K NAVRHOVÁNÍ ŽELEZOBETONOVÝCH KONSTRUKCÍ S OHLEDEM NA ŽIVOTNOST
PERFORMANCE-BASED DESIGN FOR DURABILITY OF RC STRUCTURES

BŘETISLAV TEPLÝ, ZBYNĚK KERŠNER, PAVLA ROVNANÍKOVÁ

Příspěvek se zabývá postupy navrhování železobetonových konstrukcí s ohledem na jejich životnost. Stručně jsou popsány degradační mechanizmy a rovněž makro/mezo/mikro úroveň přístupů navrhování vzhledem k ustanovením v normách. Pro praktické použití byly vytvořeny tzv. tabulky životnosti.

Principles and procedures for planning service life (and residual service life) of concrete structures are reviewed. Degradation mechanisms are briefly described as well as the macro/meso-/micro level approach with the consequences in codes. „Durability matrices" are presented for simple and practical use.

Navrhování konstrukcí dle současných norem má jisté nevýhody, neboť z návrhu pro konkrétní konstrukci nevyplývá explicitně:

- úroveň (míra) spolehlivosti;
- trvanlivost či životnost konstrukce.

O těchto vlastnostech konstrukcí navržených dle ČSN/Eurokódů, lze pouze oprávněně předpokládat, že budou přiměřené. V řadě případů by však bylo výhodnější navrhnout konstrukci na cílenou, předem danou hladinu spolehlivosti, resp. dobu životnosti, či dobu do první opravy/rekonstrukce apod. Existují i další případy, kdy je konstrukci nutné nebo vhodné navrhnout tak, aby měla individuálně požadované vlastnosti, např. zvýšenou odolnost proti degradaci materiálu, proti požáru, proti zemětřesení a další.

V posledních letech se začíná proto prosazovat nový trend tzv. **Performance-Based Design** (navrhování s ohledem na užitné vlastnosti), na který se zaměřuje světový výzkum. Dokonce v širším pojetí, překračujícím svým rozsahem problematiku projektování konstrukcí a zasahujícím i do provádění a managementu stavění, je mezinárodní projekt nazvaný **Performace-Based Building**, započatý na podzim 2001 (stručně viz [1], podrobněji pak www.cibworld.nl – volba PeBBu). Projektu se účastní 33 institucí ze zemí EU (i zemí přidružených – z ČR jde o VUT v Brně a TU Ostrava) a 15 institucí z mimoevropských států. Po úspěšném řešení se předpokládá zvýšení konkurenceschopnosti stavebních výrobků i firem a v budoucnu se očekává **snížení nákladů až o 25 %**.

V případě požadované úrovně spolehlivosti jsou známy teoretické postupy, jak toho při návrhu konstrukce dosáhnout, viz zejména práce mezinárodní komise JCSS (Joint Committee for Structural Safety – www.jcss.ethz.ch). Předkládaný příspěvek se však zaměřuje jen na otázky navrhování nosných betonových konstrukcí s ohledem na jejich životnost.

NAVRHOVÁNÍ ŽELEZOBETONOVÝCH KONSTRUKCÍ S OHLEDEM NA ŽIVOTNOST

Životnosti železobetonových konstrukcí se věnuje řada prací, u nás souhrnně viz [2]. Připomeňme také, že je možno rozlišit životnost **technickou** (je ukončena tehdy, když degradace dosáhne nepřijatelného stadia), životnost **funkční** (vzhledem ke změněným požadavkům na funkce konstrukce), resp. životnost **ekonomickou** (končí časovým okamžikem, od kterého se náhrada novou konstrukcí stává ekonomičtější, než údržba či opravy objektu stávajícího). Dále se budeme zajímat o životnost technickou; přitom kromě dalších zdrojů uvedených níže využijeme údaje z [2 a 3] a též Eurokódu 2 (prEN 1992–1). Vzhledem k omezenému rozsahu tohoto textu půjde pouze o základní informace. Jsou uvedeny též údaje, které pomohou projektantovi orientovat se v problematice navrhování konstrukcí s ohledem na trvanlivost použitého materiálu, na jejich životnost i při posuzování konstrukcí stávajících. Tyto úlohy úzce souvisejí také s rozhodováním o prohlídkách či jejich plánováním, o plánech údržby, oprav, příp. rekonstrukcí.

