

# METODY RYCHLÉHO STANOVENÍ DIFUZIVITY CHLORIDŮ V BETONU METHODS OF RAPID DETERMINATION OF CHLORIDE DIFFUSIVITY IN CONCRETE

MARTA KOSIOR-KAZBERUK

Článek popisuje dvě metody rychlého určení difuzivity chloridů v betonu. Experimentální část zkoumala betonové směsi se dvěma typy cementu a s různými obsahy popílku. Poté jsou porovnány výsledky získané dvěma různými testovacími metodami.

Two procedures for rapid determining the chloride diffusivity in concrete are presented in the paper. In the presented experimental investigation concrete mixtures made of two types of cement and containing fly ash in varying proportions were examined. The results obtained in two different test methods are compared.

Pronikání chloridových iontů do betonu je zásadním faktorem při korozi výztuže a je tudíž důležité i z hlediska odolnosti a životnosti betonových konstrukcí. Propustnost betonu pro chloridy je vlastností natolik výraznou, že je třeba ji hodnotit nezávisle na vlastnostech ostatních, a to zejména pokud jde o návrhy a stavbu betonových konstrukcí, které mají stát v prostředí se slanou vodou.

Hlavním zdrojem chloridů v betonu jsou chloridové ionty pronikající zvenčí. V případě silničních staveb, mostů a garáží se může jednat o rozmrazovací soli ( $\text{NaCl}$  a  $\text{CaCl}_2$ ). Dalším zdrojem chloridových iontů je mořská voda v přímém kontaktu s betonem. Chloridy se mohou také usazovat na povrchu betonu ve formě velmi jemných kapiček mořské vody rozptýlených ve vzduchu, které nese vítr. Brakic-

ké podpovrchové vody jsou dalším zdrojem chloridů. Chloridy pronikají do betonu difúzí iontů ve vodě, kapilárním sáním a absorpcí. Dlouhodobé nebo opakované pronikání chloridů může mít časem za následek vysokou koncentraci chloridových iontů u povrchu ocelové výztuže [1].

Difuzivita poréznych materiálů, jakým je např. beton, se běžně určuje přístrojem k určení difuzivity nebo ponořením do roztoku. Předpokládá se stacionární difúze chloridových iontů vzorkem zatvrdlé cementové pasty (1. Fickův zákon) nebo nestacionární difúze vzorkem betonu (2. Fickův zákon). Tyto metody však jsou časově velmi náročné a výsledky jsou k dispozici často až po uplynutí měsíců či let, a to zejména v případě vysokohodnotných betonů [2, 3]. Není možné ohodnotit vlastnosti betonu v raných stádiích. Metody založené na přirozeném difúzním procesu nejsou vhodné pro testování konstrukcí, protože se jedná o laboratorní metody. Protože konvenční metody nevyhovují stavebně technickým požadavkům, jsou požadovány rychlé zkoušky k hodnocení stávajících konstrukcí, nových materiálů a ošetření. Nevýhodou spočívající ve zdlouhavosti se podařilo odstranit použitím elektrického pole, které urychluje pohyb chloridových iontů do té míry, že čas potřebný k provedení testu se zkrátí z několika měsíců na několik hodin.

Článek uvádí dvě metody rychlého testování. Prostupnost chloridů byla hodnocena pomocí rychlé kvalitativní zkoušky (RCPT – Rapid chloride permeability test) a experimentu s nestacionární migrací (RCMT – Rapid chloride migration test),

který hodnocení difuzivity umožňuje. Obě metody lze uplatnit při testování ztvrdlých vzorků vyrobených v laboratoři nebo vzorků odvrtných z hotových konstrukcí.

Za účelem pokrytí širšího rozsahu podmínek v tomto výzkumu byly použity různé druhy pojiva. Článek se zabývá betonem s použitím popílku jako doplňkového pojiva a jsou zde uvedeny výsledky výzkumu změn odolnosti betonu vůči pronikání chloridů v závislosti na typu cementu, poměru obsahů popílku a cementu a době ošetřování betonu.

