

## WĄSKO-PRZEDZIAŁOWE POMIARY SORPCYJNE WSPÓŁCZYNNIKA DYFUZJI CEGŁY CERAMICZNEJ, SILIKATOWEJ I BETONU KOMÓRKOWEGO

Halina GARBALIŃSKA<sup>\*</sup>, Bartłomiej GARBASZ<sup>\*\*</sup>

<sup>\*</sup> Politechnika Szczecińska, Wydział Budownictwa i Architektury,  
Katedra Dróg, Mostów i Materiałów Budowlanych  
Al. Piastów 50, 70-310 Szczecin, e-mail: [Halina.Garbalinska@ps.pl](mailto:Halina.Garbalinska@ps.pl)

<sup>\*\*</sup> Politechnika Szczecińska, Wydział Budownictwa i Architektury,  
Katedra Dróg, Mostów i Materiałów Budowlanych  
Al. Piastów 50, 70-310 Szczecin, e-mail: [Bartlomiej.Garbasz@ps.pl](mailto:Bartlomiej.Garbasz@ps.pl)

**Streszczenie:** Referat poświęcony jest ocenie możliwości wykorzystania metod niestacjonarnych do wyznaczania współczynnika dyfuzji materiałów porowatych. Do oceny skuteczności tej metodyki wytypowano trzy popularne materiały porowate: cegłę ceramiczną, cegłę silikatową i beton komórkowy. Obliczenia przeprowadzono w odniesieniu do pomiarów sorpcyjnych, które dotyczyły pięciu wąskich, sąsiadujących ze sobą przedziałów wilgotności sorpcyjnej.

**Słowa kluczowe:** Sorpcja, dyfuzja wilgoci, materiał porowaty.

### 1. WPROWADZENIE

Typowe materiały budowlane takie jak cegła, beton, zaprawy charakteryzują się strukturą kapilarno-porowatą. Zjawiska transportu wilgoci zachodzące w tych materiałach składają się na bardzo skomplikowany proces. Związane jest to ze złożoną strukturą porowatości w materiałach tego typu, jak również z występowaniem rozmaitych mechanizmów transportu wilgoci, takich jak: dyfuzja, przepływ laminarny, błonkowy, kapilarny, których współdziałanie w globalnym strumieniu wilgoci często zmienia się bardzo znacząco w trakcie trwania procesu, np. wysychania czy nawilżania [1]. W ujęciu fenomenologicznym proces transportu wilgoci w materiale porowatym w zakresie wilgotności sorpcyjnej opisany jest przez współczynnik dyfuzji wilgoci. Współczynnik ten może być wyznaczony z zadowalającą dokładnością jedynie na drodze doświadczalnej [5]. Przy czym w zależności od wilgotności materiału i stanu wilgotnościowego powietrza w jego bezpośrednim otoczeniu, molekuly wody mogą wnikać w głąb materiału w wyniku procesu sorpcji, albo wędrować w kierunku otoczenia w wyniku procesu desorpcji [1]. W artykule przedstawiono

próbę wykorzystania zadania odwrotnego [6], bazującego na zarejestrowanym przebiegu procesu sorpcji, do wyznaczenia współczynnika dyfuzji  $D_m$  trzech materiałów budowlanych. Eksperyment zrealizowany został w trzech temperaturach  $T$  i pięciu zakresach wilgotności względnej powietrza  $\Delta\phi$ . Do wyznaczenia  $D_m$  wykorzystano dwie różne procedury obliczeniowe: metodę typu  $\sqrt{t}$  – odnoszącą się w swoich założeniach teoretycznych do fazy początkowej procesu [2] oraz metodę logarytmiczną – dotyczącą jego zaawansowanej fazy [3].