DEGRADACE BETONU – ZÁKLADNÍ PRINCIPY MECHANIZMŮ

Častými degradačními efekty jsou mj. degradace betonu působením kyselých plynů, nejčastěji karbonatace, působení chloridů a koroze výztuže. Rozhodující okolností je typ, velikost a distribuce pórů v cementovém tmelu a množství a šířka trhlin, prostřednictvím nichž dochází k transportu vody a škodlivin do betonu.

Karbonatace betonu – chemický proces způsobený reakcí oxidu uhličitého, CO_2, se složkami cementového tmelu v betonu. Karbonatace se projevuje zpočátku dokonce zvýšením pevnosti povrchové vrstvy. V průběhu reakce dochází k neutralizaci hydroxidových iontů, OH^-, a tím ke snižování hodnoty pH pórového roztoku. Hydroxidové ionty zajišťují prostředí pro vytvoření tenké ochranné (pasivační) vrstvy na povrchu výztuže; při snížení jejich koncentrace, tedy i hodnoty pH pod 9, se pasivační vrstva poruší a může docházet ke korozi výztuže. Rychlost postupu karbonatace od povrchu betonu k výztuži závisí na:

- propustnosti betonu krycí vrstvy;
- tloušťce krycí vrstvy;
- relativní vlhkosti (*RH*) prostředí a jejím časovém průběhu, viz [2], odst. 1.2.5.1;
- obsahu oxidu uhličitého v obklopujícím prostředí, blíže v [4 a 9];
- teplotě prostředí, jelikož teplota ovlivňuje rychlost chemických reakcí.

Propustnost betonu je mj. dána vodním součinitelem (čím je vyšší, tím je beton poréznější), způsobem hutnění, dobou ošetřování, druhem cementu, přísadami, křivkou zrnitosti kameniva – zjednodušeně lze říci třídou betonu. Poznamenejme ještě, že směsné cementy vykazují oproti portlandským sníženou propustnost, zvláště pokud přidávané složky mají velikost zrn menší než portlandský slínek. Záleží také na správném ošetřování betonu; to má význam i pro hodnocení vlivu chloridů – viz dále. Kvantifikace některých výše zmíněných vlivů je ukázána v předposledním odstavci příspěvku.

Působení chloridů – v našich podmínkách se jedná zejména o posypové soli. Chloridové ionty pronikají z povrchu do dalších vrstev betonu, přičemž je část iontů chemicky vázána. Ty, které zůstanou volné (vodou rozpustné), narušují pasivační vrstvu na výztuži. Jejich množství, které proniká do betonu, závisí na jeho propustnosti, dané druhem použitého cementu, přísadami, vodním součinitelem a způsobem ošetřování betonu. Je ovšem nutno poznamenat, že karbonatací betonu, tedy změnou složení pórového roztoku v cementovém tmelu, dochází k rozkladu některých složek. V betonu se vázané chloridové ionty opět uvolňují a riziko koroze výztuže se zvyšuje. Koncentrace chloridů se mění, obvykle klesá se vzdáleností od povrchu betonu. V letních a podzimních měsících však může být koncentrace chloridů v povrchové vrstvě betonu nižší než ve vrstvách vzdálenějších od povrchu v důsledku vymývání deštěm. Důležitým údajem je tzv. kritická (prahová) koncentrace chloridů, závislá kromě obsahu hydroxidových iontů v betonu také na přísunu kyslíku a vlhkosti.

Koroze ocelové výztuže – elektrochemický proces zahrnující anodický děj (oxidaci železa) a katodický děj (kyslíkovou depolarizaci v alkalickém prostředí). Korozní proces vyžaduje difúzi kyslíku a vody krycí vrstvou betonu. Vzniklé ionty vytvářejí nerozpustné produkty (rez), jejichž molární objem je mnohanásobně větší než u elementárního železa. Kromě úbytku efektivní průřezové nominální plochy výztužné oceli vznikají v důsledku tohoto zvětšeného objemu značná napětí v přilehlém betonu se známými důsledky: podélné trhliny, později odlučování betonu krycí vrstvy. Dalšími důsledky koroze jsou změna únavové pevnosti a deformační kapacity oceli. Rychlost koroze je řízena difúzí kyslíku a molekul vody ke katodě. V betonu zcela vysušeném koroze výztuže neprobíhá. Pokud jsou póry betonu zcela zaplněny vodou, mnohonásobně se sníží difúzní rychlost kyslíku a rychlost koroze je nízká. Největší je rychlost koroze v případech, kdy se na povrchu často střídá vlhkost s vysoušením. Také připomeňme, že lze rozlišovat tzv. korozi rovnoměrnou (probíhá téměř rovnoměrně na celých úsecích výztuže, kde byla narušena pasivační vrstva) a korozi důlkovou (lokální) způsobenou obvykle působením chloridů, kdy byla ochranná vrstva narušena jen na malých plochách.

