

STANOVENÍ BARIÉROVÝCH VLASTNOSTÍ PROSTŘEDKŮ SEKUNDÁRNÍ OCHRANY ŽELEZOBETONU VŮČI CO₂ - 2. ČÁST: KOEFICIENT ODPORU PROTI DIFÚZI CO₂

SPECIFICATION OF BARRIER PROPERTIES OF SECONDARY PROTECTION MEANS OF REINFORCED CONCRETE FROM CO₂ - PART 2: COEFFICIENT OF RESISTANCE TO CO₂ DIFFUSION

VÁCLAV PUMPR, JIŘÍ DOHNÁLEK

V příspěvku jsou diskutovány základní vztahy pro popis transportu CO₂ dodatečně aplikovanou bariérou (prostředkem sekundární ochrany) a praktické využití těchto vztahů z hlediska zpomalení procesu karbonatace.

This article discusses basic relations for the description of CO₂ transport through an additionally applied barrier (a secondary protection means), as well as practical deployment of these relations in view of slowing down the carbonation process.

V první části série příspěvků [1] věnovaných problémům karbonatace betonu a způsobům, jak této nevídané chemické přeměně čelit, byly popsány jednak nežádoucí dopady neutralizace povrchových vrstev betonu na korozní stav uložené výztuže, jednak základní vztahy pro popis a kvantifikaci rychlosti této přeměny. V tomto druhém pokračování je ukázáno, jak lze charakterizovat a kvantifikovat u dodatečně apli-

kované povrchové bariéry schopnost bránit prostupu CO₂ a zejména jakým způsobem lze těchto parametrů využít při praktické ochraně železobetonu.

KOEFICIENT ODPORU PROTI DIFÚZI

Pro popis a kvantifikaci chování betonu opatřeného dodatečnou krycí vrstvou (bariérou) se jeví jako užitečné zavést pojem tzv. koeficientu odporu proti difúzi μ .

Tento pojem zavedl pro popis pohybu plynu porézním materiálem Krischer [2]. Krischer vyšel z následující představy. Mějme porézní materiál, přes který dochází k transportu (permeaci) plynu kolmo k průřezu o celkové ploše q , přičemž plocha otevřených pórů je q_p . Poměr celkové plochy průřezu k ploše průřezu pórů q_p pak činí (obr. 4):

$$\mu_p = \frac{q}{q_p} \quad (12)$$

Uvážíme-li dále, že dráha, kterou musí plyn urazit proudí-li nerovnými (klikatými) póry je l_p , pak můžeme definovat obdobně μ_l jako:

$$\mu_l = \frac{l_p}{l} \quad (13)$$

Pro celkový odpor proti permeaci plynu porézním materiálem pak spojením rovnic (12) a (13) dostáváme:

$$\mu = \mu_p \cdot \mu_l \quad (14)$$

Pro μ byl zaveden termín koeficient odporu proti difúzi a toto bezrozměrné číslo udává kolikrát menší je množství plynu proteklého porézním materiálem, jestliže namísto průřezu q je k dispozici pouze průřez q_p a průměrná délka dráhy, kterou musí plyn urazit je rovna l_p namís-

to l . Jinými slovy řečeno μ udává, oč méně propustná je permeovaná vrstva porézního materiálu oproti vrstvě vzduchu za stejných podmínek. I když byl tento koeficient Krischerem zaveden pro popis transportu (difúze) plynou fází porézního prostředí, je nepochybně oprávněné obdobný koeficient, vyjadřující kolikrát méně propustí zkoumaná vrstva v porovnání se stejně tlustou vrstvou vzduchu, zavést i tam, kde k difúzi či lépe řečeno transportu nedochází jen v plyné fázi, ale i transportem polymerním filmem.

