie smernice [7] umožňuje predĺženie doby zretia z 28 na 56, resp. 90 dní (skúšanie vlastností betónu po 56, resp. 90 dňoch). To dovoľuje znížiť dávku cementu, použiť cement s pomalším nárastom pevnosti a teda aj nižším hydratačným teplom.

Pre vodonepriepustné betónové konštrukcie sú vhodné betóny pevnostnej triedy C20/25 a C25/30. Vyššie pevnosti sa neodporúčajú, nakoľko úmerne s nárastom pevnosti betónu sa zvyšuje plocha výstuže potrebnej na kontrolu šírky trhlin, resp. náklady na ich dodatočné utesnenie. Táto požiadavka môže byť v prípade agresívnejšieho prostredia (XC4, XA2 a XA3) v rozpore s odporúčaniami tabuľky F.1 v EN 206-1 NA. Odporúča sa použiť iné primárne a sekundárne opatrenia na ochranu betónu a výstuže voči týmto stupňom prostredia alebo akceptovať vyššiu triedu pevnosti a počítať so zvýšenou plochou výstuže na kontrolu šírky trhlin.

Ošetrovanie vodonepriepustného betónu musí okrem bežných požiadaviek zohľadniť aj tepelno-technické





6

Obr. 6 So znižovaním predpísanej šírky trhliny w_{max} klesá hladina spoľahlivosti [13]

■ Fig. 6 By reduction of the prescribed crack width w_{max} decreases the confidence level [13]

hľadisko. Ochladzovanie betónu jednotlivých častí nádrže musí byť regulované (v závislosti od ich hrúbky, poveternostných podmienok a pod.) tak, aby aktuálna pevnosť betónu v ťahu bola v každom čase väčšia ako ťahové napätia od objemových zmien. Jedným z účinných opatrení na obmedzenie nepriaznivých účinkov hydratačného tepla a zmrašťovania betónu je aj predĺženie doby ponechania konštrukcie v debnení.

Kontrola šírky trhlín

Návrh a overenie výstuže nádrže na účinky priameho zaťaženia pre MSÚ sa riadi STN EN 1992-1-1. Navrhnutá výstuž musí spĺňať podmienky spoľahlivosti a minimálneho stupňa vystuženia. Usporiadanie výstuže musí vyhovovať konštrukčným zásadám a umožniť bezproblémové uloženie a zhutnenie ČB v zmysle STN EN 13670.

Železobetónové prvky vodonepriepustných konštrukcií sú spravidla vystužené betonárskou výstužou v tvare pravouhlej siete pri oboch povrchoch. Ak má výstuž obmedzovať šírku trhlín, postupuje sa pri návrhu výstuže a kontrole šírky trhlín podľa STN EN 1992-1-1 nasledovne:

- návrh minimálnej plochy výstuže na obmedzenie šírky trhlín,
- overenie navrhnujetej výstuže sa robí kontrolou šírky trhlín:
 - bez priameho výpočtu alebo
 - výpočtom šírky trhlín.

Návrh výstuže na kontrolu šírky trhlín bez priameho výpočtu, aj s priamym výpočtom sa podrobne analyzuje v článkoch [11], [12]. Návrh výstuže, ako aj výpočet šírky trhlín je založený

na viacerých predpokladoch a zjednodušeníach. Ako hlavné príčiny rozdielov medzi vypočítanou a na konštrukcií zmeranou šírkou trhlín možno označiť:

- zjednodušenia výpočtového modelu,
- rozptyl skutočných účinkov a materiálových vlastností,
- kvalitu zhotovenia.