ŽIVOTNOST

Obvykle se uvádí, že doba životnosti L je charakterizována součtem dvou časových úseků:

- **iniciační periody** L_i, tj. časového úseku od výroby do okamžiku, kdy výztuž ztrácí svoji ochrannou vrstvu, je depasivována. Délka tohoto časového úseku je ovlivněna zejména kvalitou a složením betonu, tloušťkou krycí vrstvy a působením prostředí (viz dále);
- **propagační periody** L_p, tj. časového úseku, během kterého probíhá koroze výztuže až do nepřijatelného stádia (korozní úbytek průřezové plochy výztuže, příp. trhliny a odlučování betonu).

Platí tedy

$$L = L_i + L_p \tag{1a}$$

Na straně bezpečnosti, i když poněkud zjednodušeně, považujeme často za rozhodující iniciační čas L_i, tj. dobu do možného začátku koroze výztuže. V tomto příspěvku se pokusíme uvést některé údaje, které pomohou projektantovi orientovat se v problematice navrhování nových, resp. posuzování stávajících konstrukcí. Přitom bude obvykle předpokládáno, že požadovaná životnost bude reprezentována jen iniciačním časem, tj.

$$L_i = L \tag{1b}$$

Jak bylo naznačeno výše, depasivaci výztuže lze oddálit zvýšenou kvalitou betonu nebo zvětšením krycí betonové vrstvy c. K depasivaci výztuže, a tedy k možné iniciaci koroze může dojít až tehdy, kdy pro hloubku zkarbonatované povrchové vrstvy betonu x_c bude platit

$$x_c(\boldsymbol{X}_c, t) = c \tag{2}$$

Pomocí výpočetního modelu lze postup karbonatace odhadnout a stanovit tak čas L_i, kdy je splněna rovnost (2). Depasivace výztuže nastává také působením volných chloridových iontů a čas L_i může být dán okamžikem, kdy chloridová „fronta" x_{Cl} dosáhne úroveň výztuže, tj. kdy již platí

$$x_{Cl}(\boldsymbol{X}_{Cl}, t) = c \tag{3}$$

Přitom $\boldsymbol{X}_c$ a $\boldsymbol{X}_{Cl}$ jsou vektory zahrnující veličiny, které ovlivňují postup karbonatace či působení chloridů v čase t. Jsou to data týkající se betonu (složení i způsob ošetřování), obsahu CO_2 a relativní vlhkosti v obklopujícím prostředí (příp. jejího časového průběhu), povrchové koncentrace chloridů, příp. další parametry. Obvykle jsou to veličiny, o kterých přesné údaje nejsou známé, resp. které ze své povahy podléhají jistému rozptylu, a proto je vhodné pracovat s nimi jako s náhodnými veličinami nebo náhodnými funkcemi. O takových výpočtových modelech je pojednáno např. v [2], kap. 2, nebo [4].

Posuzování, a tedy i navrhování konstrukcí se dnes provádí s využitím metody dílčích součinitelů spolehlivosti; při takovém postupu však dosažená (teoretická) úroveň spolehlivosti zůstává projektantovi „skryta". Dle současných předpisů je alternativně možno postupovat též pomocí plně pravděpodobnostního pojetí (viz příloha C Eurokódu EN 1990), kdy se pracuje s tzv. pravděpodobností poruchy

$$p_f = P\,(Z < 0) \tag{4}$$

Ta se porovnává s hodnotou doporučené (návrhové) pravděpodobnosti p_{fd}. Častěji se však porovnávají z těchto pravděpodobností odvozené a názornější indexy spolehlivosti β. Pro zajištění správné funkce konstrukce musí tedy platit

$$p_f < p_{fd} \text{ nebo } \beta > \beta_d \tag{5}$$

Dle EN 1990 a EN 1992 se přitom k trvanlivosti konstrukce přímo nepřihlíží, je respektována jen implicitně (např. stanovením doporučené třídy betonu a tloušťky krytí).

