

TRVANLIVOST BETÓNOVÝCH NÁDRŽÍ BIOPLYNOVEJ STANICE

DURABILITY OF CONCRETE TANKS FOR BIOGAS PLANT

Juraj Bilčík, Július Šoltész,
Adolf Bajza

V mnohých prípadoch je betón vystavený silným účinkom environmentálneho zaťaženia, čo ovplyvňuje trvanlivosť konštrukcie. Norma ČSN/STN EN 206 sa zaoberá účinkami agresívnosti chemického pôsobenia zeminy a podzemnej vody. Na základe druhu a koncentrácie agresívnych látok ich zaraďuje do stupňov prostredia. Či a do akej miery sú kritériá pre zeminy a podzemné vody aplikovateľné na iné prostredia s chemickými účinkami na betón (čistiare odpadových vôd, bioplynové stanice a pod.) musí byť stanovené individuálne. V príspevku sa identifikujú látky napádajúce betón a oceľovú výstuž bioplynových nádrží a analyzujú možnosti ich primárnej a sekundárnej ochrany. ■ There are many situations where concrete is highly stressed by the environmental exposure which may affect the durability of the structure. The standard ČSN/STN EN 206 concerns with a chemical attack in ground soil and water and so defines the classification of the attack in exposition classes on basis of the type and concentration of the aggressive agents. Whether and to what extent the criteria for soils and groundwater are applicable to other fields with chemical attack on concrete (wastewater and biogas plants, etc.) must be determined individually. The paper deals with the presence of aggressive substances in biogas tanks that attack concrete and steel reinforcement, and analyses the effectiveness of primary and secondary protection.

TRVANLIVOSŤ BETÓNU

Betón ako najvšestrannejší a najrozšírenejší stavebný materiál má široké uplatnenie aj v poľnohospodárskych stavbách: podlahy ustajňovacích objektov, hnojovicové zariadenia, silá, silážne jamy a v posledných rokoch aj nádrže bioplynových staníc. Uvedené príklady uplatnenia betónu sa vyznačujú vyšším environmentálnym zaťažením, a preto často vyžadujú primárnu a/alebo sekundárnu ochranu.

Európske normy na navrhovanie a zhotovovanie betónových konštrukcií sa vzťahujú aj na poľnohospodárske stavby. ČSN/STN EN 206 obsahuje požiadavky na trvanlivosť betónových konštrukcií, ktoré sú v chemicky agresívnom prostredí rovnocenné s požiadavkami na ich bezpečnosť [1]. Konceptia trvanlivosti betónovej konštrukcie vystavenej účinkom chemicky ag-

Tab. 1 Odporúčané opatrenia na primárnu ochranu betónu proti síranovej agresivite (ČSN/STN EN 206/NA) ■ Tab. 1 Recommended measures for primary protection of concrete against sulphate aggression (ČSN/STN EN 206/NA)

Rozhodujúci stupeň vplyvu prostredia		XA1 ^{b)}	XA2 ^{b)}	XA3 ^{b)}
1	Maximálna hodnota vodného súčiniteľa w/c	0,55	0,5	0,45
2	Minimálna odporúčaná pevnostná trieda betónu	C25/30	C30/37	C35/45
3	Minimálny obsah cementu [kg/m ³]	300	320	360
4	Maximálny priesak vody stanovený podľa ČSN/STN EN 12390-8 [mm]	50		
5	Maximálna nasiakavosť betónu stanovená podľa ČSN/STN 73 1316	6 % hmotnosti		
6	Cement podľa ČSN/STN EN 206, Tab. F.2 pri síranovej agresivite ^{a)} SR 0 síranovzdorný (obsah C ₃ A v slinke = 0 %) SR 3 síranovzdorný (obsah C ₃ A v slinke ≤ 3 %) SR 5 síranovzdorný (obsah C ₃ A v slinke ≤ 5 %) SR síranovzdorný (bez požiadavky na C ₃ A)	CEM I – SR 0 CEM I – SR 3 CEM I – SR 5 CEM III/B – SR CEM III/C – SR CEM IV/A – SR CEM IV/B – SR	CEM I – SR 0 CEM I – SR 3 CEM III/B – SR CEM III/C – SR CEM IV/B – SR	CEM I – SR 0 CEM III/B – SR CEM III/C – SR

Poznámka:

^{a)} Použije sa tab. 2 ČSN/STN EN 197-1.

^{b)} Pri stupni vplyvu prostredia XA3, alebo ak hodnoty prekračujú medzné hodnoty uvedené v tab. 2 ČSN/STN EN 206, resp. za prítomnosti iných agresívnych chemikálií je potrebná sekundárna ochrana betónu. Pri dodržaní hodnôt riadkov 1 až 5 a druhu cementu podľa riadku 6 tejto tabuľky netreba použiť prísady a prímеси.

resívneho prostredia musí zohľadňovať požiadavku na zvýšenú odolnosť betónu (obr. 1).

