

## Podstawowe czynniki określające transport wody i pary wodnej w betonie z drobnego kruszywa, z krzemianową warstwą zabezpieczającą

### Basic water and water vapour transport parameters of fine grained concrete with silicate protecting layer

#### 1. Wprowadzenie

Konstrukcje betonowe są narażone na niesprzyjające warunki otoczenia, które mogą wpłynąć niekorzystnie na ich właściwości i okres użytkowania. Z tego powodu zabezpieczenie betonu jest bardzo ważne w celu zwiększenia okresu pomiędzy naprawami. Można wyróżnić dwa podstawowe rodzaje zabezpieczeń betonu przed penetracją wody i agresywnych substancji. Pierwsze jest nazywane pierwotnym zabezpieczeniem i można go osiągnąć produkując beton o bardzo dobrych właściwościach użytkowych, takich jak betony o wysokich właściwościach. Wtórne zabezpieczenie polega na obróbce powierzchni, która może obejmować impregnację (szczególnie za pomocą substancji hydrofobowych i utrwalających), powłoki (ograniczające transport wody i zabezpieczające szczególnie przed substancjami agresywnymi), warstwy nakładane zacieraczką (takie samo działanie jak powłok, różnią się tylko grubością powłoki), natryskiwane membrany z elastomerów (najczęściej PUR wytwarzający nieprzepuszczalną dla wody i powietrza warstwę) i przyklejoną lub swobodnie leżącą zdejmowaną izolację (najczęściej asfaltową lub modyfikowaną zdejmowaną izolację) (1).

Krzemianowe warstwy zabezpieczające stanowią stosunkowo tanie rozwiązanie, które zabezpiecza konstrukcję betonową w całym okresie eksploatacyjnym. Opierają się one na powstawaniu uwodnionych krzemianów wapniowych w porach i pęknięciach, na głębokości do 20 mm poniżej powierzchni. Warstwy krzemianowe mogą uszczelniać pęknięcia o szerokości do 2 mm. W przypadku powstawania wtórnych pęknięć na powierzchni zabezpieczonego betonu warstwa krzemianowa może powtórnie reagować z wodą i produkty reakcji wypełniają te nowe pęknięcia do szerokości 1 mm. To zjawisko nazywa się obróbką autogeniczną. Warstwy krzemianowe mogą być stosowane w wielu praktycznych przypadkach, a mianowicie do uszczelniania dachów, placów parkingowych, nawierzchni drogowych, mostów kolejowych lub doków (2).

Dokładne informacje o zachowaniu i właściwościach zabezpie-

#### 1. Introduction

Concrete structures are exposed to unfavourable external conditions, which can negatively influence their properties and their service life. For that reason concrete protection is very important for extending the time period between repairs. Two basic types of concrete protection against water and aggressive substances penetration can be distinguished. The first one is called primary protection and can be achieved by the production of concrete with high utility properties, such as high performance concretes. The secondary protection is done using surface treatment which may include impregnation (particularly hydrophobic and stabilizing substances), coatings (restricting water transport and protecting particularly against aggressive substances), squeegees (the same action as coatings, they differ in the thickness of the applied layer only), sprayed elastomer membranes (most often PUR creating water- and air-proof layer on the surface) and glued or freely laid strip insulations (most often asphalt or modified insulations strips) (1).

Silicate protecting layers present a relatively cheap measure which can preserve concrete construction during its whole service life. They are based on formation of hydrated calcium silicates in pores and cracks in the depth of up to 20 mm below the surface. Silicate layers can seal cracks of up to 2 mm width. In the case of secondary cracks formation in treated concrete surface the silicate layer can react again with water and reaction products fill in new cracks of up to 1 mm width. This phenomenon is called autogenous treatment. The silicate layers can be applied in many practical cases, such as for sealing roofs, parking places, surfaces of roads, railway bridges or docks (2).

The exact information about behaviour and properties of silicate protecting layers is very sparse at present. CSIRO (3) states that some properties such as the resistance against water and chloride penetration into concrete were already described. Other properties such as porosity, microstructure, salt transport properties, moisture transport and storage parameters, were not studied until now.

czających warstw krzemianowych są obecnie bardzo rzadkie. CSIRO (3) podaje, że pewne właściwości takie jak odporność na penetrację wody i chlorków do betonu zostały już opisane. Takie właściwości jak porowatość, mikrostruktura, właściwości transportowe soli, transport wilgoci i parametry związane z magazynowaniem nie zostały dotychczas zbadane.