Tzv. rezervu spolehlivosti Z příslušného mezního stavu, lze vyjádřit ve tvaru

$$Z = R - S \tag{6}$$

S představuje silový nebo deformační účinek (od zatížení, klimatických vlivů apod.) a R je odolnost/únosnost (průřezu, prvku, konstrukce) v případě mezního stavu únosnosti, nebo mezní/přípustná hodnota deformace (šířky trhliny aj.) v případě mezního stavu použitelnosti.

Veličiny R i S (a tedy i Z) jsou ve skutečnosti **funkcemi času** – konstrukce postupně degraduje a vliv prostředí i zatěžovací účinky se v čase mohou měnit! Ukončení životnosti „signalizuje" podmínka (5), která je vlastně jen jinou formou vztahu (1a). Pokud konzervativněji přijmeme životnost dle (1b), pak (5) nemusí rozhodovat a životnost je rovna iniciační periodě.

Znovu připomeňme, že většina veličin, které vstupují do modelů pro výpočet Z jsou náhodné povahy. Důsledky této náhodnosti (rozptylu) můžeme doku-

mentovat např. na údajích o hloubce karbonatace. Náhodná proměnnost x_c může být totiž značná. Významně vzrůstá s časem a se vzrůstajícím vodním součinitelem; není tedy dostačující hodnotit jen např. střední hloubku karbonatace, nýbrž je vhodné brát v úvahu též další statistické charakteristiky, např. variační koeficient (*COV*) nebo směrodatnou odchylku. Orientačně to lze kvantifikovat takto: s nárůstem vodního součinitele z hodnoty 0,35 na 0,65 vzroste variační rozpětí pětkrát (při *RH* = 70 %). Důležitý je též vliv relativní vlhkosti; při změně z *RH* 55 % na 85 % může vzrůst součinitel variace asi třikrát (na hodnotu *COV* = 0,56!).

ÚROVNĚ NÁVRHU NA ŽIVOTNOST

Je tedy zřejmé, že navrhování betonových konstrukcí s ohledem na jejich životnost je komplikovaný problém a lze říci, že v současné praxi se běžně akceptují velmi zjednodušené postupy – což ovšem není adekvátní významu a možným ekonomickým (i ekologickým) důsledkům! V posledním období jsou proto vypracovávány modely degradačních procesů na pravděpodobnostním základě, které umožňují spolehlivostní posuzování životnosti konstrukce.

Lze rozlišit tři úrovně modelování působení prostředí a mechanismů degradujících betonové konstrukce, a tedy také úrovně navrhování (a posuzování) na životnost:

- **Makro-úroveň** – jde o postupy běžně používané v současnosti.
- **Mezo-úroveň** – navrhování s využitím jednodušších, inženýrských modelů degradačních procesů, s přihlédnutím k lokálním vlivům prostředí.
- **Mikro-úroveň** – plně pravděpodobnostní návrh na cílovou životnost či posouzení zbytkové životnosti s podrobným modelováním degradačních procesů a vlivů prostředí.

Makro-úroveň navrhování

Postupuje se dle současných norem a doporučení, tj. posuzují se příslušné mezní stavy tak, že limitní funkce nejsou funkcemi času. Pro projektovanou konstrukci není stanovena specifická návrhová životnost, předpokládá se jen, že konstrukce bude odpovídat doporučené hodnotě, u pozemních staveb obvykle padesát let. K tomuto cíli je nutno dodržet předepsané, limitní hodnoty, např. pevnostní třídu betonu, krytí výztuže, typu a množství cementu, dobu ošetřování a vodního součinitele, obvykle vztažené k tzv. expoziční třídě konstrukce (vliv prostředí). Příkladem jsou tab. 4.1 až 4.5 z [prEN 1992-1] a tab. 5.10-1 v [3] (původní zdroj je CEN, Draft prEN 206-1/24, 1999). Přitom je udána minimální hodnota betonové krycí vrstvy c_{min}, ke které se přičítá tzv. tolerance Δc (má reflektovat očekávanou nepřesnost výroby a obvykle je stanovena dle národních doporučení – u nás je to jednotně 10 mm). Minimální krycí vrstva samozřejmě musí splňovat též požadavky na soudržnost betonu s ocelí a požadavky protipožární (tím se v tomto textu nezabýváme).