### 2. OPIS BADAŃ

Do testowania przydatności niestacjonarnej techniki sorpcyjnej wybrano trzy popularne materiały porowate – cegłę ceramiczną CC, beton komórkowy BK i cegłę silikatową CS. Eksperyment objął zakres dodatnich temperatur ( $T=5^\circ\text{C}$ ,  $T=20^\circ\text{C}$ ,  $T=35^\circ\text{C}$ ), jakie realnie mogą wystąpić w przeciętnych warunkach budowlanych. W każdej temperaturze do badań wytypowano pięć zakresów wilgotności względnej powietrza  $\Delta\phi$ , pokrywających cały niemal zakres wilgotności sorpcyjnej (od  $\phi=11\%$  do  $\phi=96\%$ ). Eksperyment polegał na wycięciu z gotowych materiałów równoległościennych próbek o grubości 1 cm, następnie zaizolowaniu ich na pobocznicach i umieszczeniu w atmosferze o stałej temperaturze i niezmiennej wilgotności. Wymiana wilgoci między próbką a otoczeniem odbywała się przez dwie powierzchnie czołowe. Próbkę w trakcie badań sorpcji przechowywane były w szczelnych pojemnikach o stałej wilgotności oraz w komorach termostaticznych o stałej temperaturze. Do stabilizowania wilgotności wykorzystano wodne roztwory nasycone odpo-

wiednich soli. Istota pomiarów polegała na rejestracji zmieniającej się masy próbki aż do momentu jej ustabilizowania się. Pomiary zmieniającej się masy próbki wykonywane były za pomocą wagi laboratoryjnej o dokładności  $\pm 3$  mg. W założonych w eksperymencie 15 klimatach poddano badaniom sorpcyjnym łącznie 135 próbek. Przed rozpoczęciem pomiarów próbki poszczególnych materiałów umieszczono na kilka miesięcy w pojemnikach nad roztworami odpowiednich soli tak, aby osiągnęły zakładaną wyjściową wilgotność względną powietrza ( $\varphi=11, 30, 50, 75, 83$  %). Proces sorpcji wilgoci wymuszony był zmianą warunków wilgotnościowych, tj. przełożeniem próbek z atmosfery, w której stabilizowano wilgotność – do otoczenia o wilgotności wyższej o jeden poziom. Badania przeprowadzono niezależnie w trzech temperaturach i w pięciu przedziałach wilgotności, według schematu podanego w tabelicy 1.

Tabela 1. Zakresy wilgotności względnej powietrza w poszczególnych temperaturach.

Table 1. Ranges of relative air humidity in three temperatures.

		Temperatura		
		5°C	20°C	35°C
Zakres wilgotności	Cykl SI $\Delta\varphi\approx 11\rightarrow 30$ %	Cykl SVI $\Delta\varphi\approx 11\rightarrow 30$ %	Cykl SXI $\Delta\varphi\approx 11\rightarrow 30$ %	
	Cykl SII $\Delta\varphi\approx 30\rightarrow 50$ %	Cykl SVII $\Delta\varphi\approx 30\rightarrow 50$ %	Cykl SXII $\Delta\varphi\approx 30\rightarrow 50$ %	
	Cykl SIII $\Delta\varphi\approx 50\rightarrow 75$ %	Cykl SVIII $\Delta\varphi\approx 50\rightarrow 75$ %	Cykl SXIII $\Delta\varphi\approx 50\rightarrow 75$ %	
	Cykl SIV $\Delta\varphi\approx 75\rightarrow 83$ %	Cykl SIX $\Delta\varphi\approx 75\rightarrow 83$ %	Cykl SXIV $\Delta\varphi\approx 75\rightarrow 83$ %	
	Cykl SV $\Delta\varphi\approx 83\rightarrow 96$ %	Cykl SX $\Delta\varphi\approx 83\rightarrow 96$ %	Cykl SXV $\Delta\varphi\approx 83\rightarrow 96$ %	

Eksperyment kontynuowano do momentu ustabilizowania się masy, przez okres sześciu miesięcy. Przyjmowano, że stan równowagi został osiągnięty, gdy przyrosty masy zbierane w regularnych odstępach czasu wykazywały

wartości zbliżone do dokładności zastosowanej wagi elektronicznej. Odstęp między pomiarami początkowo wynoszące 6, 8, 12 godzin wydłużono z czasem do 7 dni. W początkowej fazie badań przyrosty masy były wyraźne, a w miarę zbliżania się do stanu równowagi sorpcyjnej coraz wolniejsze.

Na podstawie zebranych wyników obliczono dla poszczególnych materiałów wartości współczynników dyfuzji wilgoci  $D_m$  odpowiadające różnym temperaturom i różnym poziomom wilgotności.

