

# ÚČINKY KORÓZIE VÝSTUŽE NA SPOLÁHLIVOSŤ BETÓNOVÝCH KONŠTRUKCIÍ ■ EFFECT OF REINFORCEMENT CORROSION ON RELIABILITY OF CONCRETE STRUCTURES

Juraj Bilčík, Ivan Holly

V príspevku sa životnosť modeluje ako pasívne, resp. aktívne štádium korózie výstuže a rozlišujú sa poruchy z hľadiska medzných stavov použiteľnosti a únosnosti. Uvádzajú sa rovnice na stanovenie pravdepodobnosti karbonatáciou betónu iniciovanej depasivácie výstuže a rozvoja trhlin v dôsledku jej korózie. V priebehu korózie sa prejavujú ďalšie poruchy, ako plošné alebo lokálne zmenšenie prierezovej plochy výstuže, odpadávanie krycej vrstvy a redukcia súdržnosti. ■ In the paper the service life is modelled as the initiation and propagation of reinforcement corrosion; serviceability and structural failures are distinguished. The equations of probability of failure for carbonation and crack opening due to reinforcement corrosion are presented. The major failures generated by the corrosion process are general or local reduction of cross-sectional area of reinforcement, spalling of cover layer and reduction of bond strength.

Navrhovanie betónových stavieb sa sústreďuje predovšetkým na účinky priameho zaťaženia pre odolnosť a použiteľnosť konštrukcií. V súvislosti s používaním nových technológií (napr. biele vane), požiadavkami na predĺženie životnosti a zvýšenou agresívnosťou prostredia sa v posledných rokoch stále častejšie zohľadňujú aj účinky nepriameho, mimoriadneho a environmentálneho zaťaženia. Dlhodobý účinok environmentálneho zaťaženia (fyzikálne, chemické a biologické účinky prostredia) spôsobuje degradáciu betónu a výstuže. Navrhovanie na medzné stavy trvanlivosti podľa STN ISO 13823 [1] vyžaduje realistické a dostatočne presne definované environmentálne zaťaženia, materiálové vlastnosti a degradačné modely. Takýto holistický prístup k navrhovaniu a hodnoteniu betónových konštrukcií je vhodné použiť predovšetkým na zvlášť významné stavby infraštruktúry, nakoľko sa väčšinou jedná o železobetónové konštrukcie so zvýšenou životnosťou a veľkým pomerom medzi plochou vystavenou obklopujúcemu prostrediu a prierezovými rozmermi.

Jednou z dominantných príčin straty spoľahlivosti betónových konštrukcií je korózia výstuže, ktorá vyvoláva poruchy spojené s medznými stavmi použiteľnosti (MSP) a v ďalšom priebehu aj medznými stavmi únosnosti (MSÚ). Napriek skutočnosti, že sa problematike manažérstva, prognózovania a hodnotenia betónových konštrukcií venovali viaceré európske vedecké projekty, napr. DuraCrete [2], LIFECON [3], chýbajú všeobecne akceptované pravdepodobnostné modely degradácie pre aktívne štádium korózie výstuže a postupy na stanovenie zostatkovej životnosti.

Eurokódy zabezpečujú trvanlivosť na základe normatívneho návrhu (prescriptive design). V EC 2 [4] účinky environmentálneho zaťaženia predstavujú stupne agresívnosti prostredia a odolnosť konštrukcie zaisťujú konštrukčné a technologické opatrenia. Takúto zjednodušenú koncepciu zodpovedajúcu strednej hodnote návrhovej životnosti 50 rokov, nie je možné použiť na modelovanie degradácie, kde ako zaťaženie, tak aj odolnosť konštrukcie, sú časovo závislé veličiny s určitým rozptylom. Technologické požiadavky uvedené v EN 206-1 [5] sa zakladajú na skúsenostiach. Inžiniersky návrh na trvanlivosť, t.j. výpočtové overenie doby životnosti sa nepredpokladá. Tak sa môže stať, že návrh

na životnosť 10, resp. 100 rokov je nevhodný, resp. nevyhovujúci. Ďalším nedostatkom normatívneho návrhu je, že projektant nepozná pravdepodobnosť, s akou je návrhová hodnota prekročená, alebo podhodnotená a ani mieru bezpečnosti medzi odolnosťou betónu a účinkami prostredia (ďalej definovaná ako  $\beta \cdot \sigma_G$ ). Tieto pojmy sa v praxi bežne nepoužívajú, aj keď STN EN 1990 [6] zaviedla manažérstvo spoľahlivosti stavieb s využitím pravdepodobnostných metód, zohľadňujúcich náhodný charakter parametrov zaťaženia a odolnosti.