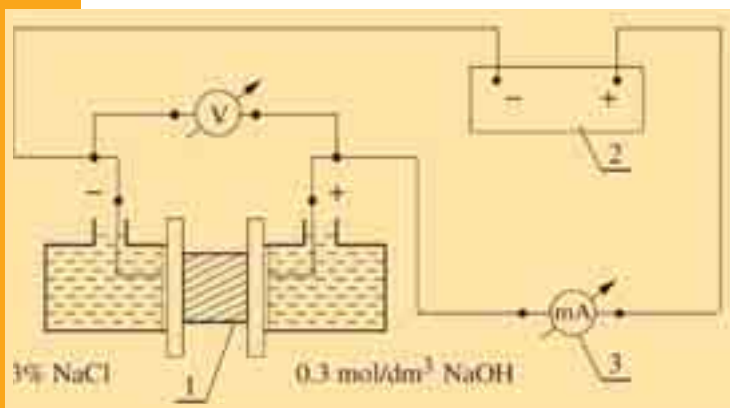
## METODY ZKOUŠENÍ

### Rychlá zkouška prostupnosti chloridů (RCPT)

Rychlá zkouška prostupnosti chloridových iontů (RCPT) byla provedena v souladu s ASTM C 1202 [4]. Metoda určuje odolnost betonu vůči pronikání chloridových iontů na základě určení elektrické vodivosti betonu rychlým stanovením odporu. Test RCPT je ve skutečnosti stanovením elektrického odporu.

Vzorek válcového tvaru byl umístěn do měřicí cely mezi dvě nádrčky. Jedna nádrčka obsahuje 3% roztok  $\text{NaCl}$  ( $0,523 \text{ mol/dm}^3$ ) a druhá roztok  $\text{NaOH}$  o koncentraci  $0,3 \text{ mol/dm}^3$ . Nádrčka obsahující chlorid sodný je připojena k zápornému pólu a nádrčka s hydroxidem sodným ke kladnému pólu elektrického zdroje (obr. 1).

Po dobu 6 h je měřen procházející stejnosměrný elektrický proud při napětí 60 V. Náboj [C] procházející vzorkem v průběhu 6 h zkoušky je získán integrací oblasti pod křivkou proudu [A] v závislosti



Obr. 1  
Schéma uspořádání měřicí aparatury:

1 – testovací dílek, 2 – napájení o konstantním napětí, 3 – přístroje k odečítání údajů

Fig. 1  
Scheme of measurement arrangement

Tab. 1  
Prostupnost pro chloridové ionty v závislosti na náboji, který prošel vzorkem [4]

Tab. 1  
Chloride ion penetrability based on charge passed [4]

Náboj [C]	Prostupnost pro chloridové ionty
> 4000	vysoká
2000 + 4000	střední
1000 + 2000	nízká
100 + 1000	velmi nízká
< 100	zanedbatelná

na čase [s]. Ukázalo se, že celkový náboj, který prošel vzorkem, je úměrný odolnosti vzorku vůči pronikání chloridových iontů. Kvalitativní hodnocení prostupnosti je prováděno podle tabulky 1.

Během zkoušek byla sledována teplota roztoků. Teplota vzorků i roztoků by měla být udržována v rozmezí od 20 do 25 °C. Při vyšší teplotě se transport iontů výrazně urychluje, což vede k chybným závěrům.

### Rychlá zkouška migrace chloridů (RCMT)

K určení hodnoty koeficientu migrace chloridů byla v této studii použita elektrochemická metoda, která je nazývána Rychlou zkouškou migrace chloridů (RCMT) [5]. V ose napříč vzorkem diskovitěho tvaru byl připojen zdroj elektrického potenciálu, který nutil chloridové ionty migrovat z povrchu do vnitřní části vzorku. Teoretický základ výpočtu difuzivity chloridů v betonu je uveden v [6].

Použité napětí a doba zkoušky jsou závislé na naměřené hodnotě počátečního proudu, čímž se eliminuje vliv zahřívání vzorku. Betonovými disky procházelo napětí o velikosti asi 30 V přes vnější nerezové elektrody umístěné na protilehlých stranách vzorku.