### 3. WSPÓŁCZYNNIK DYFUZJI WILGOCI

Współczynnik dyfuzji wilgoci  $D_m$  może być wyznaczany w pomiarach stacjonarnych bądź niestacjonarnych. W niniejszym artykule przedyskutowano możliwość wykorzystania niestacjonarnej techniki pomiarowej opartej na pomiarach sorpcji, a bazującej na dwóch niezależnych procedurach obliczeniowych. Parametr  $D_m$  wyznaczono korzystając z reguły typu  $\sqrt{t}$  oraz reguły logarytmicznej. Procedury te odniesione zostały do trzech testowanych materiałów (CC, CS, BK) oraz trzech wytypowanych temperatur  $T$  (5, 20, 35°C) i pięciu przedziałów wilgotności  $\Delta\varphi$  (11%÷30%, 30%÷50%, 50%÷75%, 75%÷83%, 83%÷96%). W obliczeniach posłużono się wzorami zaproponowanymi w [1]:

- dla procedury  $\sqrt{t}$ :

$$D_m = a_{\sqrt{t}}^2 \frac{\pi d^2}{16 \Delta m_{max}^2} \quad (1)$$

$$a_{\sqrt{t}} = \frac{\Delta m_t}{\sqrt{t}} \quad (2)$$

- dla procedury logarytmicznej:

$$D_m = -a_{ln} \frac{d^2}{\pi^2} \quad (3)$$

$$a_{ln} = \frac{\ln\left(1 - \frac{\Delta m_t}{\Delta m_{max}}\right) + 0,21}{t} \quad (4)$$

gdzie:

$D_m$  – współczynnik dyfuzji wilgoci [ $m^2/h$ ];  
 $a_{\sqrt{t}}$ ,  $a_{ln}$  – współczynniki kierunkowe [ $g/h^{0,5}$ ], [ $1/h$ ];

$d$  – grubość próbki [m];

$\Delta m_t$  – zmiana masy po czasie  $t$  [g];

$\Delta m_{max}$  – całkowita zmiana masy [g];

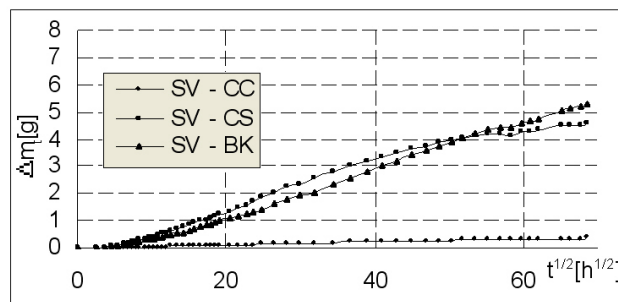
$t$  – czas [h].

Sporządzone odwzorowania funkcji  $\Delta m_t=f(\sqrt{t})$  oraz  $\ln(1-\Delta m_t/\Delta m_{max})=f(t)$  dla poszczególnych próbek stanowiły podstawę do wyznaczenia współczynników kierunko-

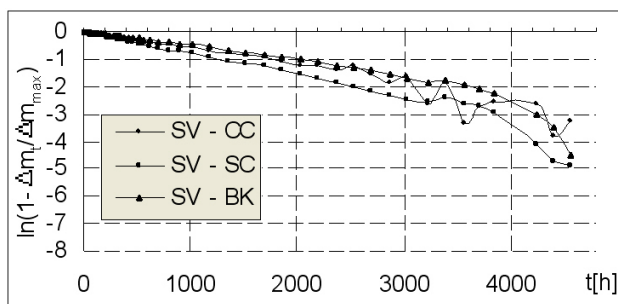
wych w odniesieniu do uzyskanych 270 pojedynczych wykresów. Na wykresach odwzorowujących przebieg funkcji  $\Delta m_t = f(\sqrt{t})$  ustalano odcinek (przypisany fazie początkowej procesu), cechujący się prostoliniowym przebiegiem i wyznaczano odpowiadający mu współczynnik kierunkowy  $a_{\sqrt{t}}$ . Z kolei z wykresów przedstawiających przebieg funkcji logarytmicznej  $\ln(1 - \Delta m_t / \Delta m_{\max}) = f(t)$  sczytywano odcinek (przypisany fazie zaawansowanej badanego procesu sorpcji) cechujący się prostoliniowym przebiegiem i wyznaczano przypisany mu współczynnik  $a_{\ln}$ . Dysponując współczynnikami kierunkowymi wyznaczonymi oddzielnie dla każdej próbki o grubości  $d$ , obliczano współczynnik dyfuzji przy zastosowaniu niezależnie każdej z reguł, czyli ustalano wartości  $D_m(\sqrt{t})$  i  $D_m(\ln)$ . Dla poszczególnych zakresów  $\Delta\phi$  określano następnie średnią arytmetyczną  $D_m(\sqrt{t})$  oraz  $D_m(\ln)$ , na podstawie wyników uzyskanych w danym pomiarze na trzech próbkach każdego z badanych materiałów.

