

## Optimalizace bezpečnosti a životnosti existujících mostů

# Stanovení hloubky karbonatce v čase $t$

### 1. Zadání

Předložený výpočetní produkt je aplikací teoretických postupů popsané v navrhované certifikované metodice.

Karbonatace je chemický proces, jehož důsledkem je koroze výztuže v betonu. Při tomto procesu dochází k reakci složek v betonu s  $\text{CO}_2$  obsaženým ve vzduchu. Důsledek tohoto jevu je snižování PH „ochranné“ vrstvy výztuže, až dojde k její neutralizaci ( $\text{PH} < 9$ ), tj. k depasivaci, a může nastat koroze. Pro stanovení hloubky karbonatce  $d_c$  v čase  $t$  je nutné znát relativní vlhkost vzduchu v místě konstrukce  $RH_{\text{real}}$ , dobu ošetřování betonu  $t_0$ , typ použitého cementu, ekvivalentní vodní součinitel  $w/c_{\text{eqv}}$ , pravděpodobnost rozdělení směru větru za deště  $p_{\text{SR}}$  a počet dní v roce, kdy je úhrn srážek vyšší než 2.5 mm.

*Pozn.: Výsledky jsou značeny **oranžově** a **modře** jsou hodnoty, které lze měnit.*

### 2. Analýza

Hodnocení trvanlivosti je založeno na porovnání krycí vrstvy výztuže  $c$  a hloubky karbonatce  $d_c(t)$ . Tento vztah vyjadřuje rovnice mezního stavu pro depasivaci výztuže:

$$c_{\text{min}} - d_c(t) \geq 0 \quad (1)$$

### 3. Hloubka karbonatce

Hloubka karbonatce  $d_c(t)$  se stanoví ze vztahu:

$$d_c(t) = \sqrt{2 \cdot k_e \cdot k_c \cdot [\gamma_R \cdot (k_t R_{\text{ACC},0}^{-1} + \varepsilon_t)] \cdot C_{\text{CO}_2,\text{S}} \cdot \sqrt{t} \cdot W(t)} \quad (2)$$

Hloubka karbonatce  $d_c(t)$  je závislá na funkci vlhkosti prostředí  $k_e$ , ošetřování betonu  $k_c$ , odolnosti betonu proti karbonataci  $R_{\text{ACC},0}^{-1}$ , odchylce odolnosti  $\varepsilon_t$ , koncentraci  $\text{CO}_2$  v okolním prostředí  $C_{\text{CO}_2,\text{S}}$ , čase  $t$  a lokálním klimatickým podmínkám  $W(t)$ .  $\gamma_R$  je dílčí součinitel pro odolnost betonu.

### 3.1. Koeficient vlhkosti prostředí $k_{ed}$

Koeficient vlhkosti prostředí značí poměr mezi relativní vlhkostí vzduchu v místě konstrukce  $RH_{real}$  (lze zjistit z údajů nejbližší meteorologické stanice) a referenční relativní vlhkostí  $RH_{ref}$  (laboratorně zjištěná hodnota 65 % při teplotě 20 °C).

$$k_{ed} = \left( \frac{1 - \left( \frac{RH_{real}}{100 \cdot Y_{RH}} \right)^{f_e}}{1 - \left( \frac{RH_{ref}}{100} \right)^{f_e}} \right)^{g_e} \quad k_{ed} = 0.942 \quad (3)$$

Koeficienty  $t_e$  a  $g_e$  jsou empiricky získané konstanty a  $g_{RH}$  je dílčí součinitel pro relativní vlhkost

$$RH_{real} = 60 \%$$

$$RH_{ref} = 65 \%$$

$$g_e = 2.5$$

$$g_{RH} = 1.3$$

$$f_e = 5$$

### 3.2. Koeficient ošetřování betonu $k_c$

Koeficient ošetřování betonu  $k_c$  vyjadřuje vliv délky ošetřování povrchu konstrukce  $t_0$  před vystavením účinkům okolního prostředí. Dále je závislý na regresním koeficientu (náhodné veličině)  $b_c$ , který je ve výpočtu uvážen průměrnou hodnotou.

$$k_c = \left( \frac{t_0}{7} \right)^{b_c} \quad k_c = 3.014 \quad (4)$$
$$t_0 = 1 \text{ den} \quad b_c = -0.567$$