W tym artykule zbadano czynniki wpływające na transport wody i pary wodnej w betonie z drobnego kruszywa, bez i z dodatkiem superplastyfikatora. Beton został wyposażony w krzemianową warstwę zabezpieczającą. Wyniki porównano z właściwościami takich samych mieszanek betonowych bez warstwy zabezpieczającej.

## 2. Materiały i próbki

W tablicy 1 podano skład podstawowych mieszanek betonowych z drobnego kruszywa, bez dodatku i z dodatkiem superplastyfikatora (oznaczone odpowiednio jako SII i SII). W tablicy 2 podano zawartość podstawowych składników na podstawie analiz chemicznych zastosowanego krzemianu.

Stosowano próbki w formie normowych beleczek o wymiarach 100 × 100 × 400 mm i 40 × 40 × 160 mm. Beleczki przechowywano w wodzie przez 28 dni, a następnie przez 7 dni w powietrzu o wilgotności względnej 50%. Następnie beleczki pocięto na próbki o wymiarach potrzebnych do dalszych badań. Krzemianowe warstwy zabezpieczające nakładano na powierzchnię połowy beleczek, które uprzednio poddano ścieraniu, w celu otwarcia porów powierzchniowych. Beleczki betonu z drobnego kruszywa, które zostały wyposażone w krzemianową warstwę, oznaczono odpowiednio SIR i SIIR, zachowując podstawowe oznaczenie. Po nałożeniu warstwy powierzchnię trzykrotnie natryskiwano wodą w celu utworzenia uwodnionego krzemianu wapniowego w powierzchniowej warstwie.

Próbki wysuszono w piecu próżniowym w 70°C, przed pomiarami. Doświadczenia przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych w 25±2°C i 30±5% wilgotności względnej.

## 3. Metody

### 3.1. Oznaczenie gęstości i otwartej porowatości

Gęstość nasypową  $\rho_b$  (kg·m<sup>-3</sup>), gęstość matrycy  $\rho_{mat}$  (kg·m<sup>-3</sup>) i porowatość otwartą  $\psi$  (%) zmierzono stosując metodę nasycania wodą w próżni (4). Na rysunkach 1 i 2 pokazano urządzenia pomiarowe do oznaczenia tych właściwości.

In this paper, water and water vapour transport parameters of fine-grained concrete specimens with and without superplasticizer which are provided with silicate protecting layers are determined. The results are compared with the properties of the same concrete mixtures without protecting layer.

## 2. Materials and samples

The composition of the basic fine-grained concrete mixtures with and without superplasticizer addition (denoted as SI and SII, respectively) is presented in Table 1. The results of basic chemical analysis of the applied silicate are given in Table 2.

Tablica 1 / Table 1

SKŁAD MIESZANEK BETONYCH  
COMPOSITION OF CONCRETE MIXTURES

Rodzaj mieszanki Type of mixture	Ilość w kg/Amount in kg			Stosunek w/c Water/cement ratio
	CEM I 42.5 R Hranice	Sand 0/4 mm Bratčice	*Dodatek *Addiment FM 350	
SI	16,80	66,68	-	0,62
SII	16,80	67,00	0,17	0,36