Na základe uvedeného nemožno vypočítanú šírku trhliny vnímať ako fyzikálnu skutočnosť, ale skôr ako reprezentatívnu hodnotu. So znižovaním predpísanej maximálnej šírky trhlín w_{max} klesá hladina spoľahlivosti vypočítanej šírky trhlín. Na obr. 6 je znázornený priebeh hladiny spoľahlivosti, pričom šírka trhliny bola vypočítaná podľa národnej prílohy k DIN EN 1992-1-1. Ak by šírka trhlín bola vypočítaná podľa EN 1992-1-1 bol by pokles spoľahlivosti so znižujúcou sa šírkou trhliny miernejší. Pri návrhu vodonepriepustnej betónovej konštrukcie treba preto uvažovať aj s nákladmi na utesnenie určitého počtu trhlín. Množstvo trhlín, ktoré treba utesniť, a tým aj náklady závisia od kvality návrhu a zhotovenia konštrukcie.

Obmedzenie šírky trhlín nie je dôležité iba z hľadiska samoutesnenia, ale aj možnosti ich dodatočného utesnenia náterovým systémom alebo injektážou. Náterové systémy i injektážne živice majú obmedzenú pretvornosť, čo pri nekontrolovanej dynamike šírky trhliny môže spôsobiť ich porušenie.

Vychádzajúc z nesprávneho predpokladu, že v stenách obdĺžnikových nádrží je nosná zvislá výstuž, sa návrh vodorovnej výstuže stien často zanedbáva. Najmä pri návrhu nádrží si treba uvedomiť, že okrem priameho zaťaženia pôsobia na nosné prvky aj nepriame a environmentálne zaťaženia. Úlohou vodorovnej výstuže v stene nádrže je aj kontrolovať šírku trhlín od nepriameho zaťaženia (objemové zmeny betónu). Väčšina v stenách nádrží zaznamenaných presakujúcich zvislých deliacich trhlín je dôsledok nedostatočnej vodorovnej výstuže v kombinácii so zanedbaním technologických opatrení na zníženie hydratačnej teploty.

Nádrže reaktorov

Osobitnú kategóriu nádrží tvoria tzv. reaktory (vyhnievacie nádrže, fermentory a pod.). Vodo- a plynotesnosť betónu má zaručiť, že produkty kvase-

Literatúra

- [1] SCHEJBAL, R. Betonové konstrukce nádrží, požadavky na stavby, pôsobící vlivy prostředí a dopady na návrh staveb a na provádění sanací. *Beton TKS*, 2011, č. 3, s. 3–9
- [2] MILICH, J., KOCOUREK, R. Výstavba kruhových monolitických železobetonových nádrží. *Beton TKS*, č. 2/2012, s. 32–35
- [3] KOHOUTEK, T., ŠACH, J., TOBOLKA, Z. Zkušenosti ze sanací betonových nádrží čistíren odpadových vod. *Beton TKS*, 2003, č. 3, s. 27–29
- [4] STN EN 1992-1-1:2006 Navrhovanie betónových konštrukcií. Časť 1-1 – Všeobecné pravidlá a pravidlá pre pozemné stavby, 200 s.
- [5] STN EN 1992-3:2007 Navrhovanie betónových konštrukcií. Časť 3 – Nádrže na kvapaliny, zásobníky, 24 s.
- [6] Erläuterungen zur DAfStb-Richtlinie Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Berlin 2006, Heft 555, 52 s.
- [7] SKSI:2012 Smernica pre vodonepriepustné betónové konštrukcie – biele vane (SmeBV), 67 str.
- [8] LOHMAYER, G., EBELING, K. Weisse Wannen einfach und sicher. 9 überarbeitete Auflage, Verlag Bau + Technik, 2009, 461 s.
- [9] STN EN 13670: 2010 Zhotovovanie betónových konštrukcií, 64 s.
- [10] BILČÍK, J., HALAŠA, I. Speciálne požiadavky na vodonepriepustné časti betónových konštrukcií budov. *Beton TKS*, 2013, č. 1, s. 80–83
- [11] ŠMEJKAL, J., PROCHÁZKA, J. Výpočet šírky trhlín – 1. časť. *Beton TKS*, 2014, č. 6, s. 68–76
- [12] ŠMEJKAL, J., PROCHÁZKA, J. Výpočet šírky trhlín – 2. časť. *Beton TKS*, 2015, č. 1, s. 72–78
- [13] TIMM, G. Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton. *Beton- und Stahlbetonbau* 99 (2004), Heft 7, s. 514–519
- [14] BUSCHMEYER, W., ESSER, A. Entwurf von Flüssigkeitsbehältern Bemerkungen zur Anwendung der WU-Richtlinie. *Beton- und Stahlbetonbau* 104 (2009), Heft 5, s. 302–308
- [15] BUSCHMEYER, W., FASTABEND, M. Vorgespannter Stahlbeton. Bemerkungen zur internen Vorspannung ohne Verbund. *Beton- und Stahlbetonbau* 99 (2004), Heft 3, s. 176–185
- [16] BILČÍK, J., CHANDOGA, M. Zosilňovanie valcovitých betónových konštrukcií predpätím. *Beton TKS*, 2010, č. 3, s. 46–49
- [17] PERLA, J., BENKO, V., KENDICKÝ, P. Zesílení aktivních nádrží ČOV. In: *Sanace 2013*, Brno 15.–17. 5. 2013, s. 10–14