#### 4. UZYSKANE WYNIKI

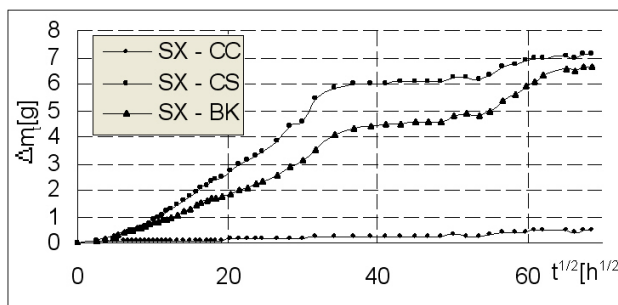
Dla zilustrowania podstaw obydwu procedur przedstawiono na rysunkach 1-6 przykładowe wypadkowe wykresy dotyczące trzech badanych materiałów, a odwzorowane w poszczególnych temperaturach  $T=5, 20, 35^\circ\text{C}$  w odniesieniu do zakresu najwyższych wilgotności  $\Delta\phi \approx 83 \rightarrow 96\%$ . Wykresy te z założenia służą do wyznaczania współczynników kierunkowych  $a_{\sqrt{t}}$  oraz  $a_{\ln}$ , przypisywanych do prostoliniowych odcinków w przebiegach funkcyjnych  $\Delta m_t = f(\sqrt{t})$  oraz  $\ln(1 - \Delta m_t / \Delta m_{\max}) = f(t)$ . Współczynniki  $a_{\sqrt{t}}$  oraz  $a_{\ln}$  stanowią podstawę dalszego obliczania współczynników dyfuzji  $D_m(\sqrt{t})$  oraz  $D_m(\ln)$  odpowiadających danej próbce, badanej sorpcyjnie w danym cyklu o ściśle zdefiniowanych uwarunkowaniach ciepłno-wilgotnościowych. Należy stwierdzić, że dla próbek betonu komórkowego i cegły silikatowej stosunkowo łatwo było wytypować na analizowanych wykresach dostatecznie długi odcinek prostoliniowy, umożliwiający wyznaczenie wartości  $a_{\sqrt{t}}$  oraz  $a_{\ln}$  i obliczenie na tej podstawie konkretnych wartości  $D_m(\sqrt{t})$  oraz  $D_m(\ln)$ . Natomiast cegła ceramiczna wykazywała na tyle niespójny przebieg zmienności analizowanych funkcji, że nie istniała praktycznie możliwość wytypowania konkretnych przedziałów odpowiadających teoretycznym założeniom analizowanych procedur. Niemożność jednoznacznego wyznaczenia wartości współczynników kierunkowych  $a_{\sqrt{t}}$  oraz  $a_{\ln}$  wykluczyła w konsekwencji możliwość obliczenia współczynników  $D_m(\sqrt{t})$  oraz  $D_m(\ln)$  dla cegły ceramicznej w większości badanych klimatów. Możliwość taka pojawiła się tylko w zakresie najwyższych wilgotności, i to jedynie w przypadku dwóch niższych temperatur.



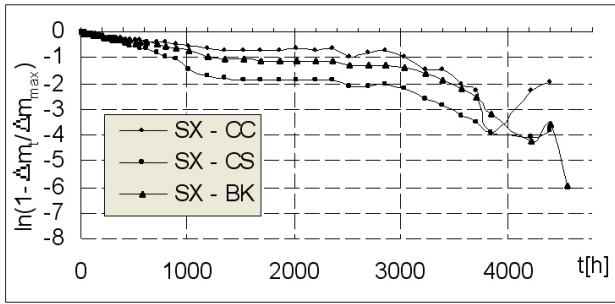
Rys. 1. Wypadkowe przebiegi  $\Delta m_t$  w zależności od  $t^{1/2}$  wyznaczone w odniesieniu do cegły ceramicznej CC, cegły silikatowej CS i betonu komórkowego BK – cykl SV ( $T=5^\circ\text{C}$ ,  $\phi=83\div 96\%$ ).  
Fig. 1. Graph of function  $\Delta m_t$  versus  $t^{1/2}$  for samples of ceramic brick CC, silica brick CS and cellular concrete BK – cycle SV ( $T=5^\circ\text{C}$ ,  $\phi=83\div 96\%$ ).