Elektrolyt v katodické části zařízení (katolyt) představoval 10% roztok NaCl (2,0 mol/dm<sup>3</sup>) a elektrolytem v anodické části (anolyt) byl roztok 0,3 mol/dm<sup>3</sup> NaOH. Po skončení zkoušky (po 24 h) byl disk rozdělen podélně na dva poloviční válce. Nově vzniklý povrch byl nastříkán roztokem indikátoru (AgNO<sub>3</sub>), k určení hloubky proniknutí chloridů. Kolorimetrická metoda s AgNO<sub>3</sub> ukazuje barevnou změnu při koncentraci chloridů  $c_d = 0,07$  mol/dm<sup>3</sup>. Hloubka průniku chloridů byla měřena podle viditelné bílé sraženiny chloridu stříbrného na sedmi místech povrchu řezu. Výstupním parametrem zkoušky je průměrná hloubka proniknutí  $x_d$ .

Údaje byly použity k výpočtu koeficientu nestacionární migrace chloridů  $D_{nssm}$  [m<sup>2</sup>/s] z rovnice (1)

$$D_{nssm} = \frac{RTL}{zF(U-2)} \cdot \frac{x_d - \alpha\sqrt{x_d}}{t}, \quad (1)$$

kde

$$\alpha = 2 \sqrt{\frac{RTL}{zF(U-2)}} \cdot \operatorname{erf}^{-1} \left( 1 - \frac{2c_d}{c_0} \right), \quad (2)$$

kde  $z$  je absolutní hodnota náboje iontu, pro chloridy  $z = 1$ ;  $F$  je Faradayova konstanta,  $F = 9,648 \cdot 10^4$  J/(Vmol);  $U$  absolutní hodnota použitého napětí [V];  $R$  plynová konstanta,  $R = 8,314$  J/(Kmol);  $T$  průměrná hodnota teploty roztoku analytu [K];  $L$  tloušťka vzorku [m];  $x_d$  průměrná hodnota hloubky průniku [m];  $t$  doba trvání testu [s];  $\operatorname{erf}^{-1}$  převrácená hodnota chybové funkce;  $c_d$  koncentrace chloridů, při níž dochází ke změně barvy,  $c_d = 0,07$  mol/dm<sup>3</sup> a  $c_0$  je koncentrace chloridů v roztoku katolytu,  $c_0 = 2,0$  mol/dm<sup>3</sup>.

$$\operatorname{Poněvadž} \operatorname{erf}^{-1} \left( 1 - \frac{2 \cdot 0,07 c_d}{2} \right) = 1,28$$

lze pro  $D_{nssm}$  navrženou v [5] použít následující zjednodušenou rovnici (3), pro [10<sup>-12</sup> m<sup>2</sup>/s]

$$D_{nssm} = \frac{0,0239(273+T)L}{(U-2)t} \cdot \left( x_d - 0,0238 \sqrt{\frac{(273+T)Lx_d}{U-2}} \right) \quad (3)$$

kde  $U$  je absolutní hodnota použitého napětí [V];  $T$  průměrná hodnota teploty roztoku analytu [°C];  $L$  tloušťka vzorku [mm];  $x_d$  průměrná hodnota hloubky průniku [mm];  $t$  doba trvání testu [h]. Výpočet koeficientu je detailně popsán v [2].

Nestacionární migrační koeficient nelze srovnávat přímo s koeficientem difúze chloridů získaným z jiných zkušebních metod, ale je velmi užitečný k rychlému kvantitativnímu měření odolnosti testovaného materiálu vůči pronikání chloridů.

### MATERIÁLY A VZORKY

Některé publikace uvádějí vynikající užitné vlastnosti betonů s obsahem alternativních pojivových materiálů (Alternativní cementitious materials – ACMs), jako např. popílek, mletá granulovaná struska nebo mikrosilika ve slané prostředí [7, 8]. Odolnost těchto betonů byla vztá-

hována k nižší mobilitě chloridových iontů zapříčiněné omezením počtu vzájemně propojených pórů v důsledku pucolánové reakce alternativních pojivových materiálů nebo v důsledku chemických vazeb s hydráty cementu.