Ak je betón vystavený chemickému pôsobeniu zeminy, podzemnej vody alebo odpadových vôd podľa tab. 1 ČSN/STN EN 206/NA, treba uvažovať vplyv prostredia stupňov XA1 až XA3. Medzné hodnoty pre stupne chemického pôsobenia zeminy a podzemnej vody uvádza tab. 2 ČSN/STN EN 206. Podkladom tejto klasifikácie je koncentrácia agresívnych látok v zemi, resp. podzemnej vode pri uplatnení obvyklých okrajových podmienok, ako je permanentná prítomnosť agresívnych látok, teplotný rozsah od 5 do 25 °C alebo prítomnosť stojacej, resp. pomaly prúdiacej podzemnej vody. Ak sa vyhodnocuje agresívnosť prostredia mimo zeminy a podzemnej vody, kde nie sú splnené uvedené okrajové podmienky, napr. pre chladiace veže, nádrže ČOV a BPS, môže byť táto stupnica aplikovaná iba v obmedzenom rozsahu.

Odporúčané medzné hodnoty zloženia a vlastností betónu pre jednotlivé stupne agresívnosti prostredia uvádza tab. F1 a F2 v ČSN/STN EN 206/NA. Pre síranovú agresivitu sú zhrnuté v tab. 1. Pri pôsobení agresívnych chemických látok, ktoré nie sú uvedené v tab. 2 ČSN/STN EN 206, alebo ak hodnoty prekračujú medzné hodnoty, sa ochranné opatrenia stanovujú podľa osobitného projektu.

Tab. 2 Zloženie bioplynu [8] ■ Tab. 2 Composition of biogas [8]

Plynné zložky bioplynu	Chemický vzorec	Objem [%]
metán	CH ₄	50 až 75
oxid uhličitý	CO ₂	25 až 45
vodná para	H ₂ O	2 až 7
dusík	N ₂	< 2
kyslík	O ₂	< 2
vodík	H ₂	< 1
sírovodík	H ₂ S	< 2

Obr. 1 Konceptia trvanlivosti betónovej konštrukcie podľa ČSN/STN EN 206 [2]

■ Fig. 1 Concept of concrete structures durability according to ČSN/STN EN 206 [2]

Obr. 2 Valcové železobetónové nádrže bioplynovej stanice [6] ■ Fig. 2 Circular concrete tanks for biogas plant [6]

Pri navrhovaní konštrukcií vystavených chemicky agresívnemu prostrediu je často problematická identifikácia látok napádajúcich nosné materiály a stanovenie stupňa ich chemickej agresívnosti, resp. rýchlosti korózie. Agresívnosť chemického prostredia pre betón vystavený kyselinám závisí na druhu kyseliny a hodnote pH [3].

Pri projektovaní treba overiť s akými látkami sa môže betón počas životnosti stavby dostať do kontaktu. Dôležitým parametrom návrhu je aj časové obdobie, počas ktorého sa požaduje splnenie návrhových kritérií medzných

stavov. Z tohto pohľadu je najdôležitejším údajom návrhová životnosť konštrukcie, ktorá primárne závisí od účelu stavby a je najčastejšie špecifikovaná investorom. Pre poľnohospodárske stavby uvádza ČSN/STN EN 1990 predpokladanú návrhovou životnosť od 15 do 30 rokov.

NÁDRŽE BIOPLYNOVÝCH STANÍC

Bioplynová stanica (BPS) je zariadenie na využitie energetického potenciálu organických odpadov. Povoľovanie, výstavba a prevádzka BPS sú často sprevádzané aj diskusiami a konfliktmi s užívateľmi susedných pozemkov. Aby sa tomu v budúcnosti zabránilo, treba šíriť a propagovať poznatky umožňujúce dlhodobú a bezporuchovú prevádzku týchto zariadení.

Nevyhnutnou súčasťou BPS sú najmä otvorené alebo zakryté valcové nádrže (obr. 2). Dno, steny i strop nádrží BPS sa najčastejšie zhotovujú z monolitického železobetónu. Pri ich návrhu je vhodné zohľadniť odporúčania smernice pre vodonepriepustné betónové konštrukcie [4], [5]. Jedná sa o technologické, konštrukčné a výrobné opatrenia na obmedzenie vzniku a šírkou trhlin a tesnosť pracovných škár. Problematiký je styk steny s dnom a stropom, ako aj samotný strop. Ten sa väčšinou betónuje v jednom cykle, bez pracovných škár.

V závislosti od použitej vstupnej suroviny na výrobu bioplynu sa môžu funkcie nádrží odlišovať. Jedná sa najčastejšie o tieto typy nádrží:

- homogenizačná nádrž na zber a premiešanie vstupnej suroviny (hnoj/hnojovica alebo rastlinná siláž),
- primárny a sekundárny fermentor so stropom alebo pri skladovaní bioplynu s plynotesným fóliovým krytom,

- koncový sklad pre fermentovaný substrát.