Použitím výkonnostného návrhu (performance based design) je možné uvedené nedostatky odstrániť. Vzhľadom na jeho komplexnosť nájde využitie najmä pri stavbách s mimoriadnym prevádzkovým alebo národohospodárskym významom. Výkonnostný návrh výrazne mení úlohu projektanta, ktorý musí pri návrhu konštrukcie poznať a zohľadniť viaceré vlastnosti prostredia a betónu s ich štatistickými parametrami.

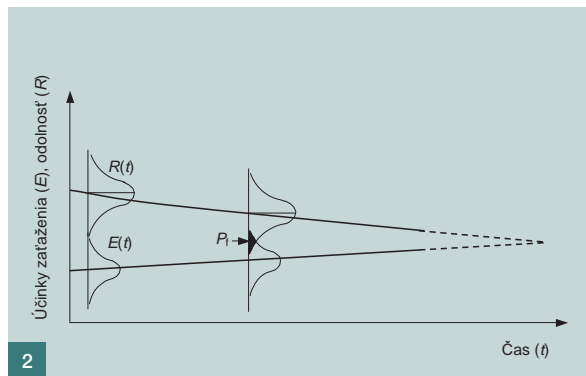
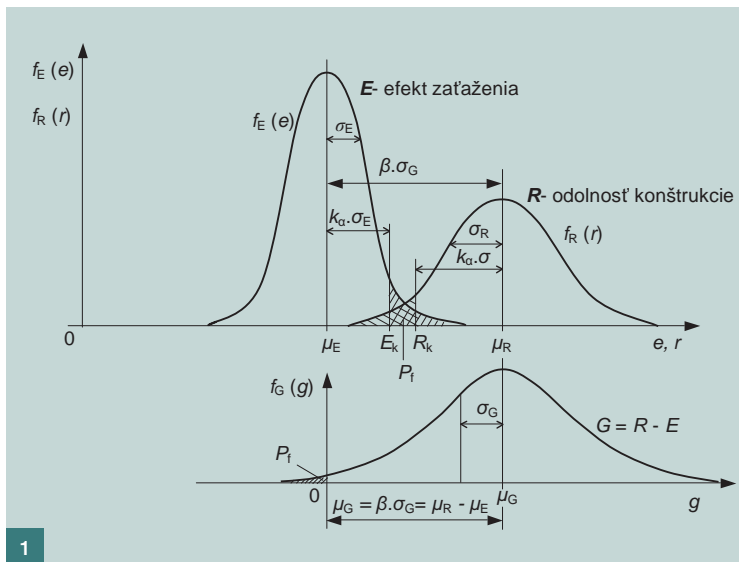
Obe uvedené koncepcie na zabezpečenie trvanlivosti predstavujú z metodického hľadiska extrémne prípady, medzi ktorými nájdu uplatnenie aj iné metódy. V nasledujúcich rokoch možno predpokladať, že v národných i medzinárodných predpisoch bude normatívny návrh doplnený výkonnostnými testami použitých materiálov alebo nahradený metódou globálneho súčiniteľa bezpečnosti [7].

## SPOLÁHLIVOSŤ KONŠTRUKCIE

Konštrukciu možno považovať za spoľahlivú, ak jej odolnosť ( $R$ ) a účinky zaťaženia ( $E$ ) spĺňajú podmienku  $R \geq E$  alebo ak funkcia medzného stavu  $G = R - E \geq 0$  (obr. 1). Odolnosť konštrukcie  $R$  a účinky zaťaženia  $E$  sú náhodne premenné. Pri navrhovaní a hodnotení konštrukcií sa musia zohľadniť náhodnosti a neistoty vstupných parametrov. Na tento účel sa používajú rôzne pravdepodobnostné metódy. Eurokódy požadujú po celú dobu životnosti stavieb dodržanie požadovanej úrovne spoľahlivosti, v závislosti od tried následkov poruchy (CC1 až CC3), ku ktorým sú priradené triedy spoľahlivosti (RC1 až RC3). Miera spoľahlivosti sa vyjadruje pravdepodobnosťou dosiahnutia medzného stavu  $P_f$  (pravdepodobnosť poruchy) alebo indexom spoľahlivosti  $\beta$ . Smerodajná ochylnka  $\sigma_G$  vyjadruje náhodnú premenlivosť funkcie medzného stavu  $G$ . Miera bezpečnosti  $\beta \cdot \sigma_G$  je teda závislá na požadovanej hodnote indexu spoľahlivosti a náhodnej variabilite funkcie medzného stavu [8].

Odporúčané cieľové hodnoty indexu spoľahlivosti  $\beta$  pre navrhovanie nových konštrukcií sú uvedené v tab. 1.