### 3.3. Dílčí součinitel pro odolnost betonu $g_R$

$$g_R = 1.5$$

### 3.4. Regresní parametr $k_t$

$$k_t = 1.25$$

### 3.5. Odolnost betonu proti karbonataci $R_{ACC,0}^{-1}$

V laboratorních podmínkách ( $T_{ref} = 20 \text{ °C}$ ,  $RH_{ref} = 65 \%$ ) byly pro jednotlivé druhy cementů a různé vodní součinitele stanoveny hodnoty odolnosti betonu proti karbonataci  $R_{ACC,0}^{-1}$  [(mm<sup>2</sup>/rok)/(kg/m<sup>3</sup>)], které jsou uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 1. Odolnost betonu proti karbonataci  $R_{ACC,0}^{-1}$  [(mm<sup>2</sup>/rok)/(kg/m<sup>3</sup>)]

Druh cementu	Průměrné hodnoty $R_{ACC,0}^{-1}$ v (mm <sup>2</sup> /rok) / (kg/m <sup>3</sup> )					
	$w/c_{eqv}^1$					
	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6
CEM I 42,5 R	- <sup>2</sup>	978	1640	2145	3091	4226
CEM I 42,5 R + FA ( $k = 0,5$ )	- <sup>2</sup>	95	599	757	2050	2618
CEM I 42,5 R + SF ( $k = 2,0$ )	1104	1735	- <sup>2</sup>	- <sup>2</sup>	5203	- <sup>2</sup>
CEM III/B 42,5	- <sup>2</sup>	2618	5330	8389	13970	25229

<sup>1</sup> Ekvivalentní vodní součinitel s uvážením vlivu popílku (FA) a křemičitého prachu součiniteli  $k$ . Uvažované objemy: FA – 22 % váhy cementu, SF – 5 % váhy cementu.  
<sup>2</sup> data nejsou k dispozici.

Pozn.: pro další výpočet je nutné zvolit správnou hodnotu z tabulky 1.  $R_{ACC,0}^{-1} = 4226$

### 3.6. Možná odchylka od laboratorních hodnot $e_t$

$$e_t = 315.5 \text{ (mm}^2\text{/rok)/(kg/m}^3\text{)}$$

### 3.7. Koncentrace CO<sub>2</sub> v okolním prostředí $C_{CO2,S}$

$$C_{CO2,S} = 0.00082 \text{ kg/m}^3$$

### 3.8. Čas $t$

Čas mezi počátkem provozu konstrukce ( $t = 0$ ) a požadovanou dobou, pro kterou je nutné zjistit karbonataci.

Pozn.: čas se zadává v rocích.

$$t = 30 \text{ roků}$$

### 3.9. Parametr popisující lokální klimatické podmínky $W(t)$

Parametr  $W(t)$  je závislý na poměru referenčního času  $t_1$  a času  $t$ , pro který se zjišťuje hloubka karbonatace. Dále závisí na pravděpodobnosti rozdělení směru větru za deště  $p_{SR}$ , deštivých dnech  $ToW$  a exponentu regrese  $b_w$ .

$$W(t) = \left(\frac{t_1}{t}\right)^{\frac{(p_{SR} \cdot ToW)^{b_w}}{2}} \quad W(t) = 0.746 \quad (5)$$

#### 3.9.1. Referenční čas - konstanta.

$$t_1 = 0.0767 \text{ roku}$$

#### 3.9.2. Čas $t$ , pro který se zjišťuje hloubka karbonatace (stejný jako v bodě 2.8).

$$t = 30 \text{ roků}$$

3.9.3. V případě, že se konstrukce nachází v interiéru (nepřijde do kontaktu s vodou) je pravděpodobnost rozdělení směru větru za deště  $p_{SR} = 0$  a pro vododorovné konstrukce v exteriéru je  $p_{SR} = 1$ . Pro všechny ostatní případy se musí  $p_{SR}$  zjistit z dat nejbližší meteorologické stanice.

$$p_{SR} = 0.1$$

3.9.4.  $ToW$  - počet dní za rok, kdy přesáhnou denní srážky 2.5 mm.

$$ToW = \frac{\text{počet dní se srážkami } h_{Nd} \geq 2.5 \text{ mm za rok}}{365} \quad (6)$$

$$\text{počet dní s } h_{Nd} \geq 2.5 \text{ mm} = 20 \text{ dní} \quad ToW = 0.055 \text{ roku}$$