nia ferment, resp. metán neprenikajú do betónu, nezhrmažďujú sa medzi plášťom a betónovou konštrukciou a nedochádza k znečisteniu podzemných vôd, resp. pri kritickej koncentrácii k samovznieteniu. Trhliny v stene uľahčujú prienik agresívnych látok (vo forme kvapalín a plynov) z vnútra nádrže do betónového prierezu a k výstuži. Organický substrát v reaktore má pH v rozmedzí od 6 do 8. V betóne s pH < 10 dochádza k depasivácii povrchu ocelevej výstuže v betóne. Substrát a metán navyše obsahujú sírovodík. Oxidačné (sírne) baktérie sú za prítomnosti kyslíka schopné vyvolať premenu sírovodíka na kyselinu sírovú (H₂SO₄), ktorá urýchľuje koróziu betónu a výstuže. V stene nádrže treba uvažovať s týmito stupňami agresivity prostredia:

- vonkajší povrch betónu: XC2,
- vnútorný povrch betónu v styku so substrátom: XC4, XA1,
- vnútorný povrch betónu v styku so sírovodíkom: XC4, XA3.

Pre stupeň prostredia XA3 sa v tab. F.1 v STN EN 206-1 NA odporúča primárna a sekundárna ochrana betónu. Trhliny tu predstavujú významné ohrozenie trvanlivosti nádrže. Koncept BV je teda pre nádrže reaktorov z viacerých dôvodov nevhodný. Pri nádržiach so stupňom prostredia XA1 sa možno spoliehať na vodo- a plynonepriepustnosť betónu iba pri plnom predpätí (s tlakovou rezervou) nosných prvkov, ktoré zabráni vzniku trhlín na vnútornom povrchu betónu nádrží. Alternatívne možno zmenšiť pravdepodobnosť vzniku trhlín obmedzením napätia betónu v ťahu σ_{cm} na hodnotu [14], [15]:

$$\sigma_{cm}(G, W, P_{\infty}) \leq f_{ctk;0,05}$$

kde G je účinok vlastnej tiaže, W účinok náplne, P_{∞} účinok predpätia v čase $t = \infty$.

Predpínanie (aj dodatočné) stien nádrží lanami Monostrand, predovšetkým valcových nádrží, je pomerne jednoduchá a osvedčená metóda [16], [17].

Ako náhradu predpätia je možné použiť kombináciu BV a sekundárnej ochrany betónu pružným náterovým systémom alebo fóliou na vnútornom povrchu steny. Napríklad špeciálnou polyetylénovou fóliou, ktorá sa vkladá priamo na vnútornú stranu debnenia steny a zabezpečuje jej vodo- a plynonesnosť, čím chráni betón a výstuž pred agresívnymi účinkami ná-

plne nádrže [2]. V nádržiach, kde sa tvorí alebo skladuje bioplyn zodpovedajúci stupňu prostredia XA3, by mal byť vnútorný povrch nádrže chránený sekundárnou ochranou aj v prípade, že sa jedná o nádrž z predpätého betónu.