Miera spoľahlivosti nie je v čase konštantná hodnota. Na obr. 2 je schematicky znázornené zmenšovanie spoľahlivosti (zväčšovanie pravdepodobnosti poruchy) spôsobené nárastom účinkov zaťaženia  $E(t)$  a poklesom odolnosti konštrukcie  $R(t)$  počas jej životnosti. Keďže odolnosť aj účinky zaťaženia podliehajú rozptylom, ako to naznačujú krivky rozdelenia, musia byť ich fyzikálne modely dané pravdepodobnostnou funkciou. S vekom konštrukcie narastajúci prieňik oboch kriviek rozdelenia predstavuje zvýšenú pravdepodobnosť poruchy  $P_f$ . Keďže  $P_f$  je funkciou času, tak aj hodnota indexu spoľahlivosti  $\beta$  je závislá od času.



Obr. 1 Funkcia medzného stavu  $G$ , pravdepodobnosť poruchy  $P_f$  a index spoľahlivosti  $\beta$  ■ Fig. 1 Limit state function  $G$ , probability of failure  $P_f$  and reliability index  $\beta$

Obr. 2 Vzťah medzi spoľahlivosťou a životnosťou [7] ■ Fig. 2 Relationship between reliability and service life [7]

Pravdepodobnosť poruchy  $P_f$  má byť menšia ako cieľová pravdepodobnosť poruchy  $P_{target}$ , čo možno zapísať v tvare

$$P_f(t) = P \{R(t) - E(t) < 0\} < P_{target} \tag{1}$$

Spôľahlivosť existujúcich konštrukcií môže byť nižšia vzhľadom na presnejšie hodnoty vstupných parametrov zaťaženia i odolnosti a vyššie náklady na zvýšenie ich spoľahlivosti, ako u nových konštrukcií. Pri existujúcich konštrukciách sa môžu použiť nižšie cieľové úrovne spoľahlivosti, ak sa dajú zdôvodniť na základe druhu a významu konštrukcie, možných následkov poruchy a spoločensko-ekonomických kritérií (Príloha F ISO 13822 [10]). V tab. 2 sú uvedené navrhované cieľové indexy spoľahlivosti pre existujúce konštrukcie na špecifikované referenčné doby.

Pokles odolnosti konštrukcie v čase je spôsobený viacerými degradačnými procesmi. V ďalšom sa analyzuje účinok karbonatáciou betónu iniciovanej korózie výstuže na spoľahlivosť konštrukcie.

### KORÓZIA VÝSTUŽE INICIOVANÁ KARBONATÁCIOU BETÓNU

Proces degradácie betónových konštrukcií koróziou výstuže je charakterizovaný rôznymi štádiami porušenia. Poruchy môžu byť spojené s dosiahnutím niektorého z medzných stavov. Karbonatáciou betónu spôsobená depasivácia výstuže znamená stav, pri ktorom karbonatácia dosiahne povrch výstuže. Výpočet pravdepodobnosti depasivácie výstuže iniciovanej karbonatáciou betónu je založený na rovnici (2), v ktorej sa porovnáva hrúbka betónovej krycej vrstvy  $a$  s hĺbkou karbonatácie  $x_c(t)$  v sledovanom čase  $t$

$$P_{f_i}(t) = P\{a - x_c(t) \leq 0\} \leq P_{target} \tag{2}$$

Plne pravdepodobnostné modely pre karbonatáciu betónu alebo difúziou chloridových iónov iniciovanú koróziu vý-

stuže uvádza Model Code SLD 2006 [11] i Model Code 2010 [9]. V tomto prípade sa nejedná o klasický medzný stav, jeho dosiahnutie nevyvolá obmedzenie používateľnosti alebo únosnosti. Ide o náhradný medzný stav, ktorý predchádza MSP. Pre takto pomerne konzervatívne definovaný medzný stav možno pripustiť menšiu mieru spoľahlivosti  $P_f =$  od  $10^{-1}$  až  $10^{-2}$  ( $\beta = 1,28$  až  $2,32$ ) [9].

Poruchy vyvolané dlhodobými účinkami environmentálneho zaťaženia vo forme: širokých trhlin, odpadnutia krycej vrstvy, redukcie kotvenia výstuže alebo veľkej straty priezovej plochy výstuže, môžu zapríčiniť dosiahnutie MSÚ.

Z hľadiska korózie výstuže možno životnosť betónových konštrukcií rozdeliť na pasívne a aktívne štádium (obr. 3). Počas pasívneho štádia prenikajú oxid uhličitý  $CO_2$ , resp. chloridové ióny  $Cl^-$  smerom k výstuži. Pasívne štádium je ukončené, ak povrch výstuže je depasivovaný karbonatáciou betónu alebo difúziou chloridov.