Nádrže BPS majú z prevádzkových a staticko-konštruktívnych dôvodov najčastejšie valcovitý tvar. Plášť železobetónovej nádrže má výšku 6 až 9 m, priemer do 40 m a hrúbku 0,25 až 0,3 m. Na zhotovenie valcových nádrží z monolitického betónu sa používa veľkoplošné stenové kruhové debnenie [7]. Vo vysokých, úzkych stenách pôsobí pomerne veľký tlak čerstvého betónu a problematické je aj ukladanie a zhutňovanie betónu zhora. Vhodné je preto plnenie debnenia samozhutniteľným betónom odspodu. Tento spôsob betónovania má viaceré výhody (vylúčenie zhutňovania, nedochádza k segregácii, dokonalejšie obalenie výstuže, kvalitnejší povrch stien). Rýchlosť betonáže sa môže kontrolovať a usmerňovať monitorovaním ťahových síl v kotvách debnenia.

Pri návrhu nádrže podľa ČSN/STN EN 1992-1, resp. ČSN/STN EN 1992-3 treba zohľadniť nasledovné priame a nepriame zaťaženia a účinky:

- vlastná tiaž nádrže,
- tiaž a vibrácie strojnotechnologického zariadenia,
- tiaž a tlak náplne,
- tiaž zakrytia nádrže,
- tlak zeminy pri zapustených alebo podzemných nádržiach,
- napätia od objemových zmien betónu (hydratácia betónu, teplotné zmeny počas prevádzky),
- vztlak podzemnej vody,
- obmedzenie šírky trhlin (vodonepriepustnosť),
- pretlak, resp. podtlak vo fermentore,
- účinky seizmicity.

Navyše sú nádrže vystavané environmentálnemu zaťaženiu (fyzikálne a chemické účinky prostredia), ktoré

môže ohroziť ich odolnosť, použiteľnosť i trvanlivosť.

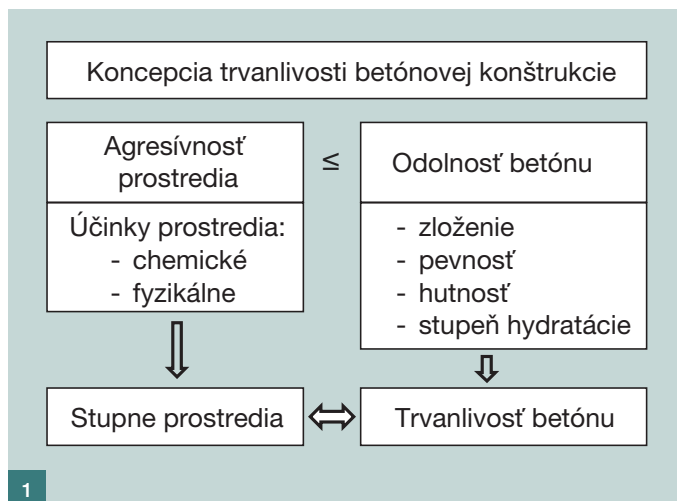
Nádrž primárneho a sekundárneho fermentora

Srdcom bioplynovej stanice je nádrž fermentora, kde za anaeróbných podmienok prebieha rozklad organických látok. Fermentoru treba venovať zvláštnu pozornosť, lebo pri fermentácii dochádza aj k uvoľňovaniu agresívnych plynov – amoniaku a sírovodíka, ktoré vyvolávajú riziko výbuchu a urýchľujú koróziu nosných materiálov. Optimálna teplota pre fermentáciu sa pohybuje medzi 35 až 55 °C. Na udržanie tejto teploty má plášť fermentora vonkajšiu tepelnú izoláciu, ktorú však nemožno považovať za ochrannú vrstvu zvyšujúcu trvanlivosť betónu.

Ak premena biologicky rozložiteľného odpadu prebieha bez prístupu vzduchu (anaeróbna digestcia), dochádza k vzniku bioplynu. Ten sa skladá predovšetkým z metánu a oxidu uhličitého (tab. 2).

Upravený bioplyn sa využíva ako zdroj obnoviteľnej energie na výrobu elektrickej energie alebo tepla. Zvyšok biomasy je vysokohodnotné organické hnojivo.

Všeobecne možno konštatovať, že kvapalná fáza náplne fermentora predstavuje menšiu agresívnosť biogénnej kyseliny na betón ako plynná fáza. Za určitých okolností dochádza k tvorbe kyseliny sírovej, kyseliny uhličitej, sírniku železnatého a vo vode rozpustných solí. Zároveň prebieha karbonatácia betónu. Pôsobením uvedených účinkov dochádza k degradácii betónu (pokles pH, nárast plynopriepustnosti, korózia a znižovanie hrúbky betónovej krycej vrstvy), čo môže spôsobiť aj depasiváciu a koróziu betonárskej výstuže [3].



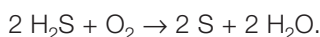


Obr. 3 Nádrž koncového skladu s membránou na uskladnenie bioplynu ■
Fig. 3 Terminal storage tank with a membrane roof for biogas storage

Obr. 4 a) Stena fermentora so širokou trhlinou, b) hnedé až čierne výluhy digestátu ■
Fig. 4 a) Digester tank wall with a wide crack, b) brown to black digestant leakage

Odpadový substrát z rastlinnej, resp. živočíšnej výroby a produkty ich kvasenia predstavujú v kvapalnej fáze pre betón chemicky slabé, resp. stredne agresívne prostredie (XA1, resp. XA2), s pH od 6 do 8 pri jednostupňových, resp. od 4,5 do 6,3 pri dvojestupňových reaktoroch.

