PŘEDPOVĚĎ INICIAČNÍ DOBY KOROZE BETONÁŘSKÉ VÝZTUŽE VLIVEM KARBONATACE A ÚČINKU CHLORIDŮ

Zpracovali: doc. Ing. Vít Šmilauer, Ph.D., Ing. Karel Pohl, Ph.D. (Fakulta stavební ČVUT v Praze)

Souhrn

Koroze betonářské výztuže představuje kritický faktor pro životnost železobetonových konstrukcí. Správný návrh tloušťky krycí vrstvy betonu dle očekávané doby životnosti je proto základní podmínkou úspěšného návrhu. Zde jsou představeny modely pro karbonataci a šíření chloridů, které zahrnují vliv složení betonu, typ cementu, okrajové podmínky a vliv šířky trhlin. Modely jsou ověřeny na reálných datech železobetonových prvků z okolí dálnice a tvoří dále jádro autorizovaného softwaru CarboChlorCon [1].

Obr. 1 Pilíř a mostovka poškozená korozí výztuže, Chicago, IL.

Oblast použití

Modely pro karbonataci a vedení chloridů lze použít pro návrh trvanlivosti železobetonových prvků pro libovolné dopravní stavby, například silniční panely, betonové železniční pražce, ostění tunelů, či mostní železobetonové nosníky.

Modely karbonatace a vedení chloridů jsou formulovány dostatečně obecně pro akcelerované testy ve vyšších koncentracích CO_2 či chloridů. Model šíření chloridů lze také použít pro krátké časy, například pro tzv. rapid chloride permeability test.

Posoudit lze železobetonové konstrukce včetně trhlin, které významně snižují indukční dobu koroze výztuže – pro chloridy i karbonataci dojde k přibližně šestinásobnému zkrácení indukční doby při trhlině 0,3 mm [1].

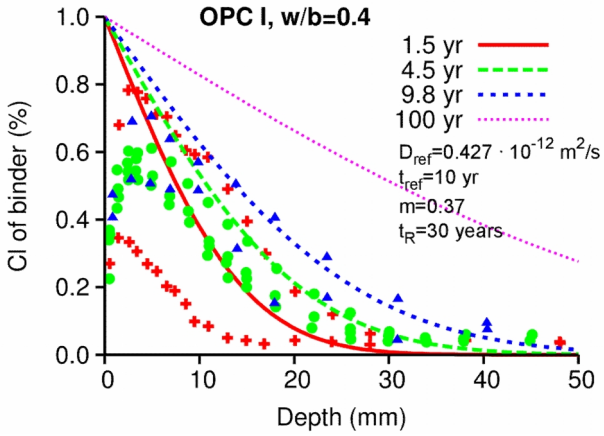
Modely lze použít pro tzv. performance-based design, kdy se požaduje určitá životnost prvku a hledá se recipročně tloušťka krycí vrstvy.

Metodika a postup řešení

V roce 2013 byl již sestaven základní fyzikální a matematický model pro karbonataci [2] a chloridy [3]. V roce 2014 byl tento model odladěn a implementován do excelovského (LibreOffice) prostředí a uvolněn formou autorizovaného softwaru CarboChlorCon [1]. V softwaru CarboChlorCon je předdefinovaných celkem šest charakteristických pojiv s pojivovými součiniteli 0,3 – 0,8, které pokrývají škálu téměř všech konstrukčních betonů.

Výsledky

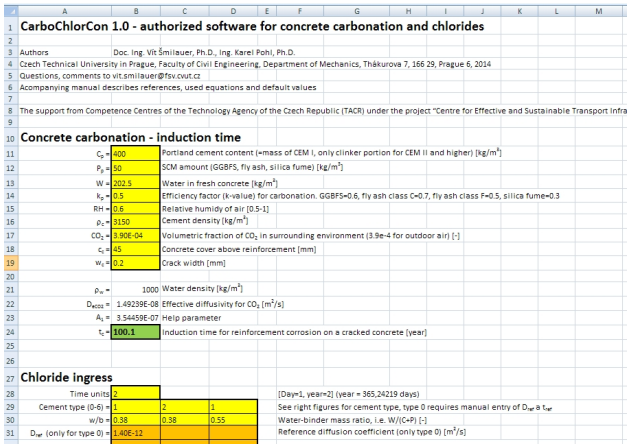
Model šíření chloridů byl porovnán s experimentálními daty z doby expozice v reálném prostředí od 1,5 do 9,8 let [4]. Následující obrázek ukazuje značný rozptyl dat během expozice 1,5 roku s klesajícím rozptylem dat v 9,8 letech. Další validace pro cement s přídavkem siliky je v manuálu [1].



Obr. 1 Validace modelu pro šíření chloridů.