3.9.5. Exponent regrese  $b_w$  je náhodná veličina s normálním rozdělením, průměrem 0.446 a směrodatnou odchylkou 0.163. Pro zjednodušení výpočtu bude nadále uvažován pouze její průměr 0.446.

$$b_{w,d} = 0.446$$

3.10. Hloubka karbonatace  $d_c(t)$

Již by měly být navrženy všechny potřebné parametry a podle vzorce (2) je hloubka

$$= 25.6 \text{ mm.}$$

#### 4. Depasivace

K depasivaci dojde, nebude-li splněna podmínka z rovnice (1), kde  $c_{min}$  závisí na navržené tloušťce krytí  $c_{nom}$  a možné odchylce tloušťky krytí  $Dc_{dev}$ .

$$c_{min} = c_{nom} - \Delta c_{dev} \quad (7)$$

$$c_{nom} = 40 \text{ mm} \quad Dc_{dev} = 10 \text{ mm}$$

$$c_{min} = 30 \text{ mm}$$

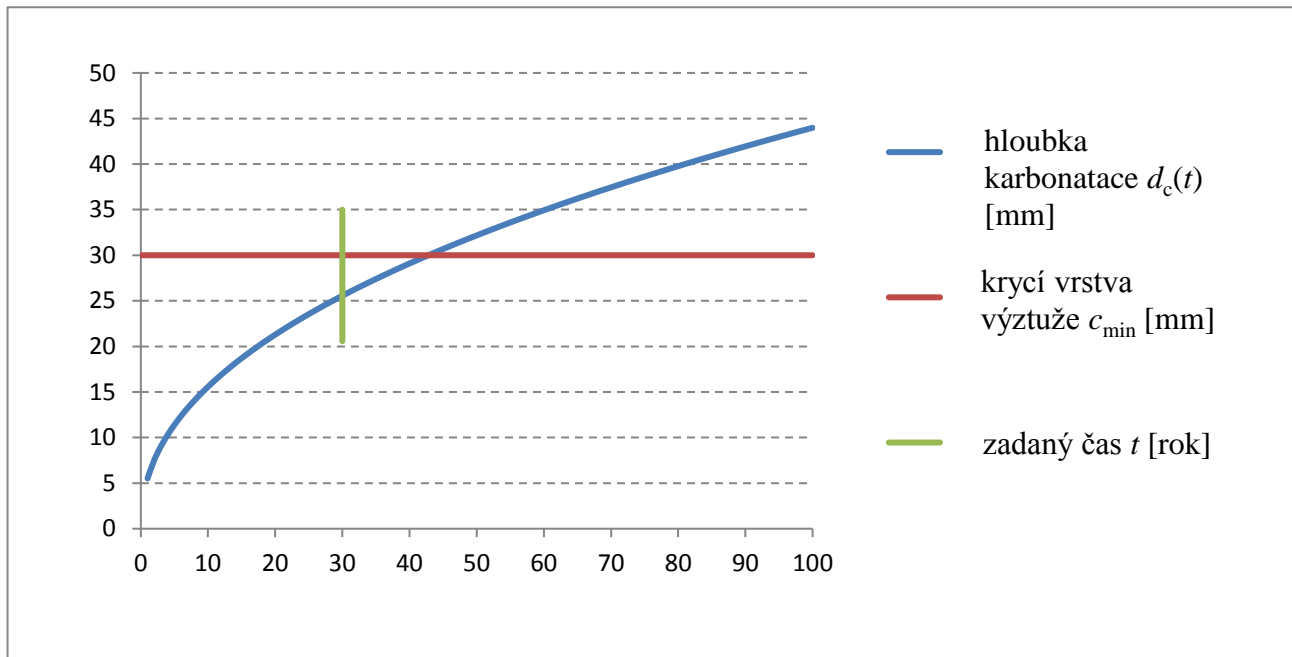
4.1. Mezní stav depasivace

$$c_{min} - d_c(t) \geq 0 \quad (8)$$

$$c_{min} = 30 \text{ mm} \quad d_c(t) = 25.56 \text{ mm.}$$

$$c_{min} - d_c(t) = 4.4 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

Graf 1. Závislost hloubky karbonatace  $d_c(t)$  a tloušťky krytí  $c_{\min}$  na čase  $t$



### 5. Závěr

$t =$  30 roků vychází hloubka karbonatace  $d_c(t)$  25.6 mm. Pro tloušťku krycí vrstvy betonu  $c_{\min}$  30 mm

**VYHOVUJE**