Nad substrátom vznikajúci bioplyn obsahuje sírovodík (H_2S). Oxidačné (sírne) baktérie za prítomnosti kyslíka oxidujú sírovodík na biogénnu kyselinu sírovú (H_2SO_4). Tá vytvára silno agresívne chemické prostredie (XA3) s teoretickou hodnotou $pH \geq 1$, čo významne urýchľuje koróziu betónu a výstuže. Účinky a rýchlosť pôsobenia biogénnej sírovej korózie betónu uvádza napr. [9]. V súvislosti so zvýšenou teplotou vo fermentore je zrejmé, že trvanlivosť a bezporuchová prevádzka nádrží si vyžadujú zvýšenú pozornosť projektanta, zhotoviteľa i prevádzkovateľa BPS. Na zníženie agresívnosti bioplynu sa používajú rôzne metódy na jeho odsírenie. Najčastejšie sa za týmto účelom do priestoru s uskladneným plynom vháňa 3 až 8 % objemu čerstvého vzduchu z celkového objemu bioplynu. Chemickou reakciou – oxidáciou sírovodíka vzniká nerozpustná síra:



Z uvedeného vyplývajú minimálne požiadavky na špecifikáciu betónu fermentorov [2]:

- v oblasti kvasenia substrátu v kvapalnej forme:
 - XA1 pre kvasenie substrátu z rastlinnej výroby,
 - XA2 pre kvasenie substrátu zo živočíšnej výroby,
 - XC2 vnútorný povrch nádrže,
 - XC3 vonkajší povrch nádrže pod tepelnou izoláciou,

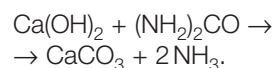
- hrúbka betónovej krycej vrstvy pri oboch povrchoch zodpovedajúca XC4,
- vodonepriepustný betón (maximálny priesak 50 mm podľa ČSN/STN EN 12390-8),
- v oblasti skladovania plynu:
 - XA3 so sekundárnou ochranou vnútorného povrchu nádrže,
 - alternatívne oddelenie nosnej a ochrannej funkcie (napr. chemicky odolná výstelka)*,
 - špeciálne technické postupy a prevádzkové opatrenia na zabránenie korózie biogénnou kyselinou sírovou (v tomto prípade možno znížiť stupeň chemickej agresivity XA)**,
 - XC3 vnútorný povrch nádrže,
 - XC3 vonkajší povrch nádrže pod tepelnou izoláciou,
 - hrúbka betónovej krycej vrstvy pri oboch povrchoch zodpovedajúca XC4,
 - XF1 na vonkajšom povrchu v miestach bez tepelnej izolácie,
 - vodo- a plynonepriepustný betón ($w/c \leq 0,45$).

To znamená, že v oblasti anaeróbneho kvasenia substrátu z rastlinnej výroby (XA1) sa odporúča trieda pevnosti betónu $\geq C25/30$, kým v oblasti skladovania plynu (XA3) trieda $\geq C35/45$. V prípade realizácie opatrení (*) alebo (***) je možné použiť betón nižšej triedy. Treba si však uvedomiť, že vo všeobecnosti majú výstelky menšiu životnosť ako betón.

Všeobecnou podmienkou pre plynonepriepustnosť nádrže je použitie betónu s $w/c \leq 0,45$, ako aj účinné spracovanie a ošetrovanie betónu. Predĺžené ošetrovanie betónu (trieda ošetrovania 3 alebo 4 podľa ČSN/STN EN 13670) je účinný prostriedok na zlepšenie kvality betónového povrchu. Prípadné trhli-

ny sa musia utesniť. Skoré trhliny (z poklesu hydratačného tepla) v plášti vodou naplnenej nádrže (skúška vodonepriepustnosti) sa v závislosti od okrajových podmienok (šírka trhlín, hrúbka plášťa, tlak vody) môžu do šiestich týždňov samé utesniť. Po tomto čase presakujúce trhliny treba utesniť kombináciou predpätia plášťa a injektážou trhlín. Pri presakovaní kvapalnej fázy, resp. pri kontakte s plynnou fázou fermentácie nemožno počítať so samoutesňovaním trhlín v betóne. Vodo- a plynotesnosť nádrže sa dá dosiahnuť použitím špeciálnych pružných náterových systémov (napr. na báze polyurea) alebo PE fólií [7].