\*Dodatek FM 350 - superplastyfikator  
\*Addiment FM 350 - superplasticizer

Tablica 2 / Table 2

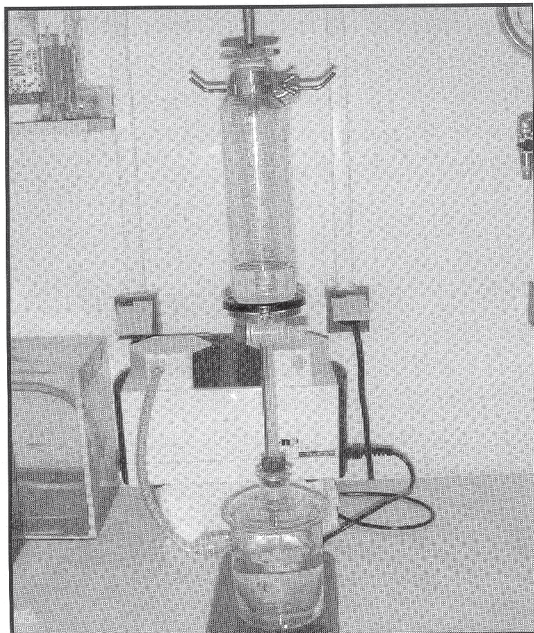
ZAWARTOŚĆ PODSTAWOWYCH SKŁADNIKÓW W KRZEMIANOWEJ WARSTWIE ZABEZPIECZAJĄCEJ

RESULTS OF BASIC CHEMICAL ANALYSIS OF THE SILICATE PROTECTING LAYER

Zawartość składników, % Amount of component in %		Strata prażenia suchej substancji Loss of ignition in % from 27.11% of dry matter		
Na <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub>	105-450°C	450-650°C	650-1000°C
5,81	18,32	14,82	0,51	0,13

The specimens were produced in the form of standard prisms with the size of 100 × 100 × 400 mm or 40 × 40 × 160 mm. Prisms were stored in water during 28-day curing period and then 7 days at 50% relative humidity. The specimens were then cut to required sizes depending on the method of investigation. Silicate protecting layers were applied on the surface of one half of the produced specimen (the specimens of fine grained concrete which were treated with silicate layers are denoted as SIR and SIIR in what follows, corresponding to the basic notation), which was ground off first to open surface pores. After that, surface was sprayed with water three times to form hydrated calcium silicates in the top-most layer.

The specimens were dried in a vacuum oven at 70°C before measurements. The experiments were carried out in laboratory conditions at 25±2°C and 30±5% relative humidity.



Rys. 1. Zestaw pomiarowy dla pomiaru gęstości i otwartej porowatości metodą nasycania wodą w próżni

Fig. 1. Experimental setup of water vacuum saturation method for density and open porosity measurement

### 3.2. Pomiar transportu pary wodnej

Do pomiaru transportu pary wodnej zastosowano metodę grawimetryczną. Pomiar opierał się na metodzie opisanej w normie ČSN 72 7031 (5). Został on przeprowadzony w stałych warunkach izotermicznych, przy zastosowaniu jednowymiarowej dyfuzji i oznaczeniu dyfundującego stłumienia pary wodnej poprzez próbkę i zmierzeniu parcjalego ciśnienia pary wodnej w powietrzu pod i nad powierzchnią próbki.

Do pomiaru współczynnika dyfuzji pary wodnej stosowano dwie odmiany metody grawimetrycznej. W pierwszej zamkniętą szczelnie miseczkę zawierającą bezwodny  $\text{CaCl}_2$  (5% wilgotności względnej) umieszczano w komorze klimatyzacyjnej utrzymującej temperaturę  $25 \pm 0,5^\circ\text{C}$  i 35% wilgotności względnej i ważono okresowo. W drugiej zlewkę zawierającą nasycony roztwór  $\text{K}_2\text{SO}_4$  (97% wilgotności względnej) umieszczono w temperaturze  $25 \pm 0,5^\circ\text{C}$  i 25% wilgotności względnej. Zamknięte szczelnie miseczki z próbkami ważono okresowo. Utrzymując się na stałym poziomie wartość wzrostu lub ubytku masy wykorzystywano do oznaczenia właściwości transportowych pary wodnej. Doświadczalne wyniki pokazano na rysunku 3.

Współczynnik dyfuzji pary wodnej  $D$  ( $\text{m}^2\text{s}^{-1}$ ) obliczono na podstawie wyników pomiarowych, z wykorzystaniem równania:

$$D = \frac{\Delta m \cdot d \cdot R \cdot T}{S \cdot \tau \cdot M \cdot \Delta p_p} \quad [1]$$

gdzie:  $\Delta m$  – ilość pary wodnej w kg, która przedyfundowała przez próbkę,