Tab. 1 Hloubka karbonatace v mm pro relativní vlhkost RH, čas L v rocích a třídy betonu (c_{CO2} = 800 mg/m³)

Fig. 1 Carbonation depth in mm for relative humidity RH service life L in years and classes of concrete

	RH/L	30	40	50	60	70	80	90
C 30/37	0,4	10,8	12,4	13,9	15,2	16,4	17,6	18,6
	0,5	14,0	16,2	18,1	19,8	21,4	22,9	24,3
	0,6	14,6	16,8	18,8	20,6	22,3	23,8	25,3
	0,7	15,2	17,5	19,6	21,4	23,2	24,8	26,3
	0,8	15,7	18,2	20,3	22,3	24,0	25,7	27,3
	0,9	16,3	18,8	21,1	23,1	24,9	26,6	28,3
C 35/45	0,4	5,5	6,3	7,1	7,8	8,4	9,0	9,5
	0,5	7,2	8,3	9,3	10,2	11,0	11,7	12,4
	0,6	7,5	8,6	9,7	10,6	11,4	12,2	12,9
	0,7	7,8	9,0	10,0	11,0	11,9	12,7	13,5
	0,8	8,1	9,3	10,4	11,4	12,3	13,2	14,0
	0,9	8,4	9,7	10,8	11,8	12,8	13,7	14,5
C 40/50	0,4	2,8	3,3	3,6	4,0	4,4	4,7	4,9
	0,5	3,7	4,3	4,8	5,3	5,7	6,1	6,4
	0,6	3,9	4,5	5,0	5,5	5,9	6,3	6,7
	0,7	4,0	4,6	5,2	5,7	6,1	6,6	7,0
	0,8	4,2	4,8	5,4	5,9	6,4	6,8	7,2
	0,9	4,3	5,0	5,6	6,1	6,6	7,1	7,5
C 45/55	0,4	2,0	2,3	2,6	2,8	3,1	3,3	3,5
	0,5	2,6	3,0	3,4	3,7	4,0	4,3	4,6
	0,6	2,7	3,2	3,5	3,9	4,2	4,5	4,7
	0,7	2,8	3,3	3,7	4,0	4,3	4,6	4,9
	0,8	3,0	3,4	3,8	4,2	4,5	4,8	5,1
	0,9	3,1	3,5	3,9	4,3	4,7	5,0	5,3

Mezo-úroveň

Návrh je založen na modelování postupné degradace materiálů s uvažováním vlivů prostředí v dané lokalitě, přihlíží se k cílové (požadované) životnosti sledované konstrukce. Výpočty mohou být deterministické i pravděpodobnostní. Do této skupiny lze zařadit (s jistými výhradami) i tzv. Faktorovou metodu [5] pro odhad životnosti.

Mikro-úroveň

Zde se používají zmíněné plně pravděpodobnostní přístupy a podrobné (také pravděpodobnostní) modely degradačních procesů. Tyto postupy a modely jsou dnes již známy, jak bylo uvedeno, ale jde o poměrně pracné postupy, vyžadující znalost řady pravděpodobnostních metod a statistických údajů o vlastnostech konstrukce, materiálů a prostředí, což v běžné praxi lze stěží uplatnit.

Proto byl v několika případech výzkum zaměřen také na vytvoření postupů pro navrhování konstrukcí s ohledem na jejich životnost velmi podobných metodě dílčích součinitelů spolehlivosti. Jejich praktické využívání je ale také doposud neschůdné, jelikož hodnoty příslušných součinitelů nejsou stanoveny/kalibrovány.

Další prací (založené na využití modelu karbonatace a životnosti (1b)) je studie [6]; pro českého čtenáře je o tom referováno také v [7]. Pro tři stupně agresivity, dva druhy cementu, krytí 30 a 35 mm, různé hodnoty vodního součinitele a s rozlišením pro běžné či horké klima jsou vypočteny indexy spolehlivosti vypovídající o pravděpodobnosti nedosažení

Tab. 2 Hloubka karbonatace v mm pro třídy betonu a čas L v rocích (RH = 65 %, c_{CO2} = 800 mg/m³)
Fig. 2 Carbonation depth in mm for classes of concrete and service life L in years