V odbornej literatúre sú protichodné informácie o vplyve močoviny na zatvrdnutý betón. Na betóne vystavenom 49 dní močovine nebolo zistené makroskopické, či mikroskopické porušenia betónu [10]. Dokonca aj pri viacročnom uložení bola preukázaná odolnosť betónu pri styku s močovinou [11]. Prítomnosť hydroxidu vápenatého v betóne vytvára zásadité prostredie, ktoré chráni ocelovú výstuž pred koróziou. Ak prichádza hydroxid vápenatý do styku s močovinou, prebehne reakcia [12]:



Ak vznikajúci čpavok nie je včas odvedený, môže vznikáť aj kyselina dusičná. V tom prípade treba pre betón uvažovať stupeň prostredia XA3. Navyše reakcia hydroxidu vápenatého s močovinou znižuje alkalitu betónu, čím sa vytvárajú podmienky pre koróziu výstuže. V prípade styku železobetónovej konštrukcie s odpadom zo živočíšnej výroby je preto oprávnené jej zaradenie do stupňa XA2.

Ostatné nádrže BPS

Pri špecifikácii betónu nádrží na zber, skladovanie a premiešanie vstupných surovín, ako aj fermentovaného substrátu možno postupovať podobne, ako pre nádrže fermentora. Pri stanovení stupňov agresívnosti prostredia sa zohľadní najmä druh vstupnej, resp. výstupnej suroviny a technologický proces prebiehajúci v nádrži. V otvorených nádržiach a bunkroch je siláž vystavená vonkajšej poveternosti. Pri daždi dochádza k vylúhovaniu fermentovaných organických kyselín zo siláže, ktorých agresívnosť narastá. Navyše zmrazovacie a rozmrazovacie cykly zosilňujú účinok zriedených fermentačných kyselín.

Pre steny otvorených nádrží, resp. bunkrov v kontakte so silážou platia na špecifikáciu betónu tieto minimálne požiadavky:

- XA3 so sekundárnou ochranou vnútorného povrchu,
- hrúbka betónovej krycej vrstvy pri oboch povrchoch zodpovedajúca XC4,
- XF1 pri oboch povrchoch,
- odporúčaná pevnostná trieda betónu \geq C35/45.

Pri návrhu nádrží koncových skladov so stropom alebo s fóliovým krytom na uskladnenie plynu sa použije špecifikácia betónu ako pre fermentory [2].

APLIKÁCIA HPC A UHPC

O vodonepriepustnosti a teda aj trvanlivosti betónu rozhodujú mikroštruktúra cementovej matrice a prechodnej zóny. Vztlivnosť a nasiakavosť betónu závisí predovšetkým od obsahu kapilárnych pórov v cementovej matrici. Základným opatrením na zníženie vodopriepustnosti betónu je znížiť obsah kapilárnych pórov. To sa dosiahne nižšou dávkou zámesovej vody a kvalitou ošetrovania betónu. Na základe zloženia a štruktúry cementového kameňa vyvoláva voda napučovanie betónu, ktoré obmedzuje jej prienik. Pri organických kvapalinách sa tento efekt neprejavuje, priesak ovplyvňuje predovšetkým veľkosť molekúl kvapaliny [13] a fyzikálne podmienky, ako sú napr. teplota, tlak a rýchlosť prúdenia kvapaliny.

V posledných dvoch dekádach bol dosiahnutý pozoruhodný pokrok v oblasti technológie betónu. Vysoko hodnotný betón (HPC) s pevnosťou vyše 50 MPa je výrazne hutnejší a má nižšiu permeabilitu, a tým aj trvanlivosť ako obyčajný betón (NC). Vývoj ultra vysoko-

hodnotného betónu (UHPC) s pevnosťou v tlaku vyše 150 MPa priniesol aj výrazné zvýšenie trvanlivosti betónu, ktorá je spojená so zvýšeným odporom proti prenikaniu agresívnych plynov a kvapalín.

Permeabilitu betónu ovplyvňuje mikroštruktúra cementovej matrice a rozhrania medzi ňou a kamenivom (prechodná zóna). Prechodná zóna je najslabšou fázou betónu. Jej vlastnosti závisia od druhu a množstva hydratačných produktov, charakteru pórovej štruktúry a mikrotrhlín. Prechodná zóna vysokohodnotného betónu je oveľa hutnejšia a pevnejšia ako v obyčajnom betóne. Zlepšenie mikroštruktúry HPC a UHPC sa dosahuje použitím nízkeho vodného súčiniteľa (w/c), vhodných chemických prísad, puzolánovou reakciou a filerovým efektom minerálnych prímiesí. Porovnanie parametrov priepustnosti a trvanlivosti NC, HPC a UHPC poskytuje tab. 3.

VPLYV TRHLÍN NA TRVANLIVOSŤ NÁDRŽÍ

V nádržiach BPS sa vyskytujúca mo-

čovka, hnojovica a silážne štavý sú zaradené medzi kvapaliny ohrozujúce životné prostredie. Betón, ktorý má v nádrži nosnú aj tesniacu funkciu musí popri odolnosti a trvanlivosti nádrží zabezpečiť aj ochranu životného prostredia, t. j. aby sa tieto kvapaliny nekontrolovane nedostali do styku s podzemnou vodou.

Vodonepriepustnosť betónu nezaručuje, že z neho vyrobená konštrukcia je nepriepustná pre kvapaliny. Na betónových nádržiach sa často prejavujú líniové priesaky cez trhliny a škáry. Pri priesaku vody dochádza v trhlínach, najmä v dôsledku tvorby uhličitanu vápenatého (CaCO_3), za určitých okolností k samoutesneniu trhlín. Pri priesaku kvapalín z nádrží BPS sa trhliny zužujú najmä následkom usadzovania nečistôt a k samoutesneniu väčšinou nedochádza [15].