Aktívne štádium je obdobie, počas ktorého prebieha korózia výstuže, jeho hlavným parametrom je rýchlosť korózie  $V_{corr}$ . Rýchlosť korózie nie je počas aktívneho štádia konštantná. Ako najvýznamnejšie parametre rýchlosti korózie boli identifikované: odolnosť betónu, galvanické účinky, obsah chloridov a vlhkosť/teplota betónu. Odolnosť betónu je hlavný parameter ovplyvňujúci rýchlosť korózie depasivovanej výstuže, je závislá od zloženia a vlhkosti betónu. Dura-Crete projekt [2] uvádza pre karbonatáciu betónu iniciovanú koróziou výstuže strednú rýchlosť  $V_{corr}$  hodnotu 0,002 pre zakryté, resp. 0,005 mm/rok pre nezakryté vonkajšie povrchy betónu. Tieto hodnoty predstavujú pre prút s priemerom 8 mm ročne 1 až 2,5% stratu priezovej plochy. Pre väčšie priemery prútov sú hodnoty straty adekvátne menšie.

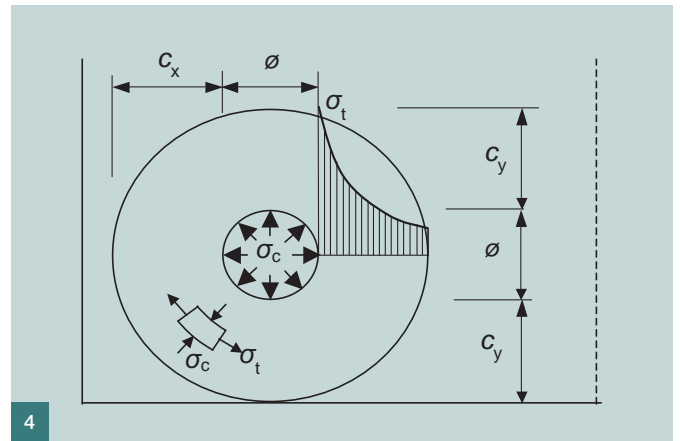
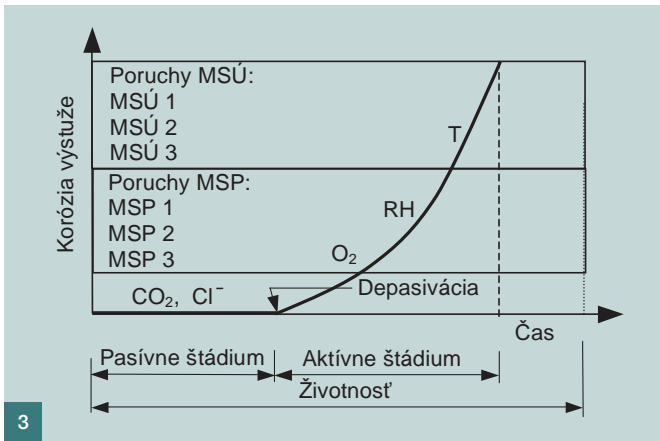
Pri navrhovaní betónových konštrukcií bolo doteraz aktívne štádium väčšinou zanedbávané. Tento postup je oprávnený pri rýchlom priebehu korózie, keď aktívne, v porovnaní

Tab. 1 Odporúčané cieľové hodnoty  $\beta$  pre navrhovanie [9] ■ Tab. 1 Recommended target reliability indices  $\beta$  for to be designed structures [9]

Trieda spoľahlivosti	Medzné stavy únosnosti		Medzné stavy používateľnosti	
	Referenčná doba			
	1 rok	50 rokov	1 rok	50 rokov
RC3	5,1	4,3		
RC2	4,7	3,8	3	1,5
RC1	4,1	3,1		

Tab. 2 Cieľové indexy spoľahlivosti  $\beta$  na hodnotenie existujúcich konštrukcií [9] ■ Tab. 2 Target reliability indices  $\beta$  for verification of existing structures [9]

Medzné stavy	Cieľový index spoľahlivosti $\beta$	Referenčná doba [roky]
Medzné stavy používateľnosti	1,5	Zvyšková životnosť
Medzné stavy únosnosti	3,1 až 3,8	50
	3,4 až 4,1	15
	4,1 až 4,7	1



3

4

Obr. 3 Vplyv korózie výstuže na poruchy počas životnosti konštrukcie | Fig. 3 Effect of reinforcement corrosion on failures during service life of the structure

Obr. 4 Napätie vyvolané expanznými účinkami korózných produktov:  $\sigma_c$  – radiálne tlakové napätie,  $\sigma_t$  – tangenciálne ťahové napätie | Fig. 4 Stresses induced by expansive corrosion products:  $\sigma_c$  – radial compressive stress,  $\sigma_t$  – circumferential tensile stress

s pasívnym štádiom, je relatívne krátke alebo, ak sa pri hodnotení konštrukcie netoleruje žiadna forma korózie výstuže. Keďže na mnohých existujúcich betónových konštrukciách sa viac alebo menej prejavuje korózia výstuže, treba aktívne štádium zahrnúť do výpočtu zvyškovej životnosti.