Rys. 2. Wypadkowe przebiegi  $\ln(1 - \Delta m_t / \Delta m_{\max})$  w zależności od  $t$  wyznaczone w odniesieniu do cegły ceramicznej CC, cegły silikatowej CS i betonu komórkowego BK – cykl SV ( $T=5^\circ\text{C}$ ,  $\phi=83\div 96\%$ ).  
Fig. 2. Graph of function  $\ln(1 - \Delta m_t / \Delta m_{\max})$  versus  $t$  for samples of ceramic brick CC, silica brick CS and cellular concrete BK – cycle SV ( $T=5^\circ\text{C}$ ,  $\phi=83\div 96\%$ ).

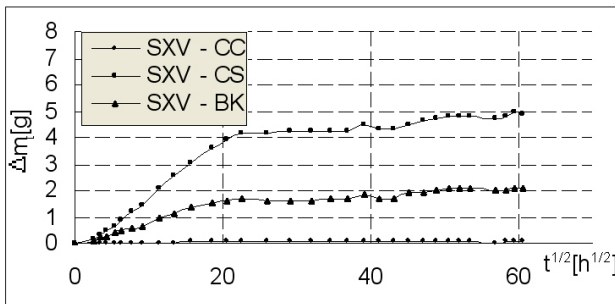


Rys. 3. Wypadkowe przebiegi  $\Delta m_t$  w zależności od  $t^{1/2}$  wyznaczone w odniesieniu do cegły ceramicznej CC, cegły silikatowej CS i betonu komórkowego BK – cykl SX ( $T=20^\circ\text{C}$ ,  $\phi=83\div 96\%$ ).  
Fig. 3. Graph of function  $\Delta m_t$  versus  $t^{1/2}$  for samples of ceramic brick CC, silica brick CS and cellular concrete BK – cycle SX ( $T=20^\circ\text{C}$ ,  $\phi=83\div 96\%$ ).



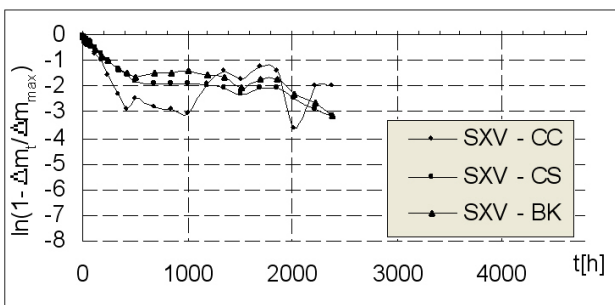
Rys. 4. Wypadkowe przebiegi  $\ln(1-\Delta m_t/\Delta m_{max})$  w zależności od  $t$  wyznaczone w odniesieniu do cegły ceramicznej CC, cegły silikatowej CS i betonu komórkowego BK – cykl SX ( $T=20^\circ\text{C}$ ,  $\varphi=83\div 96\%$ ).

Fig. 4. Graph of function  $\ln(1-\Delta m_t/\Delta m_{max})$  versus  $t$  for samples of ceramic brick CC, silica brick CS and cellular concrete BK – cycle SX ( $T=20^\circ\text{C}$ ,  $\varphi=83\div 96\%$ ).



Rys. 5. Wypadkowe przebiegi  $\Delta m_t$  w zależności od  $t^{1/2}$  wyznaczone w odniesieniu do cegły ceramicznej CC, cegły silikatowej CS i betonu komórkowego BK – cykl SXV ( $T=35^\circ\text{C}$ ,  $\varphi=83\div 96\%$ ).

Fig. 5. Graph of function  $\Delta m_t$  versus  $t^{1/2}$  for samples of ceramic brick CC, silica brick CS and cellular concrete BK – cycle SXV ( $T=35^\circ\text{C}$ ,  $\varphi=83\div 96\%$ ).



Rys. 6. Wypadkowe przebiegi  $\ln(1-\Delta m_t/\Delta m_{max})$  w zależności od  $t$  wyznaczone w odniesieniu do cegły ceramicznej CC, cegły silikatowej CS i betonu komórkowego BK – cykl SXV ( $T=35^\circ\text{C}$ ,  $\varphi=83\div 96\%$ ).