C/L	30	40	50	60	70	80	90
C 30/37	14,9	17,2	19,2	21,0	22,7	24,3	25,8
C 35/45	7,6	8,8	9,8	10,8	11,6	12,5	13,2
C 40/50	4,0	4,6	5,1	5,6	6,0	6,5	6,8
C 45/55	2,8	3,2	3,6	3,9	4,3	4,6	4,8

Tab. 3 Hloubka karbonatace v mm pro úrovně CO_2 v mg/m³, čas L v rocích a třídy betonu (RH = 65 %)
Tab. 3 Carbonation depth in mm for concentration values of ambient CO_2 in mg/m³ and service life L in years and classes of concrete (RH = 65 %)

	c_{CO2}/L	30	40	50	60	70	80	90
C 30/37	600	12,9	14,9	16,6	18,2	19,7	21,0	22,3
	800	14,9	17,2	19,2	21,0	22,7	24,3	25,8
	1000	16,6	19,2	21,5	23,5	25,4	27,2	28,8
C 35/45	600	6,6	7,6	8,5	9,3	10,1	10,8	11,4
	800	7,6	8,8	9,8	10,8	11,6	12,5	13,2
	1000	8,5	9,8	11,0	12,1	13,0	13,9	14,8
C 40/50	600	3,4	4,0	4,4	4,8	5,2	5,6	5,9
	800	4,0	4,6	5,1	5,6	6,0	6,5	6,8
	1000	4,4	5,1	5,7	6,2	6,7	7,2	7,6
C 45/55	600	2,4	2,8	3,1	3,4	3,7	3,9	4,2
	800	2,8	3,2	3,6	3,9	4,3	4,6	4,8
	1000	3,1	3,6	4,0	4,4	4,8	5,1	5,4

iniciačního času rovnému padesáti rokům, tj.

$$p_f = P\,(L_i - 50 < 0) \qquad (7)$$

Pro uvedené situace vychází $\beta = 0{,}55$ až 2,55; podobně, jak je uvedeno v předchozím, praktické použití je zatím znemožněno neexistencí předepsaných či alespoň doporučených hodnot (institucemi EU, resp. národními komisemi). Jiná alternativa takového přístupu posuzuje pravděpodobnost splnění podmínky (2), tj.

$$p_f = P\,(c - x_c < 0) \qquad (8)$$

V nedávné době byl vztah (8) využit při posouzení železobetonové televizní věže v Olympijském centru v Mnichově pro životnost sto let.

INFORMACE PRO PRAKTICKÉ VYUŽITÍ PŘI SOUČASNÉM STAVU NORMALIZACE

Na základě numerických studií autorů uvádíme v dalším textu údaje, které mohou posloužit při projektování betonové konstrukce na **specifickou životnost** a pro další orientaci projektanta v této problematice. Přitom jsme využili vztah (1b) a pro určení L_i pak model karbonatace dle Papadakise s funkcí vlivu relativní vlhkosti dle Matouška (viz [2], odst. 1.2.5.1). Tento model byl vybrán proto, že poskytl velmi dobré výsledky při srovnání s realitou – viz podrobná studie chladící věže po 19 letech jejího provozu [8]; kromě toho je také modelem, který přímo zohledňuje vliv koncentrace oxidu uhličitého – podrobněji viz [9].

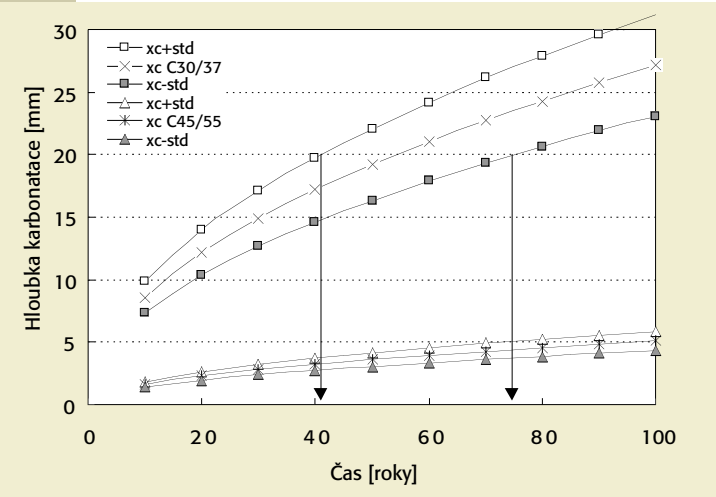
Jak již bylo uvedeno, stanovení iniciačního času L_i je ovlivněno mnoha faktory. Abychom udrželi přijatelnou přehlednost, uvádíme ve formě **„tabulek životnosti"** vždy kombinace hodnot tří rozhodujících veličin, odpovídajících splnění rovnosti (1b) pro několik typů/tříd betonu a časté/očekávané hodnoty koncentrace CO_2, resp. relativní vlhkosti.