Tento výsledek byl vytvořen s finanční podporou programu Centra kompetence TA ČR, projekt č.TE01020168

Obrázek 2 ukazuje prostředí softwaru CarboChlorCon.



1	**CarboChlorCon 1.0 - authorized software for concrete carbonation and chlorides**			
2				
3	Authors	Doc. Ing. Vít Šmilauer, Ph.D., Ing. Karel Pohl, Ph.D.		
4	Czech Technical University in Prague, Faculty of Civil Engineering, Department of Mechanics, Thákurova 7, 166 29, Prague 6, 2014			
5	Questions, comments to vit.smilauer@fsv.cvut.cz			
6	Acompanying manual describes references, used equations and default values			
7				
8	The support from Competence Centres of the Technology Agency of the Czech Republic (TACR) under the project "Centre for Effective and Sustainable Transport Infra			
9				
10	**Concrete carbonation - induction time**			
11	C_p =	400		Portland cement content (=mass of CEM I, only clinker portion for CEM II and higher) [kg/m^3]
12	P_p =	50		SCM amount (GGBFS, fly ash, silica fume) [kg/m^3]
13	W =	202.5		Water in fresh concrete [kg/m^3]
14	k_p =	0.5		Efficiency factor (k-value) for carbonation. GGBFS=0.6, fly ash class C=0.7, fly ash class F=0.5, silica fume=0.3
15	RH =	0.6		Relative humidy of air [0.5-1]
16	ρ_c =	3150		Cement density [kg/m^3]
17	CO_2 =	3.90E-04		Volumetric fraction of CO_2 in surrounding environment (3.9e-4 for outdoor air) [-]
18	c_c =	45		Concrete cover above reinforcement [mm]
19	w_c =	0.2		Crack width [mm]
20				
21	ρ_w =	1000		Water density [kg/m^3]
22	$D_{eff,CO2}$ =	1.49239E-08		Effective diffusivity for CO_2 [m^2/s]
23	A_1 =	3.54459E-07		Help parameter
24	t_c =	100.1		Induction time for reinforcement corrosion on a cracked concrete [year]
25				
26				
27	**Chloride ingress**			
28	Time units	2		[Day=1, year=2] (year = 365,24219 days)
29	Cement type (0-6) =	1	2	1	See right figures for cement type, type 0 requires manual entry of D_{ref} a t_{ref}
30	w/b =	0.38	0.38	0.55	Water-binder mass ratio, i.e. W/(C+P) [-]
31	D_{ref} (only for type 0) =	1.40E-12			Reference diffusion coefficient (only type 0) [m^2/s]

Obr. 2 Ukázka prostředí CarboChlorCon.

Software CarboChlorCon se použil pro návrh krytí výztuže železobetonových sloupů, které mají být umístěny v okolí dálniční komunikace. Šíření chloridů v betonu byl kritický jev oproti pomalejší karbonataci. Ze známého složení betonů C55/67 bylo navrženo potřebné krytí výztuže pro očekávanou životnost a šířku trhliny:

Šířka trhliny (mm)	Indukční doba (roky)		
	30	60	100
0,0	26 mm	31 mm	36 mm
0,1	35 mm	42 mm	49 mm
0,2	47 mm	56 mm	65 mm
0,3	60 mm	71 mm	83 mm

Závěr

V roce 2014 byl vytvořen autorizovaný software CarboChlorCon [1]. Oproti konvenčním přístupům a metodám nabízí započítat i vliv trhlin. Ukazuje se, že trhliny 0,3 mm zkracují přibližně šestinásobně iniciační dobu koroze výztuže pro karbonataci i chloridy [3] a jejich vliv je často podceňován. Cesta k trvanlivým železobetonovým konstrukcím vede také přes minimalizaci trhlin, které vznikají zejména díky autogennímu smršťování a vysýchání. Oběma jevům se lze bránit použitím betonů s menším množstvím slínku či použitím směsných cementů s pomalejším náběhem pevnosti.

Literatura

[1] ŠMILAUER, V., POHL, K.: CarboChlorCon 1.0 - authorized software for concrete carbonation and chlorides, 2014. Ke stažení http://mech.fsv.cvut.cz/~smilauer/index.php?id=software

[2] PAPADAKIS, V.G., TSIMAS, S. Supplementary cementing materials in concrete. Part I: efficiency and design. *Cem. Concr. Res.*, 2002, vol. 32, no. 10, p. 1525–1532.

[3] KWON, S.J., NA, U.J., PARK, S.S., JUNG, S.H. Service life prediction of concrete wharves with early-aged crack: Probabilistic approach for chloride diffusion. *Structural Safety*, 2009, vol. 31, no. 1, p. 75 – 83.

[4] LUPING, T. UTGENNANT, P. Chloride Ingress and Reinforcement Corrosion in Concrete under De-Icing Highway Environment – A Study after 10 Years' Field Exposure. *SP report,* 2007:76, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.