Na obr. 3 sú znázornené poruchy počas aktívneho štádia korózie výstuže:

- MSP 1: depasivácia výstuže, začiatok korózie výstuže,
- MSP 2: zmenšenie prierezovej plochy výstuže,
- MSP 3: vznik trhlín na povrchu betónu,
- MSÚ 1: výrazné zmenšenie prierezovej plochy výstuže a súdržnosti,
- MSÚ 2: odpadnutie krycej vrstvy,
- MSÚ 3: prekročenie cieľovej hodnoty pravdepodobnosti poruchy.

**VZNIK TRHLÍN V BETÓNE**

Používateľnosť a trvanlivosť betónových konštrukcií môže byť nepriaznivo ovplyvnená prítomnosťou trhlín. Pri ich návrhu treba kontrolovať, aby šírka trhlín nedosiahla väčšie hodnoty, ako pripúšťa EC2 pre dané prostredie.

Počas korózie výstuže vznikajú rôzne korózne produkty, ktoré v závislosti od hustoty a chemického zloženia majú 4 až 6násobne väčší objem ako pôvodný kov. Zväčšovanie objemu má za následok, že na rozhraní medzi betónom a výstužou narastajú radiálne tlakové napätia  $\sigma_c$ , ktoré generujú tangenciálne ťahové napätia  $\sigma_t$  (obr. 4). Ak sú tieto väčšie ako pevnosť betónu v ťahu  $f_{ct}$ , dochádza k vzniku trhlín pozdĺž výstuže. Pravdepodobnosť poruchy v dôsledku vzniku trhlín  $P_{f,c}(t)$  spôsobených koróziou výstuže možno vyjadriť rovnicou:

$$P_{f,c}(t) = P \{ \sigma_t(t) \geq f_{ct} \} < P_{lim} \tag{3}$$

Model Code 2010 [9] uvádza na výpočet pravdepodobnosti vzniku trhlín od korózie výstuže vzťah:

$$P_{f,c}(t) = P \{ \Delta r_{(R)} - \Delta r_{(E)}(t_{SL}) < 0 \} < P_{lim} \tag{4}$$

kde  $\Delta r_{(R)}$  je nárast polomeru výstuže potrebný na vznik trhlín;  $\Delta r_{(E)}(t_{SL})$  nárast polomeru výstuže v dôsledku tvorby korózných produktov;  $t_{SL}$  návrhová životnosť.

Okrem posúdenia vzniku trhlín treba pre medzné stavy používateľnosti a trvanlivosti urobiť aj kontrolu ich šírky. Pravdepodobnosť, že šírka trhlín bude väčšia, ako prípustná, možno podľa [12] vypočítat:

Tab. 3 Porovnanie minimálnych korózných úbytkov na vznik trhlín a odpadávania krycej vrstvy | Tab. 3 Comparison of the minimum required corrosion rate for cracking and spalling

Pomer hrúbky krycia a priemeru výstuže	Potrebný korózný úbytok [mm] na	
	vznik trhlín	odpadnutie krycej vrstvy
0,5	0,006	0,08
1	0,011	0,17
2	0,022	0,33
3	0,033	0,5

$$P_{f,w}(t_{SL}) = P \{ w_{cr} - w_a(t_{SL}) < 0 \} < P_{lim} \tag{5}$$

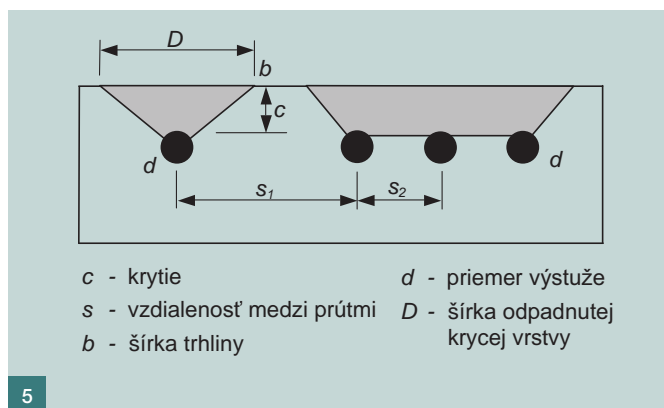
kde  $w_{cr}$  je kritická šírka trhlín v betóne a  $w_a$  aktuálna šírka trhlín.

Vznik trhlín v smere korodujúcej výstuže bol skúmaný experimentálne i analyticky [3]. Výsledky preukázali, že vzťah medzi stratou prierezovej plochy výstuže a vznikom pozdĺžnych trhlín závisí od veľkého množstva činiteľov.