Hodnoty v tabulkách jsou stanoveny pro střední hodnoty zúčastněných veličin. Tabulku 1 je vhodné využít v běžných případech, kdy s ohledem na splnění příslušných mezních stavů či z výrobních a technologických důvodů je již zvolena třída betonu. S ohledem na místní klimatické poměry a pro požadovanou životnost můžeme z tabulky odhadnout potřebné krytí výztuže (při střední hodnotě koncentrace CO_2, zjištěné při nedávných měřeních v Brně).

Tabulka 2 ukazuje očekávané střední hodnoty hloubky karbonatace při různém stáří konstrukce umístěné v běžném venkovním prostředí pro různé třídy betonů.

Tabulka 3 poslouží při odhadu vlivu koncentrace CO_2 v případech, kdy konstrukce je umístěna v čistém prostředí, resp. v prostředí, kde lze očekávat postupný nárůst koncentrace škodlivin. Tabulka 4 pomůže orientovat se při úvahách o technologických otázkách (různé hodnoty vodního součinitele).

Důsledek možného rozptylu hloubky



Obr. 1 Proměnlivost hloubky karbonatace (std značí směrodatnou odchylku)
Fig. 1 Variability of carbonation depth (standard deviation std)

Tab. 4 Vodní součinitel pro krytí c v mm a čas L v rocích (RH = 65 %, c_{CO2} = 800 mg/m³)
Tab. 4 Water/cement ratio for cover c in mm and service life L in years

c/L	30	40	50	60
10	0,42	0,40	0,40	0,39
20	0,50	0,48	0,46	0,45
30	0,59	0,56	0,53	0,51
40	0,68	0,63	0,60	0,58

Literatura:
[1] *Křístek V., Mach V., Teplý B., Hájek P.:* Trvale udržitelný rozvoj ve vztahu k betonovým konstrukcím. *Stavební listy*, 2002, VIII., 5, 10–14
[2] *Šmerda Z. a kol.:* Životnost betonových staveb. *Technická knižnice* TK 4, Praha, ČSSI, 1999
[3] Structural Concrete – Textbook on Behaviour, Design and Performance, *fib*, 1999
[4] *Gehlen, Ch.:* Probabilistishe Lebensdauerbemessung von Stahlbeton bauwerken. *Deutsher Ausschuss fuer Stahlbeton*, 510, Berlin 2000
[5] *Teplý B.:* Odhady životnosti konstrukcí – metoda součinitelů. *Stavební obzor*, 1999, 5, 137–139
[6] *Zilch K., Schiessl A.:* The Determination of the Nominal Concrete Cover by Durability Design, Doc. CEN/TC 250/SC 2, 2001
[7] *Procházka J.:* Krycí vrstvy výztuže a životnost betonových konstrukcí. Sb. konf. Technologie, provádění a kontrola betonových konstrukcí 2002, ČSB, Praha, 192–201
[8] *Keršner Z., Novák D., Teplý B., Bohdanecký V.:* Karbonatace betonu, koroze výztuže a životnost chladící věže. *Sanace*, 1996, 4, 21–23
[9] *Králová H., Teplý B.:* Koncentrace oxidu uhličitého – karbonatace betonu – koroze výztuže. *Beton TKS*, 2001, 5, 44–45

karbonatace vlivem rozptylů rozhodujících veličin naznačuje obr. 1, kde je pro dva druhy betonu znázorněn nárůst hloubky karbonatace v čase nejen střední hodnotou, ale též zvětšený, resp. zmenšený o směrodatnou odchylku (pro *COV* = 15 %); mezi okrajovými křivkami se tedy nachází cca 66 % možných případů). Zřetelně lze pozorovat příznivý vliv vyšší třídy betonu.