S ohledem na definici koeficientu odporu proti difúzi je zřejmé, že hustota toku plynu přes polymerní membránu bude tím nižší, čím vyšší bude koeficient μ a je proto oprávněné psát:

$$J = \frac{1}{\mu} \quad (15)$$

Zavedeme-li nyní tento koeficient do I. Fickova zákona (rovnice (3) [1]), dostáváme:

$$J = -D \cdot \frac{1}{\mu} \cdot \frac{dc}{dx} \quad (16)$$

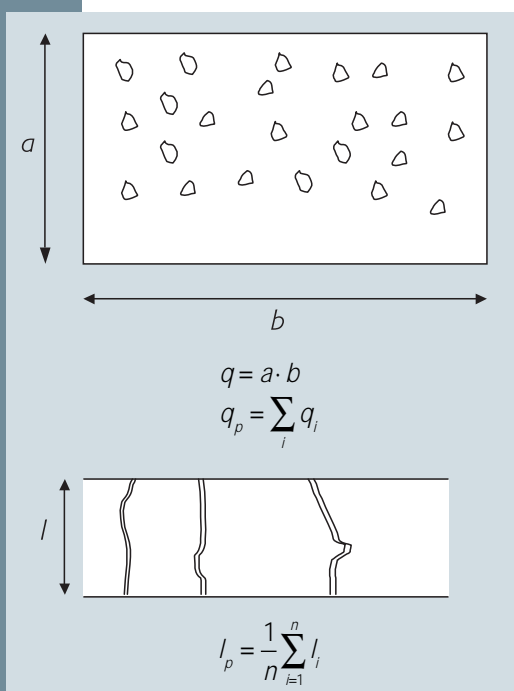
a po dosazení příslušných proměnných pro vzduch, resp. polymerní membránu, dostáváme po úpravě:

$$\mu = \frac{D_v \cdot |d|}{J \cdot s} \quad (17)$$

kde D_v je difúzní koeficient pro CO₂ ve vzduchu [m²/s], c koncentrační spád (koncentrace CO₂ ve vzduchu) [kg/m³], J hustota toku CO₂ polymerní vrstvou [kg/m²s], s tloušťka permeované vrstvy [m].

Úpravou pravé strany rovnice (17) a s přihlédnutím k rovnici (3) [1], lze koeficient μ_p pro zvolený typ polymerního materiálu definovat vztahem:

$$\mu_p = \frac{D_v}{D_p} \quad (18)$$



Obr. 4 Permeace plynu porézním materiálem

Fig. 4 Permeation of gas through porous material

Koeficient odporu proti difúzi CO₂ vyjadřuje, kolikrát je difúzní koeficient ve vzduchu větší než difúzní koeficient CO₂ v daném materiálu (polymerní membráně). Obdobně jako pro polymerní membrány lze koeficient difúzního odporu definovat i pro beton, případně další materiály [3].

Z praktického hlediska je užitečné pomocí bezrozměrného koeficientu odporu proti difúzi vyjádřit schopnost materiálu klást odpor proti transportu v závislosti na jeho tloušťce. Je zřejmé, že odpor libovolného materiálu poroste s jeho tloušťkou, a proto lze za využití koeficientu μ psát:

$$R_d = \mu \cdot s, \quad (19)$$

kde R_d je odpor proti permeaci tzv. ekvivalentní difúzní tloušťka [m], μ je koeficient odporu proti difúzi [-], s je tloušťka permeované vrstvy [m].

Odpor proti permeaci R_d udává s ohledem na (17), resp. (18), jak velká by musela být při daném koncentračním spádu vrstva vzduchu, která by kladla stejný (ekvivalentní) odpor vůči difúzi CO₂ jako vrstva zkoumaného materiálu. Proto se tento odpor nazývá rovněž ekvivalentní difúzní vrstva.

HODNOCENÍ ÚČINNOSTI SEKUNDÁRNÍ OCHRANY

Před tím, než se dotkneme problematiky stanovení koeficientu odporu proti difú-

Obr. 5 Schematické znázornění postupu karbonatace betonu opatřeného polymerním nátěrem

Fig. 5 Schematic representation of the process of carbonation of concrete provided with polymer paint

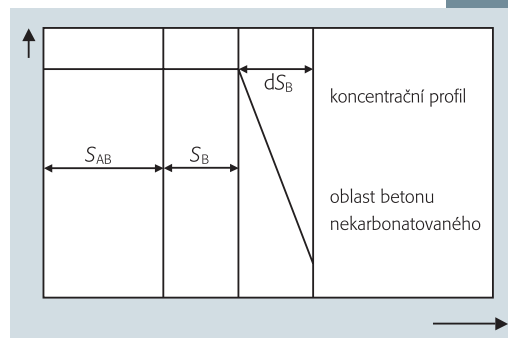
zi, resp. ekvivalentní difúzní tloušťky, bylo by užitečné ukázat, jakým způsobem lze těchto parametrů využít při kvantitativním hodnocení účinnosti prostředků sekundární ochrany.

Mějme polymerní nátěr tloušťky s_A o známém μ^{CO_2} , který nanese na beton. Rovněž pro beton předpokládáme, že máme k dispozici experimentálně zjištěnou hodnotu koeficientu odporu proti difúzi $\mu^{B^{CO_2}}$. Odpor, který permeaci klade vrstva polymeru, můžeme vyjádřit pomocí ekvivalentní tloušťky betonové vrstvy s_{AB} , pro niž platí:

$$s_{AB} = \frac{\mu_A}{\mu_B} \cdot s_A, \quad (20)$$

kde s_{AB} značí odpor polymerní vrstvy vyjádřený jako ekvivalentní tloušťka betonu [m], s_A je tloušťka polymerní vrstvy [m], μ_A koeficient odporu proti difúzi polymerní vrstvy [-] a μ_B koeficient odporu proti difúzi betonu [-].

Znázorníme-li si nyní povrch betonu opatřený vrstvou polymeru, pak si lze představit, že aplikací polymerního nátěru je zvětšena tloušťka betonu o teoretickou tloušťku s_{AB} (obr. 5).



Dosažením do rovnic (4) resp. (5) [1] dostáváme:

$$dn = D_B \cdot A \frac{C_1}{s_{AB} + s_B} \cdot dt, \quad (21)$$

resp.

$$dn = c_1 \cdot A \cdot ds_B. \quad (22)$$

Úpravou dostáváme:

$$(s_{AB} + s_B) \cdot ds_B = D_B \cdot dt \quad (22)$$

Integraci v mezích $0 \div s_1$ a $0 \div t$ dostáváme kvadratickou rovnici, jejíž řešení v kladné oblasti je:

$$s_1 = \sqrt{2D_B \cdot t + s_{AB}^2} - s_{AB} \quad (23)$$

Hloubku karbonatace bez aplikace polymerní vrstvy lze v čase t vyjádřit z rovnice (10) resp. (11) jako:

BETOSAN®
alternativa, kterou oceníte

ADHÉZNÍ MŮSTKY A PEČETÍČÍ VRSTVA
na bázi epoxidových pryskyřic
pro práci za normálních teplot – BETOLIT EP 0-1 DC
pro práci za teplot pod bodem mrazu –
BETOLIT EP 0-1 DC FR
aplikace na vlhké podklady – BETOLIT EP 0-1 DC W

INJEKTÁŽNÍ KOMPOZICE
dvousložkové na na EP bázi – BETOLIT EP 0-1

ZPEVNĚNÍ POVRCHU, PENETRACE
dvousložkové na na EP bázi – BETOLIT KP
na vlhké podklady – BETOLIT KP W

POJIVA PRO POLYMERBETONY
na EP bázi
pro práci za normálních teplot – BETOLIT EP 0-1 DC
pro práci za teplot pod bodem mrazu –
BETOLIT EP 0-1 DC FR
aplikace na vlhké podklady – BETOLIT EP 0-1 DC W

www.betosan.cz

DRŽITEL CERTIFIKÁTŮ ČSN EN ISO 9001:2001



**CERTIFIKOVANÉ
MATERIÁLY
NA BÁZI
SYNTECKÝCH
PRYSKYŘIC**



PLNIVA PRO POLYMERBETONY
žárově barvené křemenné plnivo – QUARZCOLOR
optimalizovaná granulometrie – BETOFIL FJ, FH, FH DSH

**CHEMICKY ODOLNÉ PRUŽNÉ
TMLENÍ PODLAHOVÝCH SPÁR**
na bázi epoxidových pryskyřic – BETOLIT EP 0-1 DC flex

**OCHRANA PROTI AGRESIVNÍM
LÁTKÁM A CHEMICKÝM VLIVŮM**
mechanicky odolné PU báze – BETOLIT PU 0-1
emulzní systém na vlhký podklad EP báze – EPOLIT W

OBCHODNĚ-TECHNICKÁ KANCELÁŘ
Na Dolinách 23 mobil: 602 121 617
147 00 Praha 4 tel./fax: 241 431 212
e-mail: praha@betosan.cz

$$s_B^2 = 2D_B \cdot t \quad (24)$$

Po dosazení do rovnice (23) pak pro hloubku karbonatace s_1 v čase t dostáváme:

$$s_1 = \sqrt{s_B^2 + s_{AB}^2} - s_{AB} \quad (25)$$

Praktické využití vztahu (25) lze ilustrovat na následujícím konkrétním příkladu. Porovnejme hloubku karbonatace nechráněného betonu s_B s hloubkou karbonatace betonu opatřeného libovolným prostředkem sekundární ochrany a poměr těchto hloubek označme ω . Na základě rovnice (25) můžeme psát:

$$\omega = \frac{s_B}{\sqrt{s_B^2 + s_{AB}^2} - s_{AB}} \quad (26)$$

Mějme dva typy nátěrových hmot, jednak nevhodně formulovanou vodnou disperzi akrylátu označenou dále A_1 a podstatně lépe formulovanou rozpouštědlovou akrylátovou pryskyřici A_2 . V tabulce 1 jsou uvedeny hodnoty koeficientů odporu proti difúzi pro zkoumaný beton a oba

Tab. 1 Hodnoty koeficientů μ [4]

Tab.1 Values of coefficients μ [4]

Materiál	Koeficient μ^{CO_2} [-]	Hloubka karbonatace po 5 letech [mm]
beton nechráněný	$3,58 \cdot 10^2$	5,0
nátěr A_1	$4,50 \cdot 10^3$	3,5
nátěr A_2	$4,02 \cdot 10^6$	$7 \cdot 10^{-3}$

Dokončení článku ze str. 29

Statickým problémem u podélného nosného systému byla neexistence příčné nosné zdi proti patě lodžie, kde musí při hloubce vyřezané drážky zůstat dostatečná tloušťka zdiva, aby horizontální tlaková síla v patě panelu neporušila obvodové zdivo protlačněním.

DETAILY KONSTRUKCÍ A TVARŮ PANELŮ

Charakteristické detaily jsou zřejmé z obrázků. Detaily jsou navrženy tak, aby osazení vyšších stěnových panelů překrylo realizovaná spojení stropu i stěn, která se krátkými trny v patách vkládají do čer-

prostředky sekundární ochrany vůči CO_2 . Naneseme-li oba typy nátěrů v obvyklé tloušťce $1,5 \cdot 10^{-3}$ m, můžeme za pomoci rovnice (26), resp. (20), vyjádřit ekvivalentní difúzní tloušťku betonu, resp. koeficient ω , pro nátěr A_1 takto:

$$s_{AB_1} = 1,9 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$\omega_1 = 1,45$$