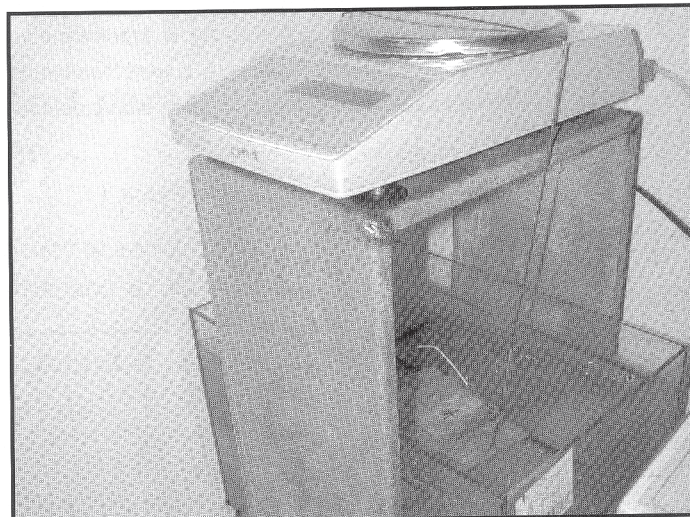
$d$  – grubość próbki, m,

$S$  – powierzchnie próbki,  $\text{m}^2$ ,

## 3. Experimental methods

### 3.1. Determination of density and open porosity

Bulk density  $\rho_b$  ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ), matrix density  $\rho_{mat}$  ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ), and open porosity  $\psi$  (%) were determined using the water vacuum saturation method (4). Figures 1, 2 show measuring devices for determination of these parameters.



Rys. 2. Waga Archimedesowa w pomiarach gęstości i otwartej porowatości

Fig. 2. Measurement of Archimedes weight for density and open porosity determination

### 3.2. Determination of water vapour transport parameters

The cup method was used for determination of water vapour transport parameters. The measurement was based on the standard ČSN 72 7031 (5). It was carried out in steady state under isothermal conditions, using on one-dimensional water vapour diffusion setup, determination of water vapour diffusion flux through the specimen and measuring partial water vapour pressure in the air under and above specific specimen surface.

Two versions of the common cup method were employed in the measurements of the water vapour diffusion coefficient. In the first one, the sealed cup containing burnt  $\text{CaCl}_2$  (5% relative humidity) was placed in a controlled climatic chamber at  $25 \pm 0.5^\circ\text{C}$  and 35% relative humidity and weighed periodically. In the second one, the cup containing saturated  $\text{K}_2\text{SO}_4$  solution (97% relative humidity) was placed in  $25 \pm 0.5^\circ\text{C}$  and 25% relative humidity environment. The sealed cups with samples were weighed periodically. The steady state values of mass gain or mass loss were utilized for the determination of water vapour transport properties. The experimental setup is shown in Figure 3.

The water vapour diffusion coefficient  $D$  ( $\text{m}^2\text{s}^{-1}$ ) was calculated from the measured data according to the equation

$$D = \frac{\Delta m \cdot d \cdot R \cdot T}{S \cdot \tau \cdot M \cdot \Delta p_p} \quad [1]$$

$\tau$  – czas transportu masy pary wodnej  $\Delta m$ , s,  
 $\Delta p_p$  – różnica parcjnego ciśnienia pary wodnej, w powietrzu nad i pod powierzchnią próbki, Pa,  
 $R$  – stałą gazowa,  $J \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$ ,  
 $M$  – masa mola wody,  $kg \cdot mol^{-1}$ ,  
 $T$  – temperatura absolutna, K.

W oparciu o współczynnik dyfuzji obliczono wskaźnik oporu dyfuzji pary wodnej  $m$  (-),

$$\mu = \frac{D_a}{D} \quad [2]$$

gdzie:  $D_a$  jest współczynnikiem dyfuzji pary wodnej w powietrzu,  $m^2 \cdot s^{-1}$ .



Rys. 3. Metoda grawimetryczna, miseczki w komorze klimatyczne  
 Fig. 3. Cup-method experiment in a climatic chamber

### 3.3. Pomiary transportu wody

Najprostsza metoda oznaczenia transportu wody przez materiał porowaty polega na eksperymencie podciągania kapilarnego. Sorpcję wody mierzono za pomocą normowego urządzenia. Próbkę była z czterech równoległych stron pokryta izolacją nie przepuszczającą wody i pary wodnej, a boczną płaszczyznę zanurzono na głębokość 1–2 mm do wody. Stały poziom wody w zbiorniku zapewniono przez zastosowanie flaszki Mariotta z dwoma rurkami kapilarnymi (patrz rysunek 4). Jedna z nich o wewnętrznej średnicy 2 mm była umieszczona tak, aby jej koniec był poniżej poziomu wody, druga o średnicy wewnętrznej 5 mm, znajdowała się powyżej poziomu wody. Automatyczna waga rejestrowała wzrost masy.