Sekundární reakční produkty se však pomalu tvoří i v betonu na bázi portlandského cementu a alternativních pojivových materiálů, takže i v tomto případě se odolnost vůči pronikání chloridových iontů pomalu s časem zvyšuje. O vývoji odolnosti vůči pronikání chloridů do betonových směsí s obsahem minerálních příměsí není k dispozici dostatek údajů.

Zkoušky byly prováděny na jemnozrnném betonu s příměsí popílku. Byly použity dva typy komerčních cementů: Portlandský cement CEM I 32,5 R (cement C1) a vysokopecní cement CEM III/A 32,5 NA (cement C2). Obsah strusky v cementu C2 byl 62 %.

Použit byl popílek z místní elektrárny. Ztráta žháním nepřekročila během 25 dnů sledování 4,8 %. Specifická hmotnost minerálních příměsí činila 2,23 kg/dm<sup>3</sup>.

Jako jemné kamenivo byl použit říční písek s maximálním průměrem zrna 2 mm, jako hrubá frakce bazaltová drť s maximálním průměrem zrna 8 mm.

Zkoušky byly prováděny na vzorcích připravených ze směsí se třemi různými obsahy popílku: 10, 20 a 30 % vztaheno k množství cementu (FA/C) a rovněž na kontrolním vzorku z nemodifikované směsi (FA/C = 0,0). Část popílku (20 %) byla započítávána jako pojivo a zbývající část jako filér. Obsah cementu v kontrolním betonu byl 350 kg/m<sup>3</sup>. Poměr vody k pojivu v testovaných betonech byl konstantní ( $w/b = 0,5$ ). Složení testovaných betonů je uvedeno v tabulce 2.

V testech byly použity betonové disky o tloušťce 50 mm a průměru 105 mm. Vzorky byly skladovány v klimatické komo-

Tab. 2 Dávkování použitých materiálů  
Tab. 2 Dosage of the materials used

FA/C	Cement [kg/m <sup>3</sup> ]	Popílek [kg/m <sup>3</sup> ]	Voda [kg/m <sup>3</sup> ]	Kamenivo [kg/m <sup>3</sup> ]		
				Písek 0÷2	Drť 2÷4	Drť 4÷8
0	350	0	175	795	497	695
0,1	343	34,3	175	780	488	682
0,2	337	67,4	175	767	479	671
0,3	330	99	175	754	472	660

Typ cementu	FA/C	Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]	Nasákavost [% vody]	Sorptivita [% vody]	Pevnost v tlaku [MPa]		
					28 dní	90 dní	180 dní
C1	0	2230	5,57	2,6	53,3	54	55,4
	0,1	2280	5,01	2,9	52,3	55,5	63,5
	0,2	2280	5,11	2,82	52,1	59,3	68,4
	0,3	2260	5,41	2,71	50,6	57,5	62,5
C2	0	2220	5,52	2,75	46,3	51,3	51,9
	0,1	2260	5,34	2,04	46,7	53,3	54,7
	0,2	2260	5,57	1,88	41,2	59,1	65,8
	0,3	2240	5,58	1,57	43,5	58,2	63,8

Tab. 3 Vybrané vlastnosti betonů s přidavkem popílku po 28, 90 a 180 dnech ošetřování

Tab. 3 Selected properties of concretes with fly ash addition after 28 and 90 days of curing

Tab. 4 Kvalitativní hodnocení propustnosti chloridů podle [4]

Tab. 4 Qualitative evaluation of chlorides penetrability according to [4]

Typ cementu	FA/C	Po 28 dnech ošetřování			Po 90 dnech ošetřování			Po 180 dnech ošetřování		
		Náboj [C]	Propustnost chloridů	C <sub>C/FA</sub>	Náboj [C]	Propustnost chloridů	C <sub>C/FA</sub>	Náboj [C]	Propustnost chloridů	C <sub>C/FA</sub>
C1	0	3289	střední	–	1917	střední	–	1452	nízká	–
	0,1	2445	střední	1,34	971	nízká	1,97	601	velmi nízká	2,41
	0,2	2274	střední	1,45	720	velmi nízká	2,66	341	velmi nízká	4,26
	0,3	1984	střední	1,66	481	velmi nízká	3,98	273	velmi nízká	5,32
C2	0	790	velmi nízká	–	445	velmi nízká	–	340	velmi nízká	–
	0,1	845	velmi nízká	0,93	313	velmi nízká	1,42	245	velmi nízká	1,39
	0,2	700	velmi nízká	1,13	278	velmi nízká	1,60	203	velmi nízká	1,67
	0,3	624	velmi nízká	1,27	201	velmi nízká	2,21	218	velmi nízká	1,56