**ODPADNUTIE BETÓNOVEJ KRYCEJ VRSTVY**

V laboratórnych aj terénnych podmienkach boli sledované činitele, ktoré ovplyvňujú proces odpadávania betónovej krycej vrstvy. Na základe týchto pozorovaní bolo konštatované, že odpadávanie krycej vrstvy ovplyvňujú najmä [13]:

- **výstuž:** hrúbka krycej vrstvy, priemer výstuže a vzájomná vzdialenosť výstuže, poloha výstuže v priereze (rohový prút, krajný prút,..), spôsob vystuženia a typ výstuže,
- **korózia:** druh korózie (plošná alebo jamkovitá), aktuálny korózný úbytok, rýchlosť korózie, dĺžka a plocha korodujúcej časti výstuže, typ korózných produktov,
- **expozícia:** vlhkosť betónu, teplota (oslňenie), teplotné cykly, cykly vysušania a zmáčania, vietor, namáhanie mrazom,
- **betón:** kvalita betónu (zloženie, pomer w/c, pórový a kapilárny systém), mechanické vlastnosti (pevnosť v ťahu, modul pružnosti), existencia trhlín,
- **iné:** vibrácie (napr. od dopravy), vynútené napätie od objemových zmien.



5

Pre posúdenie rizika odpadávania krycej vrstvy treba okrem vyššie uvedených činiteľov zohľadniť aj špecifické faktory závislé od konkrétnej konštrukcie. Tab. 3 obsahuje porovnanie minimálnych radiálnych prírastkov korózie na vznik trhlín a odpadnutie betónu. V porovnaní so vznikom trhlín v krycej vrstve, na odpadávania krycej vrstvy sú potrebné približne 15krát vyššie korózne úbytky.

Viaceré práce skúmali vplyv geometrických a korózných parametrov na riziko odpadnutia betónovej krycej vrstvy. Bolo zistené, že pokiaľ osová vzdialenosť medzi prútmí  $s$  je väčšia ako 6násobok priemeru výstuže  $d$ , nedochádza k interakcii jednotlivých trhlín a odpadávania betónu prebieha približne pod uhlom  $45^\circ$ . V prípade, že vzdialenosť medzi prútmí je menšia ako  $6d$ , trhlina prechádza rovinou výstuží (obr. 5).

### STRATA SÚDRŽNOSTI

Súdržnosť je základnou podmienkou pre spolupôsobenie betónu a betonárskej výstuže v železobetónových konštrukciách. Korózia výstuže, vznik a rozvoj trhlín v betónovej krycej vrstve znižujú medzné napätie v súdržnosti. Vplyv korózie výstuže na zmenu súdržnosti bol sledovaný pri skúškach hladkej aj rebierkovej výstuže. Začiatok korózie vedie spočiatku k miernemu zvýšeniu súdržnosti. Nárastom korózných produktov, a s tým spojeným vznikom a rozvojom trhlín, dochádza k výraznému znižovaniu súdržnosti (obr. 6). K poklesu pod východiskovú hodnotu dochádza až po vzniku viditeľných pozdĺžnych trhlín. Pri hodnotení zvyškovej odolnosti betónových konštrukcií možno preto predpokladať dobrú súdržnosť, ak sa na povrchu neprejavili trhlíny od korózie výstuže.

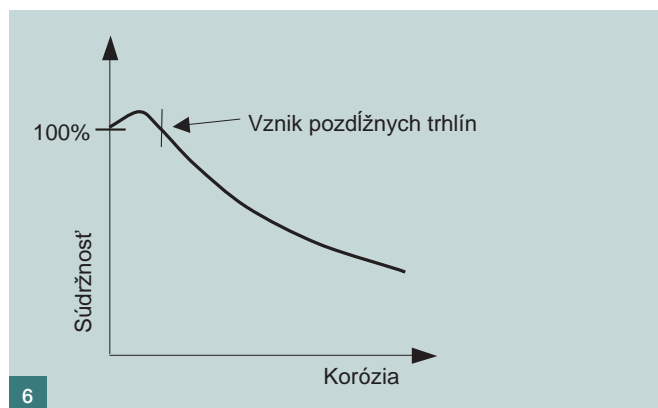
Pre konštrukcie bez priečnej výstuže predstavuje znižovanie súdržnosti väčšie ohrozenie odolnosti, ako strata prierezovej plochy hlavnej výstuže. Po vzniku viditeľných trhlín môže, v závislosti od stupňa vystuženia priečnou výstužou, nastať výrazné znižovanie súdržnosti. Ak pomer plochy priečnej výstuže k ploche hlavnej výstuže  $\rho_{tr}$  je v kotevnej dĺžke vyšší ako 0,25 (minimálna hodnota požadovaná podľa EC2), možno pevnosť v súdržnosti vypočítať [14]:

$$f_b = 4,75 - 4,64\rho(t) \quad (6)$$

kde  $\rho(t)$  je hĺbka korózie výstuže [mm]. Rovnica dáva hodnoty súdržnosti pre všetky hodnoty korózneho úbytku, ak sa zohľadní aktuálna prierezová plocha priečnej výstuže.

### STRATA ODOLNOSTI KONŠTRUKCIE

Formálne sa za ukončenie životnosti považuje okamih, keď konštrukcia nespĺňa požadovanú úroveň spoľahlivosti, vyjadrenú pravdepodobnosťou poruchy  $P_f$  alebo indexom spoľahlivosti  $\beta$ .