Analýzou príčin vzniku a šírky deliacich trhlín v stenách betónových nádrží sa podrobnejšie zaoberá článok [16]. Závažnosť výskytu presakujúcich trhlín z hľadiska spoľahlivosti nádrží BPS možno dokumentovať poruše-

Tab. 3 Parametre priepustnosti a trvanlivosti NC, HPC a UHPC [14] ■ Tab. 3 Permeability and durability characteristics of NC, HPC and UHPC [14]

Parameter		NC C35/45 EN 206	HPC C100/115	UHPC
celková pórovitosť	[%]	približne 15	približne 8	4 až 6
kapilárne póry	[%]	približne 8	približne 5	1,5 až 2
permeabilita dusíka	[m ²]	10 ⁻¹⁶	10 ⁻¹⁷	< 10 ⁻¹⁸
difúzia chloridov – hĺbka vniknutia	[mm]	23	8	1
hĺbka karbonatácie betónu po troch rokoch	[mm]	7	4	1,5
odolnosť proti zmrazovacím a rozmrazovacím cyklom – strata hmotnosti	[g/m ²]	< 1 500	150	20 až 50
faktor absorpcie vody	[-]	60	11	11



Literatúra:

- [1] THIENEL, K. CH. *Werkstoffe des Bauwesens – Dauerhaftigkeit von Beton*. Universität der Bundeswehr München, 2011, 49 s.
- [2] BOSE, T. *Landwirtschaftliches Bauen – Chemische Angriffe bei landwirtschaftlichen Betonbauten. 8. Symposium Baustoffe und Bauwerksunterhaltung*. Karlsruher Institut für Technologie (KIT), 17. März 2011, s. 59–71.
- [3] KÖNIG, A., RASCH, S., NEUMANN, T., DEHN, F. Betone für biogenen Säureangriff im Landwirtschaftsbau. *Beton- und Stahlbetonbau*. 2010, 105, Heft 11, s. 714–724.
- [4] *Smernica pre vodonepriepustné betónové konštrukcie – biele vane (SmeBV)*. SKSI, 2012, 67 s.
- [5] *Technická pravidla ČBS 04. Vodonepropustné betonové konštrukcie*. Praha: ČBS ČSSI, 2015, 93 str.
- [6] BOSE, T. *Biogasanlagen. Behälter aus Stahlbeton*. Beton Marketing Süd Bauberatung.
- [7] MILICH, J., KOCOUREK, R. Výstavba kruhových monolitických železobetonových nádrží. *Beton TKS*. 2012, roč. 12, č. 3, s. 32–35.
- [8] TEBBE, H., JESKO, G., SIEBERT, B. Landwirtschaftliches Bauen – Chemischer Angriff auf Betonbauwerke. *Beton – Kalender 2016*, s. 937–973.
- [9] TEPLÝ, B., SCHEJBAL, R., ŘOUTIL, L., PARKAN, T., ROVNANÍKOVÁ, M. Spolehlivost a životnost betonového kanálikového potrubí – možnosti výpočetního modelování. *Beton TKS*. 2015, roč. 15, č. 5, s. 18–24.
- [10] NACKE, U., HORNIG, U., DEHN, F. Selbstdichtungsverhalten von Trennrissen in Stahlbetonkonstruktionen unter Einwirkung von landwirtschaftlichen Flüssigkeiten. *Beton- und Stahlbetonbau*. 2014, 109, Heft 8, s. 513–523.
- [11] BICZÓK, I. *Concrete corrosion, concrete protection*. Akadémia kiadó, Budapest, 1972, 545 p.
- [12] BAJZA, A., BILČÍK, J. Granulačná veža močoviny v Dusle Šafa. In: *Zborník z 8. seminára Sanácia betónových konštrukcií*. Smolenice 3.–4. 12. 2013, s. 39–44.
- [13] GUSE, U. Beton in LAU-Anlagen. 8. *Symposium Baustoffe und Bauwerksunterhaltung*. Karlsruher Institut für Technologie (KIT), 17. März 2011, s. 73–82.
- [14] SCHMIDT, M., FEHLING, E. Ultra-High-Performance Concrete: Research, Development and Application in Europe. In: *Seventh international symposium on the utilization of high-strength/high-performance concrete*. Washington, USA: ACI, 2005.
- [15] SIEBERT, B. Betonbau bei chemischem Angriff – neue DBV-Arbeitshilfen. *Beton- und Stahlbetonbau*. 2015, 110, Heft 7, s. 489–494.
- [16] BILČÍK, J., DOHNÁLEK, J. Analýza, diagnostika a sanácia trhlín v stenách betónových nádrží. *Beton TKS*. 2015, roč. 15, č. 3, s. 26–31.

ním stien nádrží, ktoré boli zaznamenané na nových, resp. nedávno spre-vádzkovaných nádržiach. Dno a steny nádrže sa spravidla navrhujú na limitnú šírku trhlin 0,2 mm [15]. Aj keď sa podarí dodržať túto šírku trhlín, je po-uzítateľnosť a trvanlivosť nádrže ohro-zená. To sa týka predovšetkým nádrží bez izolácie na vnútornom povrchu, ale aj prípadov ak vzniknú trhliny aj na izolácii.