Współczynnik absorpcji wody  $A$  ( $kg \cdot m^{-2} \cdot s^{-1/2}$ ) obliczano z liniowej części zależności wzrostu masy badanej próbki w funkcji pierwiastka z czasu. Następnie wyznaczano względną dyfuzyjność wilgoci stosując nasycenie wilgocią w próżni i współczynnik absorpcji wody zgodnie z rów-

where  $\Delta m$  is the amount of water vapour diffused through the sample (kg),  $d$  the sample thickness (m),  $S$  the specimen surface ( $m^2$ )  $\tau$  the period of time corresponding to the transport of mass of water vapour  $\Delta m$  (s),  $\Delta p_p$  the difference between partial water vapour pressure in the air under and above specific specimen surface (Pa),  $R$  the universal gas constant ( $J \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$ ),  $M$  the molar mass of water ( $kg \cdot mol^{-1}$ ),  $T$  the absolute temperature (K).

On the basis of the diffusion coefficient, the water vapour diffusion resistance factor  $m$  (-) was determined

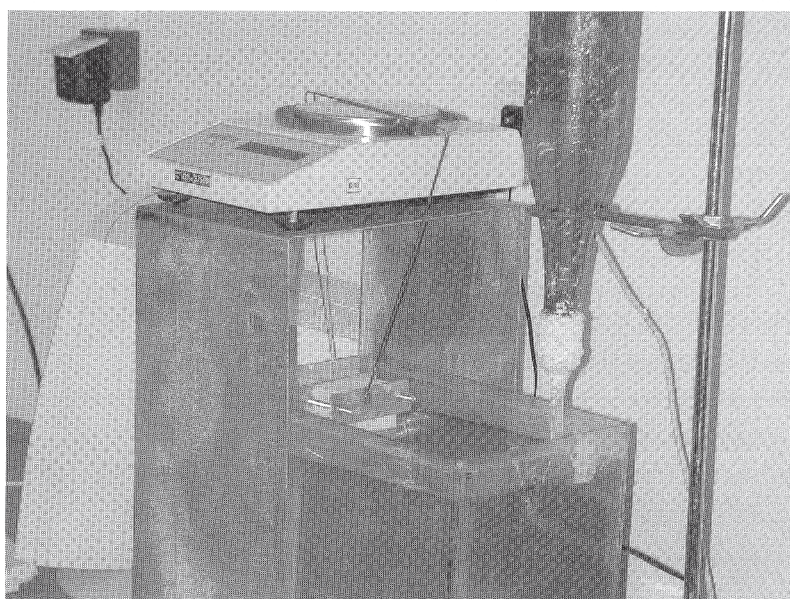
$$\mu = \frac{D_a}{D} \quad [2]$$

where  $D_a$  is the diffusion coefficient of water vapour in the air ( $m^2 \cdot s^{-1}$ ).

### 3.3. Determination of water transport parameters

The simplest way, how to describe liquid water transport through a porous material is realization of a water suction experiment. The water sorptivity was measured using a standard experimental setup. The specimen was water and vapour-proof insulated on four lateral sides and the face side was immersed 1–2 mm in the water, constant water level in tank was achieved by a Mariott's bottle with two capillary tubes (see Figure 4). One of them, inside diameter 2 mm, was ducked under the water level, second one, inside diameter 5 mm, was above water level. The automatic balance allowed recording the increase of mass.

The water absorption coefficient,  $A$  ( $kg \cdot m^{-2} \cdot s^{-1/2}$ ), was calculated from the linear part of the dependence of the increase of tested sample's mass on the square root of time. Then apparent moisture diffusivity was determined using the vacuum saturation moisture content and water absorption coefficient according to the equation (6)



Rys. 4. Metoda podciągania kapilarnego  
 Fig. 4. Water suction experiment

naniem (6):

$$k_{wzg} \approx \left( \frac{A}{w_{nas} - w_0} \right)^2 \quad [3]$$

gdzie:  $w_{nas}$  i  $w_0$  wilgotność nasycenia i początkowa zawartość wilgoci ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ).

$$k_{wzg} \approx \left( \frac{A}{w_{nas} - w_0} \right)^2 \quad [3]$$

where  $w_{sat}$  and  $w_0$  are the saturated and the initial moisture content ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ).

#### 4. Wyniki doświadczeń i dyskusja

W tabelicy 3 pokazano podstawowe właściwości badanych betonów z drobnego kruszywa. Beton bez superplastyfikatora (SI) ma gęstość nasypową około 5% niższą, a porowatość otwartą około 55% większą niż z superplastyfikatorem (SII). Jest to ściśle związane z większym współczynnikiem w/c betonu SI.