ZÁVERY

Nádrže sa navrhujú a zhotovujú ako vodo- alebo plynonepriepustné, resp. vodo- alebo plynotesné betónové konštrukcie. Napriek dlhoročným skúsenostiam s touto technológiou sa stále vyskytuje veľa porúch v dôsledku chýb pri ich navrhovaní a zhotovovaní. Najčastejšou príčinou porúch nádrží sú líniové priesaky cez deliace trhliny a pracovné škáry. Pri návrhu nádrží je dôležité okrem priamych zaťažení zohľadniť aj účinok nepriamych a environmentálnych zaťažení. V príspevku sa analyzujú možnosti na obmedzenie tvorby a rozvoja deliacich trhlín v nádržiach. Na zamedzenie priesaku deliacich trhlín v stenách:

- valcových nádrží sa osvedčilo plné predpätie stien nádrže predpinacími lanami bez súdržnosti,
- kvádrových nádrží sa odporúča využiť synergický účinok technologických opatrení na zníženie hydratačnej teploty a návrh betonárskej výstuže na kontrolu šírky trhlín.

V prípade, že napriek dodržaniu vyššie uvedených opatrení sa na konštrukciách prejavujú priesaky, umožňujú použitie vodonepriepustného betónu rýchlu lokalizáciu poruchy a pomerne jednoduché metódy na ich utesnenie. Tejto problematike sa autori chcú venovať v druhej časti príspevku.

Príspevok vznikol za podpory výskumného projektu VEGA 1/0583/15 „Analýza spoľahlivostných rizík navrhovania a zhotovovania betónových konštrukcií“.

prof. Ing. Juraj Bilčík, PhD.
Stavebná fakulta STU Bratislava
Katedra betónových konštrukcií
a mostov
e-mail: juraj.bilcik@stuba.sk



doc. Ing. Jiří Dohnálek, CSc.
Betonconsult, s. r. o.
e-mail: dohnalek@sanacebetonu.cz
www.betonconsult.cz



Text článku byl posouzen odborným lektorem.
The text was reviewed.

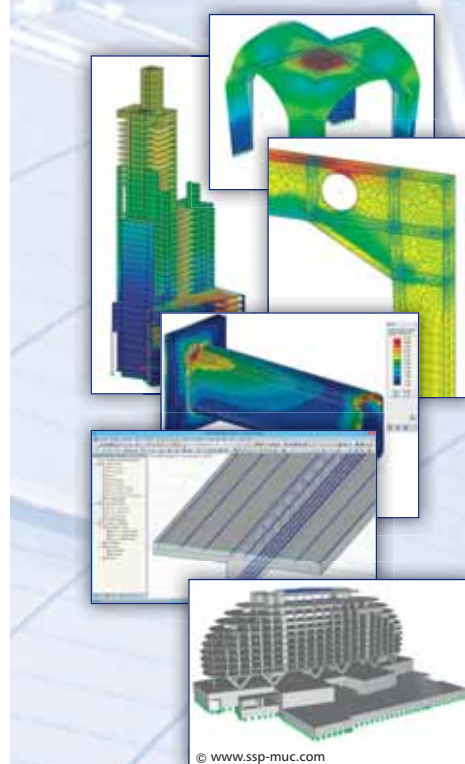


RSTAB 8

Program pro výpočet prutových konstrukcí

RFEM 5

MKP program pro výpočet 3D konstrukcí



Aktuální informace

- Eurokódy / Mezinárodní normy
- Nové přídatné moduly
- Export do 3D PDF
- Vizualizace výztuže v 3D modelu

www.dlupal.cz

Dlupal Software s.r.o.
Anglická 28, 120 00 Praha 2
Tel.: +420 227 203 206
www.dlupal.cz
info@dlupal.cz



Sledujte nás na:

