

# Nepříznivé vlivy okolního prostředí

Miroslav Sýkora  
Kloknerův ústav ČVUT v Praze

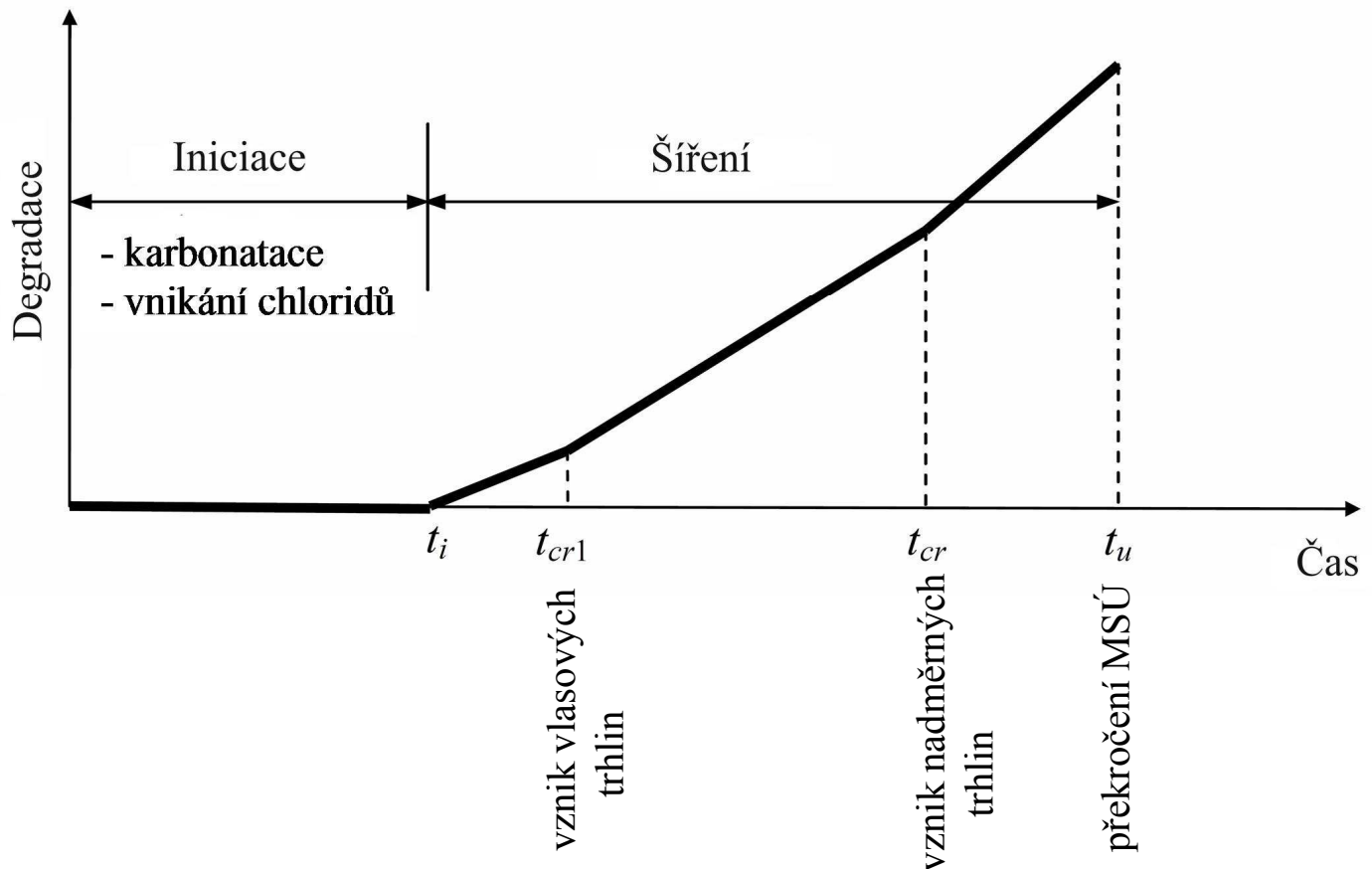
1. Úvod
2. Degradace železobetonových konstrukcí
3. Degradace ocelových konstrukcí
4. Závěrečné poznámky