W tabelicy 4 podano wyniki pomiarów transportu pary wodnej. Mieszanka SI wykazywała większe wartości wskaźnika oporu dyfuzji pary wodnej na podstawie pomiarów obu rodzajami metody gravimetrycznej w porównaniu z SII. Wynik taki wydaje się być zaskakujący gdyż SI ma większą porowatość niż SII. Może to się wiązać albo z różnicą rozkładu porów w tych materiałach, lub bardziej prawdopodobnie z powstawaniem mikropęknięć w próbce betonu SII.

Zastosowanie warstwy krzemianowej na powierzchni próbki wpływa znacznie na transport pary wodnej przez próbkę SII, z dodatkiem superplastyfikatora. Wskaźnik oporu dyfuzji pary wodnej był prawie dwa razy większy przy 97–25% WW niż w przypadku tej samej próbki betonu bez warstwy krzemianowej. Jednak przy 5–35% WW wyniki były w granicach błędów metody pomiarowej, który można oszacować na 10–20% i jest głównie spowodowany przez wahania temperatury podczas pomiaru. W przypadku próbki SI bez superplastyfikatora wskaźnik oporu dyfuzji pary wodnej przez próbkę z warstwą krzemianową był przy WW 97–25% niższy, a przy WW 5–35% większy niż próbki bez powierzchniowej warstwy zabezpieczającej. Znowu najbardziej prawdopodobnym wyjaśnieniem jest występowanie mikropęknięć w niektórych badanych próbkach, co może stanowić krytyczny czynnik w przypadku materiałów o bardzo dużej oporności na penetrację pary wodnej.

#### 4. Experimental results and discussion

Table 3 shows basic material parameters of studied fine-grained concretes. The concrete without superplasticizer (SI) had bulk density about 5% lower and open porosity about 55% higher than concrete with superplasticizer (SII). This is closely related to the higher w/c of the material SI.

Tablica 3 / Table 3

PODSTAWOWE WŁAŚCIWOŚCI MATERIAŁU  
BASIC MATERIAL PARAMETERS

Rodzaj mieszanki Type of mixture	$\rho_b$	$\rho_{mat}$	$\psi$
	$\text{kg m}^{-3}$		%
SI	2 130	2 464	14
SII	2 235	2 470	9

The results of water vapour transport parameters measurement are presented in Table 4. The SI mixture achieved higher values of water vapour diffusion resistance factor in both modifications of the cup method in comparison with SII. This seems to be a surprising result because SI has higher porosity than SII. It may be related either to the differences in pore distribution of both materials or, more probably, to formation of microcracks in the specimens of the material SII.

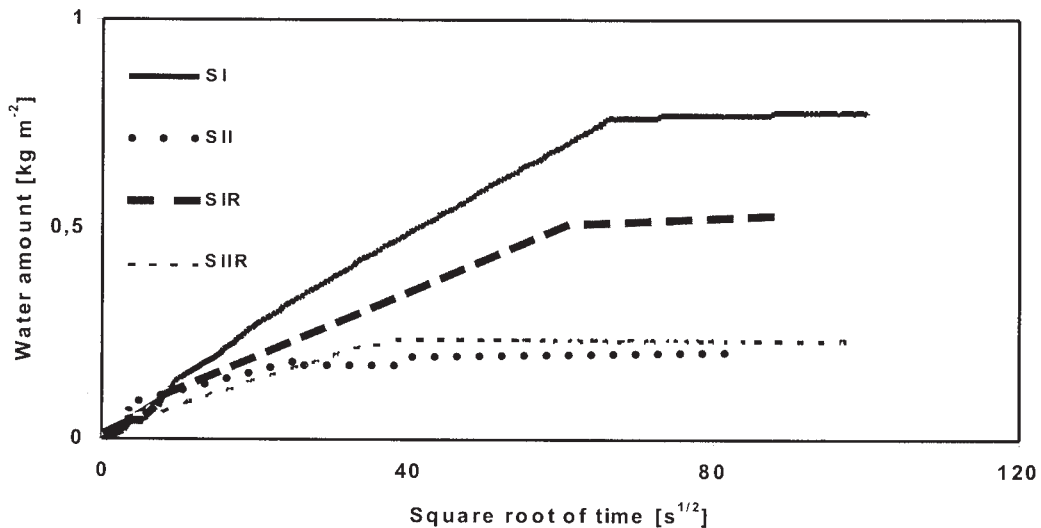
Silicate layer application on sample surface influenced remarkably water vapour transport through the material SII with superplasticizer. The water vapour diffusion resistance factor was nearly two times higher at 97–25% RH than in the case of the same concrete specimen without silicate layer. However, at 5–35% RH the differences were within the error range of the measuring method which can be estimated as 10–20% and is mainly due to temperature fluctuations during measurement. In the case of the material SI without superplasticizer the water vapour diffusion resistance factor of the specimen with silicate layer was at 97–25% RH lower and at 5–35% RH higher than for the specimen without surface protecting layer. Again, the most probable explanation is appearance of microcracks in some measured specimen which may be a critical factor in the case of materials with very high resistance against water vapour penetration.