Pro nátěr A_2 dostáváme obdobně

$$s_{AB_2} = 1,68 \cdot 10^1 \text{ m}$$

$$\omega_2 = 676$$

Hodnotu hloubky karbonatace po pěti letech uvádí poslední sloupec tabulky 1. Tento ilustrativní příklad ukazuje, že zatímco nechráněný beton by po pěti letech zkarbonatoval do hloubky 5 mm, beton opatřený sekundární ochranou na bázi nevhodně formulované vodné disperze by zkarbonatoval do hloubky 3,5 mm, což značí, že postup karbonatace by byl zpomalen nevýrazně. Naopak beton opatřený sekundární ochranou na bázi vhodně sestavené nátěrové hmoty na bázi rozpouštědlového akrylátu by po pěti letech zkarbonatoval pouze do hloubky cca 0,007 mm, tedy do hloubky prakticky neměřitelné.

ZÁVĚRY

Uvedený konkrétní příklad přesvědčivě ukázal, jak dalece může prostředek sekundární ochrany v závislosti na svém odporu proti difúzi oxidu uhličitého a pochopitelně i tloušťce vrstvy, ve které je

svého betonu zálivky. Po osazení panelů již není třeba žádné dodatečné zapravení spojů nebo styků maltou nebo betonem. Panely jsou rovněž zřejmé z obrázků, jsou realizovány s vysokou kvalitou povrchu se zkosenými hranami.

ZÁVĚR

O uvedenou technologii lodžii zakládaných do původní konstrukce panelových nebo zděných domů byl projeven v minulém a letošním roce v Olomouckém i Jihomoravském kraji značný zájem. Stavební firmy i investoři přivítali zjednodušené zakládání popsaného systému a realizace zmíněných asi padesáti domů prokázala, že vertikální pohyby stěn, omezené zejména na teplotní účinky, bývají

Literatura:

- [1] Beton TKS, 5. roč., 2005, č. 3, str. 24–26
- [2] *Krischer O., Kröll K.*: Die wissenschaftlichen Grundlagen der Trocknungstechnik, Springer Verlag Berlin, 1963
- [3] Materiály pro stavbu, 9. roč., 2003, č. 2, str. 24–27
- [4] Farbe und Lack, 89, 1983, str. 513–518

nanesen, ovlivňovat postup karbonatace betonu. Příklad měl rovněž dokumentovat, že pro racionální volbu vhodného prostředku i technologické podmínky jeho aplikace je nutno mít hodnotu koeficientu odporu proti difúzi CO_2 k dispozici, resp. mít možnost tento parametr stanovit.

Praktické stanovení koeficientu odporu proti difúzi μ je možné realizovat několika postupy. A právě způsobům a možnostem i technickým úskalím jednotlivých laboratorních postupů bude věnována závěrečná 3. část této série příspěvků věnovaných karbonatáci a dodatečné ochraně železobetonu.

Ing. Václav Pumpr, CSc.

BETOSAN, s. r. o.

Na Dolinách 28, 147 00 Praha 4

Doc. Ing. Jiří Dohnálek, CSc.

Kloknerův ústav ČVUT

Šolínova 7, 166 08 Praha 6

menší než u lodžii zakládaných na nové základy. Kladně je hodnocen i estetický výraz založení. Je ovšem třeba mít na paměti, že vkládání krátkých konzol do stěn zhoršuje tepelně-technické vlastnosti obvodových konstrukcí – jsou vytvářeny dílčí tepelné mosty. Pokud se to děje v oblasti suterénů, nejsou větší potíže, ale pokud jsou i v nejnižším podlaží byty, je třeba tepelně-technický problém oblastí vkládaných krátkých konzol řešit.

Ing. Jaromír Vrba, CSc.

Kašparova 10, 779 00 Olomouc

tel.: 585 427 346, mob.: 602 749 226

e-mail: jaromir.vrba@volny.cz

Článek byl lektorován