---

## Úvod

- obvykle pravděpodobnostní modelování degračních procesů
- železobetonové konstrukce: iniciace a rozvoj koroze vlivem karbonatace a pronikáním chloridů (obecně přijaté modely)
- ocelové konstrukce: koroze v závislosti na agresivitě prostředí

# Rozvoj koroze v žb. konstrukcích



## Iniciace způsobená karbonatací

- pravděpodobnost depasivace  $P_{\text{corr}}(t) = P[c - d(t) < 0]$

$$d(t) = \sqrt{2k_e k_c R_{\text{NAC},0}^{-1} C_{\text{CO}_2,s}} \sqrt{t} \times W(t)$$

$k_e$  - vlhkost prostředí,  $k_c$  - ošetřování betonu,  $R_{\text{NAC},0}^{-1}$  - odolnost betonu vůči karbonataci,  $C_{\text{CO}_2,s}$  - koncentrace  $\text{CO}_2$ ,  $W(t)$  - lokální klimatické podmínky

# Deterministické ověření – fib 2006

- ověření trvanlivosti:  $c_d - d_d(t) < 0$
- $c_d = c_{\text{nom}} - 10 \text{ mm}$
- model hloubky karbonatace – charakteristické hodnoty odpovídají průměrným hodnotám
- $k_{e,d} = [(1 - (RH_{\text{skut}} / \gamma_{RH})^5) / (1 - RH_{\text{ref}}^5)]^{2,5}$   
 -  $RH_{\text{skut}}$  (Praha 0,7),  $\gamma_{RH} = 1,3$   
 -  $RH_{\text{ref}} = 0,65$
- $k_{c,d}$

Doba ošetřování ve dnech	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$k_{c,d}$	3,00	2,03	<b>1,61</b>	1,37	1,20	1,09	1,00	0,92	0,86	0,81	0,77	0,73	0,70	0,67

# Deterministické ověření – fib 2006

- $R_{\text{NAC},0}^{-1} - \text{testy}$ ,  $\gamma_R = 1,5$

Druh cementu	Průměrné hodnoty $R_{\text{NAC},0}^{-1}$ v (mm <sup>2</sup> /rok) / (kg/m <sup>3</sup> )					
	$w/c_{\text{eqv}}^1$					
	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60
CEM I 42,5 R	- <sup>2</sup>	1500	2400	3000	4200	<b>5600</b>
CEM I 42,5 R + FA ( $k = 0,5$ )	- <sup>2</sup>	430	1100	1300	2900	3600
CEM I 42,5 R + SF ( $k = 2,0$ )	1700	2500	- <sup>2</sup>	- <sup>2</sup>	6800	- <sup>2</sup>
CEM III/B 42,5	- <sup>2</sup>	3600	7000	10800	17800	31800

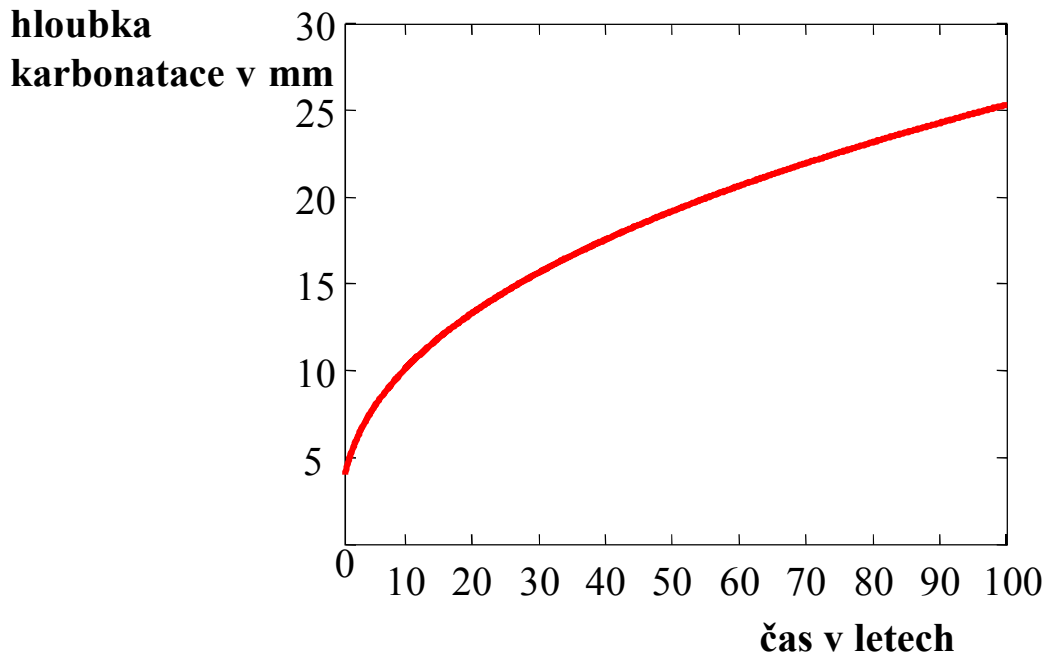
<sup>1</sup> Ekvivalentní vodní součinitel s uvážením vlivu popílku (FA) a křemičitého prachu součiniteli  $k$ . Uvažované objemy: FA – 22 % váhy cementu, SF – 5 % váhy cementu.