ře při 95% relativní vlhkosti a  $18 \pm 2$  °C. Před započítáním zkoušky byly vzorky vakuovány podle [4]. Každá série vzorků sestávala ze tří kusů.

Výsledky zkoušek vybraných vlastností jednotlivých ztvrdlých betonů jsou souhrnně uvedeny v tabulce 3.

Nasákavost a sorptivita byly určeny po 28 dnech ošetřování. Nasákavost je vyjádřena jako množství vody absorbované vzorkem zcela ponořeným do vody vztážené k hmotnosti suchého vzorku. Sorptivita je schopnost betonu absorbovat vlhkost z okolí při 95% relativní vlhkosti.

Jak je patrné z tabulky 3, přidavek popíl-

ku v posuzovaném rozmezí hodnot FA/C omezuje sorptivitu betonu s cementem C2, avšak nemá žádný významný vliv na objemovou hmotnost a nasákavost. Po 90 a 180 dnech skladování dosáhly betony s přidavky vyšších hodnot pevnosti v tlaku, než kontrolní vzorky.

#### VÝSLEDKY A DISKUZE

Výsledky testu RCPT po 28, 90 a 180 dnech skladování jsou uvedeny v grafech na obr. 2 a 3 a kvalitativní hodnocení propustnosti chloridových iontů podle [4] je uvedeno v tabulce 4.

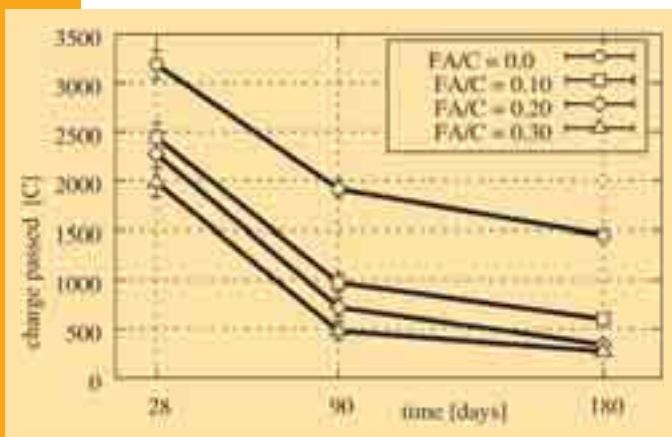
Teplota roztoků použitých při zkouškách přesáhla v průběhu měření teplotu 25 °C pouze v případě kontrolního vzorku betonu po 28 dnech ošetřování.

Výsledky zkoušek ukazují, že betony s portlandským cementem (C1) s přidav-

kem popílku dosáhly střední, nízké a velmi nízké propustnosti chloridů, avšak betony s portlandským cementem (C1) bez popílku dosáhly pouze střední nebo nízké propustnosti. Všechny betony s vysokopecním cementem (C2) dosáhly velmi nízké propustnosti bez ohledu na množství příměsi vzhledem k obsahu cementu. Avšak poměr FA/C a prodloužená doba ošetřování nemají tak jednoznačný vliv na snížení procházejícího náboje jako v případě výše zmíněných betonů s portlandským cementem. Pravděpodobně došlo k potlačení pucolánové reakce popílku v ranném stádiu z dů-