Extrémne, až havarijné situácie vznikajú, ak poddimenzovaná vodorovná výstuž steny sa dostane do plastického stavu, čo má za následok nadmer-né šírky trhlín (obr. 4a). Namiesto bie-lych výluhov hydroxidu vápenatého na vonkajšom povrchu nádrže naplnenej vodou vznikajú na nádrži fermentora hnedé až čierne výluhy digestátu (vy-hnitý biokal, obr. 4b) (stena nádrže bola predopnutá až po vzniku trhlín).

Pri nádržiach vystavených stupňu prostredia XA1 až XA2 sa možno spo-liehať primárne na ochranné opatrenia a vodo- a plynonepriepustnosť betónu iba v prípadoch, ak v betóne nevznik-nú trhliny, resp. sa použijú sekundárne ochranné opatrenia. Zabránenie vzni-ku trhlín v stenách valcových nádrží je prakticky možné iba pri plnom pred-pätí stien [15]. V nádržiach so stupňom prostredia XA3 treba kombinovať pri-márne a sekundárne ochranné opat-renia aj u predpätých nádrží.

SEKUNDÁRNA OCHRANA BETÓNU

Na základe vyššie uvedených problé-

mov s trvanlivosťou, resp. nepriepust-nosťou betónu je možné urobiť záver, že nosná, resp. ochranná a tesniaca funkcia betónu nádrží BPS by sa ma-li oddeliť. Ochrannú a tesniacu funkciu by mala zabezpečovať sekundárna ochrana. Pri stupni vplyvu prostredia XA3 predpisuje ČSN/STN EN 206/NA sekundárnu ochranu. Pod sekundár-nou ochranou sa rozumie obmedzenie alebo vylúčenie pôsobenia agresívne-ho prostredia na betónovú konštrukciu opatreniami urobenými po jej zhotove-ní. Sekundárna ochrana na vnútornom povrchu nádrže by mala prekryvať trh-liny s periodickou zmenou šírky a mať primeranú chemickú a mechanickú odolnosť. Na tento účel sa v nádr-žiach BPS najčastejšie používa špeciál-na polyetylénová fólia (HD-PE), ktorá sa vkladá na vnútornú stranu debnenia. Podrobnejšie údaje o fólii sa uvádzajú v [7].

Na povrchovú ochranu betónu v che-micky agresívnom prostredí sa dlhodo-bo používajú aj náterové systémy, kto-ré definuje ČSN/STN EN 1504-2. Ako spojivo pre nátery sa používajú rôz-ne organické polyméry (napr. akryláto-vé), kopolyméry (napr. styrenakryláto-vé), epoxidové alebo polyuretánové ži-vice a pod. Pri výbere náterového sys-tému na sekundárnu ochranu nádrží musia byť splnené požiadavky uvede-né v predošlom odseku. V minulosti bol problém s kombinovaním požiada-viek na pružnosť a mechanickú odol-nosť náteru. V posledných rokoch sa osvedčili dvojzložkové polymočovino-

vé nátery (polyurea), ktoré spĺňajú všet-ky požiadavky na sekundárnu ochra-nu nádrží BPS. Orientačné technické vlastnosti pri hrúbke náterového sys-tému 2 mm:

- kapilárna nasiakavosť a prepúšťanie vody $w = 0,01 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}^{0,5}$,
- priepustnosť pre CO_2 : $S_D = 285 \text{ m}$,
- dlhodobá odolnosť proti zriedeným zásadám a kyselinám do $+40 \text{ }^\circ\text{C}$,
- prekryvanie trhlín v podklade: pre plynulé otváranie trhliny trieda A5 ($> 2,5 \text{ mm}$), pre periodické zmeny šírky trhliny trieda B4.1 ($\leq 0,5 \text{ mm}$),
- trvalá odolnosť proti oderu podľa Ta-bera: úbytok hmotnosti $< 200 \text{ mg}$.

Výsledné vlastnosti náterových systé-mov s certifikátom CE podľa ČSN/STN EN 1504-2 udávajú výrobcovia v tech-nických listoch. Vzhľadom na rýchle tuhnutie, vysokú rozťažnosť, chemic-kú odolnosť a protibrazívne vlastnos-ti majú polymočovinové nátery viaceré výhody oproti štandardným pružným náterovým systémom.