<sup>2</sup> data nejsou k dispozici.

- $C_{s,d} = 0,00082 \text{ kg/m}^3$
- $W(t) = (t_0 / t)^{[(p_{\text{SR}} ToW / 365)^{b_w} / 2]}$   
 $t_0$  - referenční doba 0,0767 roku,  $p_{\text{SR}} = 0,1$  (svislé prvky),  $ToW$  – 100 dní,  $b_{w,d} = 0,446$

# Návrhová hodnota hloubky karbonatace

$$d_d(t) = \sqrt{\left[ 2 \left( \frac{1 - \left( \frac{0,7}{1,3} \right)^5}{1 - 0,65^5} \right)^{2,5} 1,61 \times (1,5 \times 5600) \times 0,00082 \right] \sqrt{t} \times \left( \frac{0,0767}{t} \right)^{\frac{(0,1 \times 0,27)^{0,446}}{2}}}$$

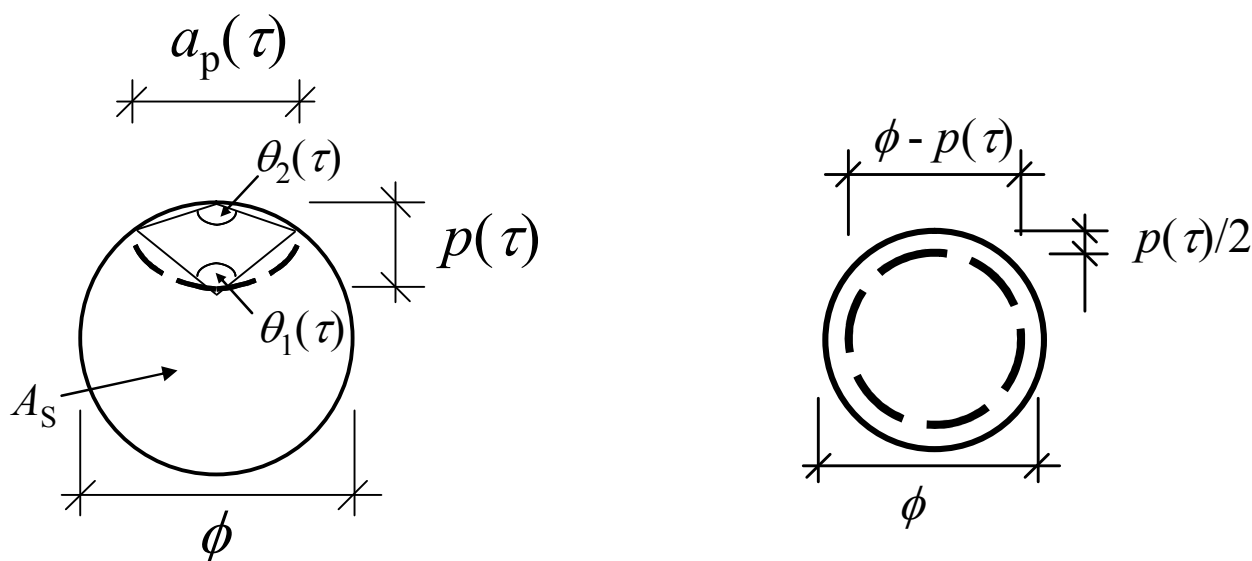


## Iniciace způsobená vnikáním chloridů

- vnikání chloridů – difuze iontů a proudění
- závislost na:
  - vlastnostech betonu (složení, pórovitost, mikrostruktura)
  - saturaci pórů
  - okolním prostředí (koncentrace  $Cl^-$ , teplota, vlhkost)
- druhý Fickův difusní zákon:
$$C(x,t) = C_0 \{ 1 - \operatorname{erf}[x / (2\sqrt{t\theta_D D})] \}$$
- pravděpodobnost překročení mezní koncentrace
$$P_{\text{corr}}(x,t) = P[C_r - C(x,t) < 0]$$