6

Obr. 5 Geometrické parametre ovplyvňujúce odpadnutie krycej vrstvy [13] ■ Fig. 5 Geometric parameters affecting the spalling of concrete cover [13]

Obr. 6 Schematické znázornenie vplyvu korózie výstuže na súdržnosť [14] ■ Fig. 6 Schematic illustration of bond strength variation with reinforcement corrosion [14]

Korózia výstuže v betóne prebieha v zásade ako rovnomerná (plošná) alebo jamkovitá. Plošná korózia je spájaná s karbonatáciou betónu, jamkovitá s chloridmi iniciovanou koróziou. Zvyšková (reziduálna) prierezová plocha výstuže  $A_{res}$  pri plošnej korózii sa vypočíta [3] ako

$$A_{res} = A_0 - A_{corr} = \pi (d_b - 2\rho(t))^2 / 4 \quad (7)$$

kde  $A_0$  je pôvodná prierezová plocha [mm<sup>2</sup>];  $A_{corr}$  strata prierezovej plochy [mm<sup>2</sup>];  $d_b$  pôvodný priemer výstuže [mm] a  $\rho(t)$  hĺbka korózie [mm].

Vplyv straty prierezovej plochy výstuže na odolnosť železobetónových prvkov je zrejma. Menej známa je skutočnosť, že jamkovitá korózia vyvoláva aj znižovanie medze klzu, resp. pevnosti a ťažnosti ocele. Pokles uvedených vlastností betonárskej výstuže sa v súčasnosti vyjadruje empirickými vzťahmi, v závislosti od strát prierezovej plochy. Pre medzu klzu korodujúcej výstuže  $f_y$  možno použiť vzorec [3]

$$f_y = (1 - \alpha_y A_{corr}) f_{y0} \quad (8)$$

kde  $A_{corr}$  je strata prierezovej plochy výstuže [%];  $A_{corr} = 0$  až 25 %;  $\alpha_y$  redukčný súčiniteľ [-];  $\alpha_y = 0,01$  až  $0,016$ ;  $f_{y0}$  medza klzu nekorodujúcej výstuže [MPa].

Ako veľmi redukuje korózia silu vo výstuži, pri napätí na medzu klzu, možno znázorniť na príklade výstuže s 10% stratou prierezovej plochy

$$F_y = 0,9 A_0 (1 - 0,015 \cdot 10) f_{y0} = 0,765 A_0 f_{y0} \quad (9)$$

Účinok straty prierezovej plochy na zvyškovú odolnosť staticky určitých konštrukcií sa zisťuje obvyklými výpočtovými postupmi, s uvážením zmenšenej prierezovej plochy výstuže a medze klzu. Ak sa pri návrhu staticky neurčitej konštrukcie počíta aj s plastickými deformáciami, pokles ťažnosti korodujúcej výstuže obmedzí redistribúciu momentov v plastickom kĺbe. Podobne treba redukovať aj medzu klzu hlavnej výstuže v tlačných prvkoch, ak pre stratu prierezovej plochy alebo odpadnutie krycej vrstvy, strmienky prestanú účinne brániť ich vybočenie.

### ZÁVERY

V minulosti často zanedbávané dlhodobé účinky environmentálneho zaťaženia majú významný vplyv na spoľahlivosť betónových konštrukcií, najmä na inžinierske konštrukcie

## Literatúra:

- [1] ISO 13823 (2008): General principles on design of structures for durability. 2008, pp. 46
- [2] DuraCrete – Final Technical Report (2000): Probabilistic Performance based Durability Design of Concrete Structures. pp. 138
- [3] Lay S., Schießl P.: LIFECON DELIVERABLE D 3.2: Probabilistic service life models for reinforced concrete structures. (2003), pp. 169
- [4] STN EN 1992-1-1 (2006): Eurokód 2 Navrhovanie betónových konštrukcií. Časť 1-1 : Všeobecné pravidlá a pravidlá pre budovy. 200 str.
- [5] STN EN 206-1 (2002): Betón. Časť 1: Špecifikácia, vlastnosti, výroba a zhoda. 70 str.
- [6] STN EN 1990 (2009): Eurokód. Zásady navrhovania. 68 str.
- [7] Müller H. S., Vogel M.: Lebensdauerbemessung im Betonbau. Beton- und Stahlbetonbau 6/2011, S. 394-402
- [8] Červenka V., Teplý B., Vitek J. L.: Nová modelová norma fib 2010. Beton TKS 5/2010, str. 3-6
- [9] fib bulletin 55 (2010): Model Code 2010. First complete draft. Volume 2. pp. 288
- [10] STN ISO 13822 (2010): Zásady navrhovania konštrukcií. Hodnotenie existujúcich konštrukcií. 72 str.
- [11] fib bulletin 34 (2006): Model Code for Service Life Design. pp. 110
- [12] Vořechovská D., Teplý B., Chromá M.: Probabilistic Assessment of Concrete Structure Durability under Reinforcement Corrosion Attack. Journal of Performance of Constructed Facilities. ASCE. 11&12/2010, pp. 571-579
- [13] Hunkeler F., Mühlan B. & Ungricht H.: Risiko von Betonabplatzungen infolge Bewehrungskorrosion. TFB, Wildegg 2006, 89 S.
- [14] fib bulletin 10 (2000): Bond of reinforcement in concrete. pp. 427