Tablica 4 / Table 4

WŁAŚCIWOŚCI TRANSPORTU PARY WODNEJ  
WATER VAPOUR TRANSPORT PROPERTIES

Rodzaj próbki Type of specimen	$D (\text{m}^2 \text{s}^{-1})$		$\mu (-)$	
	97-25% RH	5-35% RH	97-25% RH	5-35% RH
SI	1,4E-7	2,2E-7	167	105
SII	3,7E-7	3,6E-7	62	64
SIR	2,2E-7	1,8E-7	112	134
SIIR	2,0E-7	3,5E-7	116	67

Figure 5 presents typical water suction curves for each tested concrete with and without silicate layer. The rapid initial water mass increase with constant slope which is typical for relatively good capillary



Rys. 5. Krzywe podciągania kapilarnego wody.

Fig. 5. Water suction curves.

Na rysunku 5 pokazano typowe krzywe podciągania wody dla badanych próbek betonu bez i z warstwą krzemianową. Szybki początkowy wzrost masy wody ze stałym nachyleniem, który jest typowy dla stosunkowo dobrego, aktywnego kapilarnie materiału wystąpił w przypadku wszystkich próbek. Równowaga pomiędzy absorpcją wody na powierzchni dolnej i jej parowaniem z górnej powierzchni próbki w przypadku SI (tak bez jak i z warstwą krzemianową) była osiągnięta po około jednej godzinie po rozpoczęciu doświadczenia z zasysaniem, podczas gdy w przypadku SII czas ten dla obu rodzajów próbek wynosił 15–20 minut.

Całkowita masa wody w materiale z warstwą krzemianową w przypadku betonu SI bez superplastyfikatora była około jednej trzeciej mniejsza w porównaniu z próbkami bez warstwy zabezpieczającej. Jednak w przypadku betonu SII różnica pomiędzy próbkami bez i z warstwą krzemianową była bardzo mała, w zakresie błędów metody. Porównując całkowitą masę wody zaadsorbowaną w próbkach SI i SII możemy stwierdzić, że SII adsorbuje dwa do trzech razy mniej wody niż SI. Jest więc oczywiste, że głównym czynnikiem wywołującym różnice w krzywych podciągania kapilarnego wody przez oba materiały, była mniejsza porowatość SII, to jest lepsza technologia przygotowania betonu z punktu widzenia oporu penetracji wody. Warstwa krzemianowa prawdopodobnie wytworzyła pewną barierę utrudniającą penetrację wody jak na to wskazuje częściowy wynik pozytywny uzyskany dla próbki SI, jed-

active materials was observed for all specimens. The equilibrium between water absorption by the bottom face and evaporation from the top face of the specimen was in the case of SI (both with and without silicate layer) reached about one hour after the start of the suction experiment, while in the case of SII it was for both specimen types after 15–20 minutes.

The total mass of water in the material with silicate layer was for the material SI without superplasticizer about one third lower in comparison with the specimens without any protecting layer but for the material SII the differences between specimens with and without silicate layer were very low, within the error range of the method. Comparing the total mass of water absorbed in materials SI and SII, we can observe that SII absorbed two to three times lower water amount than SI. Therefore, it is apparent that the main factor affecting the differences in the suction curves of both materials was lower porosity of SII, i.e. a more successful preparation technology from the point of view of concrete resistance against water penetration. The silicate layer probably created some barrier against water penetration as indicated its partial success for material SI but its thickness was clearly insufficient to stop moisture transport into the substrate material.