ZÁVERY

Bioplynové stanice sa v posledných rokoch stávajú významným výrobným odvetvím v poľnohospodárstve a ma-jú rastúci podiel aj na výrobe tepelnej a elektrickej energie. Obvodové prvky nádrží BPS sú vystavené kvapalným a plyným produktom kvasenia sub-strátov z rastlinnej a živočíšnej výroby. Príspevok poskytuje prehľad o zlože-ní a agresívnosti látok, ktoré prichádzajú do styku s betónom. Uvádzajú sa opatrenia na primárnu a sekundár-

nu ochranu betónu nádrže fermentora i ostatných technologických nádrží proti síranovej korózii. Výrazné zvýšenie trvanlivosti betónu voči uvedeným účinkom je možné dosiahnuť použitím HPC a UHPC. Trvanlivosť alebo tesniaca funkcia kvalitného betónu môžu byť porušené trhlinami. Ani vodonepriepustnosť kvalitných betónov, resp. dosiahnutie projektovanej šírky trhlín (< 0,2 mm) nezabránia dlhodobému priesaku agresívnych kvapalín cez deliace trhliny v nádržiach vystavených prostrediu XA1 a XA2. V tomto prípade treba urobiť opatrenia na zabránenie vzniku trhlín (predpätie), prípadne kombinovať primárnu i sekundárnu ochranu betónu. Vodo- a plynutesnosť nádrží sa dosiahne použitím špeciálnych pružných náterových systémov alebo fólií na vnútorné povrchy betónu. V prostredí XA3 sa predpisujú aj v prípade, že sa jedná o nádrže bez trhlín (napr.

predpätý betón). Vzhľadom na problémy s trhlinami a agresívnosť prostredia je použitie sekundárnej ochrany účinný prostriedok na zabezpečenie použiteľnosti a trvanlivosti betónových nádrží BPS.

Keďže v súčasnosti neexistuje všeobecne uznávaná metodika skúšania odporu betónu proti účinkom prostredia bioplynových nádrží, je hodnotenie chemickej agresívnosti, ako aj odhad vývoja korózie betónu a výstupu spojené s viacerými neistotami. Na základe uvedeného sa odporúča stav primárnej a sekundárnej ochrany betónu nádrží BPS monitorovať a v prípade potreby sekundárnu ochranu obnovovať.

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. Július Šoltész, PhD.
Stavebná fakulta STU Bratislava
Katedra betónových konštrukcií
a mostov
e-mail: julius.soltesz@stuba.sk



prof. Ing. Adolf Bajza, PhD.
Stavebná fakulta STU Bratislava
Katedra materiálového inžinierstva
e-mail: adolf.bajza@stuba.sk



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

VÁPNO, CEMENT, EKOLOGIE 2016 – ODBORNÝ SEMINÁŘ

Odborný seminář Vápno, cement, ekologie pořádá Výzkumný ústav maltovin Praha, s. r. o., každý rok na konci jara již od roku 1993. U zrodu myšlenky pravidelně se potkávat a vyměňovat si zkušenosti stál v té době významný český odborník v oblasti vápenictví pan Arnošt Tuček.

Záměrem těchto setkání byla a je vzájemná výměna zkušeností odborníků z cementářského a vápenického průmyslu v České republice i na Slovensku. Náplň přednášek k aktuálním tématům začínají mj. delegáti z řad Ministerstva životního prostředí ČR a Ministerstva průmyslu a obchodu ČR a zástupci certifikačních a certifikačních institucí.

Letošní seminář se konal ve dnech 16. až 18. května 2016 v hotelu Skalský dvůr v Lísku u Bystřice nad Pernštejnem a navštívilo jej přes 110 účastníků.

Odbornými garanty semináře byli prof. RNDr. Pavla Rovnaníková, CSc., z VUT v Brně a Ing. Jan Gemrich z Výzkumného ústavu maltovin Praha, s. r. o. Obsah příspěvků se soustředil na dvě hlavní témata:

- **Emise skleníkových plynů (GHG) a biomasa**
 - Změny a příprava systému EU ETS po roce 2020
 - Tuhá alternativní paliva – validace a stanovení obsahu biomasy
 - Zkušenosti z verifikace skleníkových plynů ve vápenickém a cementářském průmyslu
- **Katalytická a nekatalytická redukce NO_x a úniky NH₃**
 - Provozní zkušenosti s oxidy dusíku a amoniakem v cementárnách

Předsedající semináře – Ing. Petr Hrbek a Ing. Jan Gemrich (zleva)



Odborní garanté semináře – prof. RNDr. Pavla Rovnaníková, CSc., a Ing. Jan Gemrich



Z dalších přednášek byly zařazeny např. Manipulace a skladování tuhých alternativních paliv, Správnost a přesnost rentgenových difrakčních analýz Rietveldovou metodou a automatizace fázových analýz v cementárnách, Vylepšování geomechanických vlastností zemín vápnem ad.

Přednáškový sál



Prostor předsalí určený pro firemní prezentace



Cimbálová muzika Podluží



Během semináře se našel čas i na oddychovější část programu v podobě exkurze na státní zámek Rájec-Jestřebí na Blansku a večerního vystoupení cimbálové muziky Podluží.

Tradice tohoto odborného semináře bu-

de jistě pokračovat, a proto se již nyní začíná pozvolna organizovat 24. ročník, který proběhne v roce 2017. Informace o místě a termínu konání naleznete včas na stránkách www.vumo.cz v aktualitách.

Připravili: Ing. Stanislava Rollová a redakce