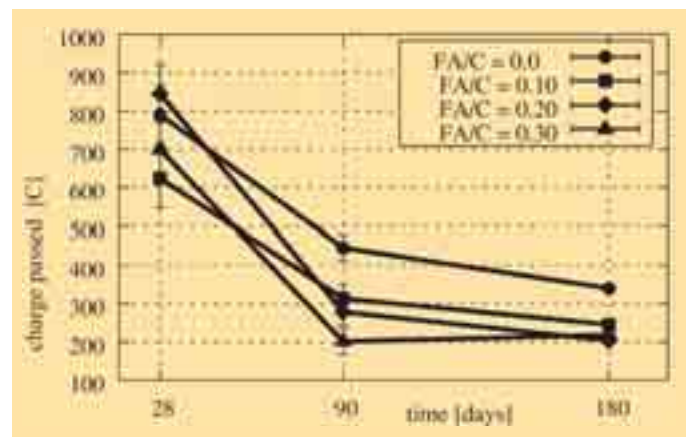
Obr. 2 RCPT celkový náboj, který prošel betony s cementem C1

Fig. 2 RCPT total charge passed for C1 cement concretes



Obr. 3 RCPT celkový náboj, který prošel betony s cementem C2

Fig. 3 RCPT total charge passed for C2 cement concretes





vodu přítomnosti významného množství strusky v pojivu.

Obecně vzato, celková hodnota náboje prošlého vzorky betonu klesala se vzrůstající dobou ošetřování. Stupeň snížení prošlého náboje byl vyšší pro betony obsahující popílek než pro kontrolní betony. Bez ohledu na dobu ošetřování byl náboj prošlý vzorky s vysokopecním cementem (C2) několikanásobně menší, než u vzorků s portlandským cementem (C1). Významné rozdíly hodnot celkového prošlého náboje svědčí o vlivu typu cementu na odolnost betonu vůči pronikání chloridů.

K analýze trendu prošlého náboje byl použit faktor  $C_{C/FA}$ . Faktor je definován jako poměr celkového náboje, který prošel kontrolním vzorkem, k celkovému náboji, který prošel vzorkem betonu s přidavkem popílku, pro každý typ použitého cementu zvlášť. Vyšší hodnota  $C_{C/FA}$  (tabulka 4) znamená, že prošlý náboj je menší než u kontrolního vzorku. Po 28 dnech ošetřování byly změny

$C_{C/FA}$  u betonů s cementem C1 téměř nepostřehnutelné, u betonů s cementem C2 je vliv popílku na propustnost chloridů těžko hodnotitelný. Betony s cementem C2 dosáhly velmi nízké propustnosti (náboj < 1000 C) právě díky použití vysokopecního cementu.

Příznivý vliv popílku není patrný dříve, než po 90 dnech ošetřování a snížení prošlého náboje je ve srovnání s kontrolními vzorky stále pozorovatelné u vzorků s popílkem ještě po 180 dnech skladování. Míra vzrůstu  $C_{C/FA}$  v průběhu doby ošetřování byla významně větší u betonů s cementem C1.

Na základě výsledků testu RCPT je obtížné určit vliv popílku na propustnost chloridů po 28 dnech ošetřování.

Test RCPT bohužel neposkytuje informace o difúzi chloridových iontů v betonu. Je měřen pouze celkový náboj, který projde vzorkem, což nereprezentuje množství chloridových iontů [2]. Jelikož je obtížné vypočítat difuzivitu chloridů na základě údajů získaných z testu

RCPT, byla pro rychlé a přímé kvantitativní stanovení difuzivity chloridů [9] použita metoda RCMT. Koeficienty stanovené migračním testem [5] v nestacionárních podmínkách jsou uvedeny v grafech na obr. 4 a 5.

Přídavek popílku a přítomnost strusky v cementu mají na koeficient migrace chloridů významný vliv. Analýza výsledků zkoumání obou typů cementu prokázala příznivý vliv delší doby ošetřování a přidavku popílku na difuzivitu chloridů v betonu.

V případě betonů s cementem C1 (obr. 4) s obsahem popílku poklesla hodnota koeficientu migrace v průběhu 150 dnů (mezi 28. a 180. dnem uskladnění) sedmkrát. U těchto betonů je obtížné jednoznačně určit vztah mezi poměrem  $FA/C$  a koeficientem migrace mezi 28. a 90. dnem ošetřování, a to pravděpodobně z důvodu nepřesnosti kolorimetrické metody měření hloubky proniknutí chloridů. Výsledky získané po 180 dnech však potvrzují výsledky testu RCPT.