On the basis of measured water suction curves, phenomenological water transport parameters were calculated. The measured data are summarized in Table 5. Water absorption coefficient of the material SII with superplasticizer was more than two times lower and moisture diffusivity more than three times lower compared to the material SI. The application of silicate protecting layer led for both SI and SII to decrease of water absorption coefficient by about 40–50% and moisture diffusivity by about 65–75%. Therefore, we can realize that the silicate layer affected mainly the initial suction phase but in later phases it was proved less effective.

Tablica 5 / Table 5

WŁAŚCIWOŚCI TRANSPORTU WODY

WATER TRANSPORT PROPERTIES

Rodzaj próbki Type of specimen	A kg m <sup>-2</sup> s <sup>-1/2</sup>	W <sub>sat</sub> kgm <sup>-3</sup>	κ m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>
SI	1,34E-2	135	9,9E-9
SII	0,50E-2	94	2,8E-9
SIR	0,64E-2	133	2,4E-9
SIIR	0,30E-2	93	1,0E-9

nak jej mała grubość była niewystarczająca do zatrzymania transportu wilgoci do pierwotnego materiału.

W oparciu o krzywe pomiarowe podciągania kapilarnego wody obliczono fenomenologiczne parametry transportu wody. Wyniki pomiarowe podsumowano w tablicy 5. Współczynnik adsorpcji wody przez próbkę SII z superplastyfikatorem był ponad dwukrotnie mniejszy i dyfuzyjność wilgoci ponad trzykrotnie mniejsza w porównaniu z betonem SI. Zastosowanie zabezpieczającej warstwy krzemianowej zmniejsza o około 40–50% współczynnik adsorpcji wody próbek obu betonów SI i SII oraz zmniejsza o około 65–75% dyfuzyjność wilgoci. Z tego względu możemy stwierdzić, że warstwa krzemianowa wpływa głównie na początkową fazę podciągania kapilarnego, lecz w późniejszych fazach jest ona mniej efektywna.

## 5. Wnioski

Wyniki doświadczalne przedstawione w pracy wykazały, że ocieniana warstwa krzemianowa może stanowić potencjalnie dobre rozwiązanie zabezpieczające beton przed penetracją wody. Jednak, technologia jej zastosowania okazała się nieskuteczna, pomimo że wszystkie zalecenia producenta były ściśle przestrzegane. Głównym problemem, który ustalono w oparciu o analizę pomiarów podciągania kapilarnego wody, była niedostateczna grubość warstwy zabezpieczającej. Z tego względu dalsze badania będą dotyczyły ustalenia warunków łatwiejszej penetracji krzemianowego zabezpieczenia do warstw betonu.

## Podziękowanie

Te badania były finansowane przez Czeską Fundację Naukową jako Grant nr 103/05/2376.

## 5. Conclusions

The experimental results presented in this paper showed that the analyzed silicate protecting layer may potentially become a good solution how to prevent concrete from water penetration. However, its application technology was proved not to be very effective although all recommendations of the producer were exactly followed. The main problem which was identified on the basis of analysis of water suction measurements was the insufficient thickness of the protecting layer. Therefore, further effort will be directed to the accomplishment of an easier penetration of the silicate protection into concrete.

## Acknowledgements

This research has been supported by the Czech Science Foundation, under grant No. 103/05/2376.

## Literatura / References

1. P. Rovnaníková, D. Janiček. Injektáže polyuretanovými pryskyřicemi ve stavební praxi. Sborník konference Sanace a rekonstrukce staveb, Praha, 1998, pp. 122-127.
2. P. Čeliš. Celoživotní hydroizolace mostních konstrukcí. Stavitel, 2004, p. 36.
3. CSIRO, Building, Construction and Engineering. NSW, Australia, 1999.
4. S. Roels, J. Carmeliet, H. Hens, O. Adan, H. Brocken, R. Černý, Z. Pavlík, C. Hall, K. Kumaran, L. Pel, R. Plagge, Interlaboratory Comparison of Hygric Properties of Porous Building Materials. Journal of Thermal Envelope and Building Science, Vol. 27, 2004, pp. 307-325.
5. ČSN 72 7031. Měření součinitele difúze vodní páry stavebních materiálů metodou bez teplotního spádu.
6. R. Černý, J. Poděbradská, J. Drchalová, Water and Water Vapor Penetration Through Coatings. Journal of Thermal Envelope and Building Science, Vol. 26, 2002, pp. 165-177.
7. L. Tang, L.O. Nilsson. Chloride binding capacity and binding isotherms of OPC pastes and mortars. Cement and Concrete Research 23, 1993, pp. 247-253.