s predĺženou životnosťou a/alebo vystavené vlhkému obklopujúcemu prostrediu. Kým pre karbonatáciou betónu a difúziou chloridov iniciovanú depasiváciu výstuže sú známe všeobecne akceptované plne pravdepodobnostné modely, tak pre aktívne štádium sú k dispozícii iba deterministické modely degradácie. Rozptyl vlastností betónu a ich reakcie na environmentálne zaťaženia si vyžadujú aj pre aktívne štádium pravdepodobnostné modely. Pravdepodobnostné metódy a modely sa budú v budúcnosti vo zvýšenej miere uplatňovať pri navrhovaní i hodnotení betónových konštrukcií. Táto problematika bude aj v nasledujúcich rokoch v centre pozornosti výskumu, ale z hľadiska dlhodobého rozvoja betónových konštrukcií je aktuálna aj pre projektantov.

Príspevok vznikol za podpory výskumného projektu VEGA č.1/0784/12 „Holistické navrhovanie a overovanie betónových konštrukcií“.

Prof. Ing. Juraj Bilčík, PhD.  
e-mail: juraj.bilcik@stuba.sk  
tel.: +421 259 274 546



Ing. Ivan Holly  
e-mail: ivan.holly@stuba.sk  
tel.: +421 259 274 295



oba: Katedra betónových konštrukcií a mostov  
Stavebná fakulta STU Bratislava  
Radlinského 11, 813 68 Bratislava

## MEZIVÁLEČNÉ GARÁŽE V ČECHÁCH

Petr Vorlík



„Automobil změnil svět. Prvoplánované konstatování, ale ve své prostotě pravdivé. Změnil pojetí času, prostoru, osobní svobody. Akceleroval globalizaci i průmyslovou revoluci. Vtiskl nesmazatelnou stopu do struktury měst a krajiny. A zásadně ovlivnil i východiska moderní architektury... Kniha si klade za cíl odhalit nadčasové styčné plochy životního stylu, technologie a stavební kultury, detailněji zmapovat historii prvopočátků garážování v Čechách, a především uchopit dosud neprávem opomíjené a podceňované téma jako významný civilizační fenomén, pádnou výpověď o ambiciózní době, společnosti, ale i nově se rodící „automobilové“ kultury.“

Tolik ukážka z předmluvy ke knize Petra Vorlíka **Meziválečné garáže v Čechách** s podtitulem Zrod nového typologického druhu a proměny stavební kultury, kterou vydalo Výzkumné centrum průmyslového dědictví a Fakulta architektury ČVUT v Praze v roce 2011.

Kniha podrobně mapuje vznik a vývoj automobilismu a jeho otisk v osnove osídlení, především pak parkování a garážování automobilů. To je velice přehledně rozdělené na jednotlivé kapitoly, které se věnují parkování v improvizovaných, dočasných a přenosných garážích, izolovaných rodinných domech, nájemních obytných domech v městské zástavbě, polyfunkčních palácích, administrativních a veřejných budovách, hotelích a nájemních hromadných garážích. Kapitola Garáže v literatuře a tisku je důležitou součástí pro uchopení dynamiky prosazování garáží v našem prostředí. Mimořádně zajímavý doklad vývoje v oblasti garážní i automobilové techniky představuje kapitola s ukázkami stavebních předpisů a především porovnání jejich proměn v průběhu času.

V knize je velké množství zajímavých fotografií spolu s výkresovou dokumentací jak realizovaných staveb, tak i soutěžních projektů. Nezbytnou součástí je celá řada citací z dobového tisku, nařízení, předpisů, vyhlášek, technických zpráv ze soutěží... Rozhodně se nejedná o beletrii, ale o velmi pečlivě a vyčerpávajícím způsobem zpracované zajímavé téma, které jistě osloví jak čtenáře z řad odborné veřejnosti tak i motoristických nadšenců, kteří mají zájem o historii svých „miláčků“ a vše s nimi související.

Vydalo Výzkumné centrum průmyslového dědictví  
a Fakulta architektury ČVUT v Praze 2011  
ISBN: 978-80-01-04924-2

135 stran, měkká vazba, 189 x 239 mm

Obr. 1a, b Václav Antonín Beneš - Grandgaráže Flora v Praze-Žižkově