ZÁVĚR

Bylo ukázáno, že navrhování či posuzování železobetonových konstrukcí s ohledem na specifickou životnost je komplexní a obtížný úkol; přitom zásadní úprava norem a předpisů se v této souvislosti dá očekávat až asi v horizontu deseti let (dle odhadu řešitelů evropského projektu – viz www.duranetwork.com). V předchozím odstavci článku jsou proto autory připraveny orientační hodnoty a souvislosti základních veličin ve formě tzv. matic životnosti pro celou škálu situací, které mohou navrhování usnadnit již dnes, a to bez dalších, podrobnějších analýz.

Práce byla podporována projekty GAČR, zejména projekty č. 103/02/1030 a 103/02/1161.

Prof. Ing. Břetislav Teplý, CSc.
e-mail: teply.b@fce.vutbr.cz
Doc. RNDr. Pavla Rovnaníková, CSc.
e-mail: rovnanikova.p@fce.vutbr.cz
oba: CHE FAST VUT v Brně
Žižkova 17, 602 00 Brno

Ing. Zbyněk Keršner, CSc.
ÚSM FAST VUT v Brně
Veveří 95, 662 37 Brno
e-mail: kersner.z@fce.vutbr.cz

Doc . Ing. Vladimír Weiss, CSc., dlouholetý vědecko-výzkumný a pedagogický pracovník ČVUT opustil tento svět po zákeřné nemoci 12. listopadu t.r.

Doc. Ing. Vladimír Weiss, CSc., se narodil 23. července 1929 v Praze. Po maturitě v roce 1948 na La Gardově reálném gymnáziu v Praze se stal posluchačem Fakulty inženýrského stavitelství ČVUT, obor konstrukčně dopravní. Po absolvovaní vysoké školy v roce 1953 nastoupil do Státního úřadu plánovacího, kde krátce působil jako referent v oddělení stavebnictví. V roce 1953 byl přijat na základě konkurzu na vědeckou aspiranturu v Ústavu teoretické a aplikované mechaniky ČSAV v Praze, kde získal v roce 1958 vědeckou hodnost kandidáta technických věd. V letech 1959 až 1963 pracoval v ÚTAM ČSAV a od roku 1964 v Kloknerově ústavu ČVUT jako vědecký pracovník. V letech 1964 až 67 úspěšně absolvoval postgraduální studium teoretické fyziky na Matematicko-fyzikální fakultě Karlovy university. V roce 1969 byl zvolen do vědecké rady Kloknerova ústavu a stal se jejím vědeckým tajemníkem. V roce 1971 přešel na Stavební fakultu ČVUT a to nejprve na katedru stavebních hmot a v roce 1980 na katedru betonových konstrukcí a mostů. V roce 1992 byl jmenován docentem pro obor betonové stavby na Stavební fakultě ČVUT v Praze.

Vědecká práce docenta Weisse je velmi rozsáhlá a různorodá. Věnoval se problematice konstrukčních plastů a kompozitů, rekonstrukcím a stavebním technologiím. O jeho činorodosti svědčí i 33 přihlášených patentů. Po řadu let mu byla svěřena do péče laboratoř katedry betonových konstrukcí a mostů. Jak v Kloknerově ústavu tak na Stavební fakultě se věnoval experimentální činnosti zejména v oblasti technologie betonu a zesilování. Byl úspěšným řešitelem řady výzkumných úkolů a výsledky svých prací publikoval na konferencích a v mnoha odborných článcích.

Pedagogickou činnost zahájil na Vysoké škole zemědělské, kde v roce 1962 až 63 přednášel betonové stavitelství a stavební mechaniku. Na Stavební fakultě se věnoval výuce stavebních hmot a později výuce betonových a zděných konstrukcí a jejich rekonstrukcím. Stál u zrodu volitelného předmětu „Speciální betony a jejich použití".

Neméně významná je i další činnost docenta Weisse, zejména je třeba uvést jeho spolupráci s praxí, práce na přípravě norem a osvětovou práci – přednášky pro odbornou i laickou veřejnost, aktivní účast na konferencích doma i v zahraničí, organizaci workshopů ČVUT a činnost ve Vědeckotechnické společnosti a České společnosti pro mechaniku při ČSAV.

Docent Weiss pro nás zůstává příkladem vytrvalosti v překonávání překážek a snahou dospět vždy k reálným řešením. Všichni spolupracovníci na něho budou dlouho vzpomínat.

Prof. Ing. Tomáš Vaněk, DrSc.