## SPOLEČNOSTI AB STUDIO A ING. SOFTWARE DLUBAL SE DOHODLY NA SPOLUPRÁCI PŘI VÝVOJI A PRODEJI ŘEŠENÍ PRO PROJEKTOVÁNÍ BETONOVÝCH A OCELOVÝCH KONSTRUKCÍ

Cílem spolupráce je vytvoření kvalitního propojení programů obou společností, které projektantům přinesou vyšší efektivitu při zpracování statických výpočtů a následné přípravě projektové dokumentace. Společnost Ing. Software Dlubal se svými programy RSTAB a RFEM pro statické výpočty zaujímá významné postavení především na německém trhu. Společnost AB Studio, dodavatel systémů CADKON a AdvanceSteel, patří k rozhodujícím dodavatelům komplexních CAD řešení společnosti Autodesk na českém a slovenském trhu.

Společnosti AB Studio a Ing. Software Dlubal pořádají seminář „Navrhování betonových a ocelových konstrukcí“


- 23.10. Praha
- 24.10. Hradec Králové
- 25.10. České Budějovice
- 26.10. Ostrava
- 27.10. Brno

Bližší informace najdete na [www.dlubal.cz](http://www.dlubal.cz), kde se můžete registrovat, příp. také na tel. čísle 222 520 247 nebo e-mailem [info@dlubal.cz](mailto:info@dlubal.cz).

Semináře jsou bezplatné.


### RSTAB

Program pro výpočet rovinných i prostorových prutových konstrukcí



### RFEM


Program pro výpočet konstrukcí metodou konečných prvků



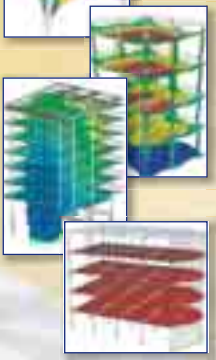
Demoverze zdarma ke stažení

[www.dlubal.cz](http://www.dlubal.cz)

- Řada přídatných modulů
- Rozsáhlá knihovna profilů
- Snadné intuitivní ovládání
- 6 500 zákazníků ve světě
- Nová verze v českém jazyce
- Zákaznické služby v Praze



Ing. Software Dlubal s.r.o.  
Anglická 28, 120 00 Praha 2  
Tel.: +420 222 518 568  
Fax: +420 222 519 218  
E-mail: [info@dlubal.cz](mailto:info@dlubal.cz)



Statika, která Vás bude bavit ...

V případě betonů s cementem C2 (obr. 5) byly pozorovány menší hodnoty koeficientu migrace, než u betonu s cementem C1 dokonce již po 28 dnech ošetřování. I poté v průběhu času hodnoty koeficientu klesaly. Avšak po 180 dnech uskladnění byly hodnoty betonu s cementem C2 srovnatelné ( $< 1 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ ) bez ohledu na dávku popílku.

U nemodifikovaného betonu s cementem C1 se koeficient migrace výrazně nezměnil, udržel si hodnotu nad  $5 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Popílek výrazně snížil průnik chloridů do betonů začleňující je jako minerální přísadu. Odolnost vůči pronikání chloridů s časem rostla, ale hodnota koeficientu migrace závisela na typu cementu.

Přídavek popílku do betonu s cementem C2 (vysokopecní cement) umožnil dosáhnout požadované pevnosti v tlaku a vynikající odolnosti vůči pronikání chloridů. Příznivý vliv kombinace popílku a vysokopecního cementu je patrný již po 28 dnech ošetřování, přestože proces hydratace, pucolánová reakce a změny v mikrostruktuře pokračují nadále.

#### ZÁVĚRY

V tomto pojednání byly uvedeny dvě metody rychlého určení difuzivity chloridů v betonu. Experimentální část zkoumala betonové směsi s dvěma typy cementu a s různými obsahy popílku. Poté byly porovnány výsledky získané dvěma různými zkušebními metodami.