Fig. 6. Graph of function  $\ln(1-\Delta m_t/\Delta m_{max})$  versus  $t$  for samples of ceramic brick CC, silica brick CS and cellular concrete BK – cycle SXV ( $T=35^\circ\text{C}$ ,  $\varphi=83\div 96\%$ ).

W tabelach 1÷3 zestawiono współczynniki dyfuzji wyznaczone w temperaturach 5, 20, 35°C w poszczególnych testowanych zakresach wilgotności.

Tabela 2. Średnie  $D_m$  – cykle SI, SII, SIII, SIV, SV.  
Table 2. Average  $D_m$  – cycles SI, SII, SIII, SIV, SV.

Materiał	Zakres $\Delta\varphi$ [%]	Temperatura 5°C		
		$D_m(\sqrt{t})$ [m <sup>2</sup> /h]	$D_m(\ln)$ [m <sup>2</sup> /h]	$D_m(\sqrt{t})/D_m(\ln)$
CC	11→30	-	-	-
	30→50	-	-	-
	50→75	-	-	-
	75→83	-	-	-
	83→96	0,4E-08	0,5E-08	0,84
CS	11→30	12,7E-08	12,0E-08	1,06
	30→50	17,2E-08	16,3E-08	1,05
	50→75	6,4E-08	6,1E-08	1,04
	75→83	3,6E-08	3,0E-08	1,21
	83→96	0,8E-08	0,8E-08	1,04
BK	11→30	18,3E-08	18,0E-08	1,02
	30→50	13,0E-08	12,7E-08	1,03
	50→75	5,1E-08	5,0E-08	1,02
	75→83	3,3E-08	3,1E-08	1,09
	83→96	0,5E-08	0,5E-08	1,02

Tabela 3. Średnie  $D_m$  – cykle SVI, SVII, SVIII, SIX, SX.  
Table 3. Average  $D_m$  – cycles SVI, SVII, SVIII, SIX, SX.

Materiał	Zakres $\Delta\varphi$ [%]	Temperatura 20°C		
		$D_m(\sqrt{t})$ [m <sup>2</sup> /h]	$D_m(\ln)$ [m <sup>2</sup> /h]	$D_m(\sqrt{t})/D_m(\ln)$
CC	11→30	-	-	-
	30→50	-	-	-
	50→75	-	-	-
	75→83	-	-	-
	83→96	0,6E-08	0,5E-08	1,12

CS	11→30	20,7E-08	18,2E-08	1,14
	30→50	20,3E-08	20,1E-08	1,01
	50→75	11,3E-08	11,3E-08	1,01
	75→83	4,5E-08	4,5E-08	1,00
	83→96	1,3E-08	1,2E-08	1,11
BK	11→30	58,8E-08	63,7E-08	0,92
	30→50	32,5E-08	34,8E-08	0,93
	50→75	5,4E-08	6,1E-08	0,89
	75→83	3,6E-08	3,7E-08	0,96
	83→96	0,5E-08	0,6E-08	0,96

Tabela 4. Średnie  $D_m$  – cykle SXI, SXII, SXIII, SIV, SXV.  
Table 4. Average  $D_m$  – cycle SXI, SXII, SXIII, SIV, SXV.

		Temperatura 35°C		
Material	Zakres $\Delta\varphi$ [%]	$D_m(\sqrt{t})$ [m <sup>2</sup> /h]	$D_m(\ln)$ [m <sup>2</sup> /h]	$D_m(\sqrt{t})/$ $D_m(\ln)$
CC	11→30	-	-	-
	30→50	-	-	-
	50→75	-	-	-
	75→83	-	-	-
	83→96	-	-	-
CS	11→30	45,5E-08	59,3E-08	0,77
	30→50	53,3E-08	60,3E-08	0,88
	50→75	25,3E-08	24,9E-08	1,02
	75→83	14,6E-08	13,4E-08	1,09
	83→96	3,8E-08	3,6E-08	1,06
BK	11→30	123,4E-08	92,3E-08	1,34
	30→50	108,3E-08	85,3E-08	1,27
	50→75	75,5E-08	73,0E-08	1,03
	75→83	17,3E-08	16,8E-08	1,03
	83→96	3,2E-08	3,2E-08	1,01

Podane w tablicy współczynniki  $D_m(\sqrt{t})$  oraz  $D_m(\ln)$  stanowią średnie wartości obliczone na podstawie wyników składowych uzyskanych daną metodą z trzech próbek badanych w danym cyklu. W celu ułatwienia analizy dotyczącej porównywalności testowanych metod, dodatko-

wo zamieszczono wartości  $D_m(\sqrt{t})/D_m(\ln)$  odpowiadające różnym testowanym warunkom cieplno-wilgotnościowym.