# Koroze výztuže

- korozní rychlost  $i_{\text{corr}}(\tau) = \theta_{i_{\text{corr}}} 0,85 i_{\text{corr}0} \tau^{-0,29}$
- důlková a plošná koroze



## Degradace ocelových konstrukcí

- stupně korozní agresivity podle ČSN EN 12500

Korozní agresivita	Typická prostředí (příklady)	
	Vnitřní	Vnější
C1 - velmi nízká	vytápěné prostory s nízkou vlhkostí a zanedbatelným znečištěním (kanceláře, školy)	-
C2 - nízká	nízká četnost výskytu kondenzace a nízké znečištění (sklady, sportovní haly)	Mírné klima, nízké znečištění $\text{SO}_2 < 12 \text{ mg/m}^3$ (venkovské oblasti, malá města)
C3 - střední	střední četnost výskytu kondenzace a střední znečištění z výrobních procesů (výrobní potravin, prádelny, pivovary)	Mírné klima se středním znečištěním ( $\text{SO}_2$ : 12 až $40 \text{ mg/m}^3$ ) nebo malým vlivem chloridů (městské oblasti)
C4 - vysoká	Vysoká četnost výskytu kondenzací a vysoké znečištění z výrobních procesů (průmyslové provozy, bazény)	Mírné klima, oblast s vysokým znečištěním ( $\text{SO}_2$ : 40 až $80 \text{ mg/m}^3$ ) nebo značným vlivem chloridů (znečištěné městské oblasti, průmyslové oblasti, silný vliv solí rozmrazovacích prostředků)
C5 - velmi vysoká	trvalá kondenzace, vysoké znečištění (důlní, podzemní výrobní prostory)	Mírné klima s velmi vysokým znečištěním ( $\text{SO}_2$ : 80 až $250 \text{ mg/m}^3$ ), silný vliv chloridů (průmyslové oblasti, zóny s postřikem slanou vodou)

# Hodnoty korozních rychlostí ČSN ISO 9223 a ČSN ISO 9224

Korozní rychlost $r_{\text{corr}}$ v $\mu\text{m/rok}$ pro první rok expozice				
C1	C2	C3	C4	C5
$r_{\text{corr}} \leq 1,3$	$1,3 < r_{\text{corr}} \leq 25$	$25 < r_{\text{corr}} \leq 50$	$50 < r_{\text{corr}} \leq 80$	$80 < r_{\text{corr}} \leq 200$
Průměrná korozní rychlost $r_{\text{av}}$ v $\mu\text{m/rok}$ pro prvních 10 let expozice				
C1	C2	C3	C4	C5
$r_{\text{av}} \leq 0,5$	$0,5 < r_{\text{av}} \leq 5$	$5 < r_{\text{av}} \leq 12$	$12 < r_{\text{av}} \leq 30$	$30 < r_{\text{av}} \leq 100$
Ustálená korozní rychlost $r_{\text{lin}}$ v $\mu\text{m/rok}$				
C1	C2	C3	C4	C5
$r_{\text{lin}} \leq 0,1$	$0,1 < r_{\text{lin}} \leq 1,5$	$1,5 < r_{\text{lin}} \leq 6$	$6 < r_{\text{lin}} \leq 20$	$20 < r_{\text{lin}} \leq 90$

## Závěrečné poznámky

- Degradace železobetonových konstrukcí:
  - karbonatace a pronikání chloridů
  - důlková a rovnoměrná koroze výztuže
- Ocelové konstrukce – klasifikace podle agresivity prostředí
- Konvenční modely pro pravděpodobnostní rozbor (průměr, variační koeficient, typ rozdělení)
- Postup podle metody dílčích součinitelů zatím většinou chybí

Děkuji za pozornost

Miroslav Sýkora  
Nepříznivé vlivy okolního prostředí