Uvedené výsledky zkoušek potvrdily vhodnost slibné procedury rychlé-

#### Literatura:

- [1] Neville A.: Chloride attack of reinforced concrete: an overview. *Materials and Structures*, Vol. 28, 1995, pp 63–70
- [2] Luping T., Nilsson L. O.: Rapid determination of the chloride diffusivity in concrete by applying an electrical field, *ACI Materials Journal*, 89, 1, 1992, 49–53
- [3] Wee T. H., Suryavanshi A. K., Tin S. S.: Evaluation of rapid chloride permeability test (RCPT) results for concrete containing mineral admixtures, *ACI Materials Journal*, 2, 2000, 221–232
- [4] ASTM C 1202-97 Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration
- [5] NT BUILD 492 Concrete, Mortar and Cement-Based Repair Materials: Chloride Migration Coefficient from Non-Steady-State Migration Experiments
- [6] Andrade C., Sanjuan M. A., Recuero A., Rio O.: Calculation of chloride diffusivity in concrete from migration experiments, in non steady-state conditions, *Cement and Concrete Research*, 24, 1994, 1214–1228
- [7] Basheer P. A. M., Gilleece P. R. V., Long A. E., McCarter W. J.: Monitoring electrical resistance of concrete containing alternative cementitious materials to assess their resistance to chloride penetration, *Cement and Concrete Composites*, 24, 2002, 437–449
- [8] Shafiq N.: Effects of fly ash on chloride migration in concrete and calculation of cover depth required against the corrosion of embedded steel reinforcement, *Structural Concrete*, 5, 2004, 5–10
- [9] Castellote M., Andrade C., Alonso C.: Measurement of the steady and non-steady-state chloride diffusion coefficient in a migration test by means of monitoring the conductivity in the analyte chamber. Comparison with natural tests, *Cement and Concrete Research*, 31, 2001, 1411–1420

ho testu difúze. Díky využití elektrického pole lze zjistit hloubku proniknutí chloridů v čase mnohem kratším, než při použití konvenčních metod. To přináší možnost rychlého ohodnocení difuzivity chloridů vysokohodnotných betonů a předvídání penetrace chloridů již hotových staveb.

Na základě výzkumu lze dojít k následujícím závěrům: pronikání chloridů do betonu lze testovat pomocí testu RCP, avšak test RCM poskytuje mnohem podrobnější výsledky, které jsou nezbytné pro většinu metod výpočtu doby depasivace výztuže.

Hlavním praktickým vylepšením tzv.

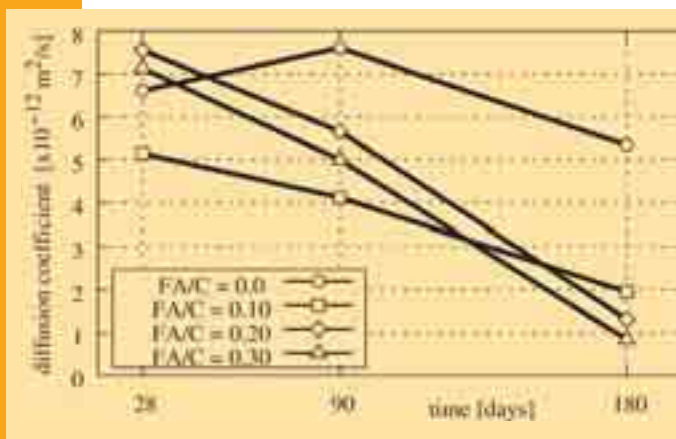
„rychlého testu pronikání chloridů“ je zkrácení času potřebného ke zkoušce.

Marta Kosior–Kazberuk  
Białystok Technical University, Polsko  
e-mai: m.kosior@pb.bialystok.pl

Text článku byl lektorován. Český překlad textu prošel terminologickou korekturou.

Obr. 4 Koeficient migrace chloridů v nestacionárních podmínkách betonů s cementem C1

Fig. 4 Chloride migration coefficient in non-steady-state conditions C1 cement concretes



Obr. 5 Koeficient migrace chloridů v nestacionárních podmínkách betonů s cementem C2

Fig. 5 Chloride migration coefficient in non-steady-state conditions C2 cement concretes