## 5. PODSUMOWANIE

Zrealizowane badania sorpcyjne, którymi objęto trzy różne materiały kapilarno-porowate, dowodzą, że dwie testowane procedury sorpcyjne w przypadku pewnych materiałów (np. takich jak CS, BK) cechują się dobrym odтворzeniem założeń teoretycznych w przebiegach funkcyjnych  $\Delta m_t=f(\sqrt{t})$  oraz  $\ln(1-\Delta m_t/\Delta m_{\max})=f(t)$  i w konsekwencji gwarantują jednoznaczne określenie wartości  $D_m(\sqrt{t})$  oraz  $D_m(\ln)$ , na podstawie wyznaczonych wcześniej współczynników kierunkowych  $a_{\sqrt{t}}$  oraz  $a_{\ln}$ .

Z drugiej jednak strony przeprowadzony eksperyment dowodzi istnienia takich materiałów (jak np. CC), w których jedynie z trudem można doszukiwać się prostoliniowości w przebiegach badanych funkcji, co obciąża wyznaczone współczynniki kierunkowe zbyt dużym błędem, aby można było na ich podstawie określić jednoznaczne wartości współczynników dyfuzji  $D_m$ . Jedynie w najwyższych przedziałach wilgotności ( $\varphi=83\div 96\%$ ) udało się wyznaczyć współczynniki dyfuzji dla cegły ceramicznej i to tylko w odniesieniu do dwóch niższych temperatur.

Podsumowując uzyskane wyniki należy stwierdzić, że obydwie procedury – tam, gdzie istniała możliwość ich zastosowania – zapewniały stosunkowo dobrą zgodność wyników. Skala zróżnicowania współczynników  $D_m(\sqrt{t})$  i  $D_m(\ln)$  wynosiła przeciętnie od kilku do kilkunastu procent w przypadku CS oraz BK. W czterech zaledwie przypadkach, dotyczących głównie  $T=35^\circ\text{C}$ , różnice płasowały się na poziomie ok. 20÷30%.

### NARROW-RANGE SORPTION MEASUREMENTS OF DIFFUSIVITY FOR CERAMIC AND SILICA BRICK AND CELLULAR CONCRETE

**Summary:** The paper is devoted to the assessment of the possibility of using non-stationary methods to the determination of diffusivity of porous materials. For the purpose of the evaluation of the efficiency of this method three popular construction materials have been selected: ceramic brick, silica brick and cellular concrete. The calculations have been conducted with reference to the sorption measurements that concerned five narrow ranges of sorption humidity which are adjacent to one another.

### Literatura

[1] Garbalińska H.: *Izotermiczne współczynniki transportu wilgoci porowatego materiału budowlanego*. Prace Naukowe Politechniki Szczecińskiej Nr 571. Szczecin 2002

- [2] Garbalińska H.: *Measurement of the mass diffusivity in cement mortar: use of initial rates of water absorption*. International Journal of Heat and Mass Transfer 2002 Vol. 45 No. 6, wyd. PERGAMON s. 1353 – 1357
- [3] Garbalińska H.: *Application of the logarithmic procedure to absorption measurements of mass diffusivity for cement mortars*. Research Journal Heat and Mass Transfer 40, wyd. Springer-Verlag 2004, s. 963 – 972
- [4] Garbalińska H.: *Application of  $\sqrt{t}$ -type, logarithmic and half-time methods in desorptive measurements of diffusivity in narrow humidity ranges*. Cement and Concrete Research 36 (2006), s. 1294 – 1303, wyd. ELSEVIER
- [5] Krus M.: *Feuchttransport- und Speicherkoeffizienten poröser mineralischer Baustoffe. Theoretische Grundlagen und neue Meßtechniken*. Dissertation, Universität Stuttgart 1995
- [6] Künzel H. M., Kiessl K.: *Bestimmung des Wasserdampfdiffusionswiderstandes von mineralischen Baustoffen aus Sorptionsversuchen*. Bauphysik 1990 Jg. 12 H. 5. s. 140 – 150