ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2006
Seria: BUDOWNICTWO z. 109 Nr kol. 1735

Agata SIWIŃSKA*
Politechnika Szczecińska

KINETYKA PROCESU SORPCJI WILGOCI W POROWATYCH MATERIAŁACH BUDOWLANYCH

Streszczenie. W referacie przedstawiono wyniki badań kinetyki procesu sorpcji wilgoci dla trzech wybranych porowatych materiałów budowlanych: cegły ceramicznej, cegły silikatowej oraz betonu komórkowego, przeprowadzonych w 18 klimatach zróżnicowanych wilgotnością względną powietrza i temperaturą. Oceniano wpływ rodzaju materiału i warunków klimatycznych na przebieg procesu.

KINETICS OF SORPTION PROCESS OF MOISTURE IN POROUS BUILDING MATERIALS

Summary. In the paper there were presented the results of the examinations of kinetics of sorption process of moisture for three selected porous building materials: ceramics brick, calcium-silicate brick and cellular concrete, performed in 18 climates varied in relative humidity of air and temperature. There was established an influence of a kind of material and climate condition on the run of the process.

1. Wprowadzenie

Hydrofilowe materiały budowlane chłoną wilgoć z powietrza. Proces ten nazywany sorpcją zależy od wilgotności względnej otaczającego powietrza, od porowatości materiału oraz od temperatury. Woda związana fizykochemicznie w materiałach budowlanych występuje na rozwiniętej powierzchni ścianek porów i kapilar. Spowodowane jest to działaniem sił van der Waalsa, które oddziałują na cząstki gazu w pobliżu powierzchni ciała stałego, powodując powstanie na powierzchni materiału błonki zaadsorbowanej wilgoci [1, 2, 3, 6, 7, 9, 10]. Pochłanianie pary wodnej przez materiał odbywa się przez gromadzenie się

* Opiekun naukowy: Dr hab. inż. Halina Garbalińska

cząsteczek pary wodnej na powierzchni porów, czyli adsorpcję [8, 11], oraz przez wnikanie pary wodnej w objętość ciała stałego, czyli absorpcję. Łącznie oba te działania nazywa się sorpcją [9]. Sorpcja jest jednym z czynników powodujących zawilgocenie materiałów budowlanych oraz wykonanych z nich przegród. Ma istotne znaczenie w przypadku materiałów o silnie rozwiniętej powierzchni wewnętrznej. Zawilgocenie przegród wiąże się z obniżeniem ich izolacyjności cieplnej i wzrostem strat ciepła na skutek zwiększonego przenikania przez ściany zewnętrzne. Im większą sorpcyjność wykazują materiały, tym bowiem więcej wilgoci zawiera wykonana z nich przegroda.

Do opisu stanu równowagi sorpcyjnej stosuje się równania izoterm sorpcji, określające zależność zawartości wilgoci w materiale porowatym od wilgotności względnej otaczającego powietrza w stanie równowagi [12]. Przy różnych przedziałach wilgotności mamy do czynienia
z odmiennym fizycznym charakterem zjawiska sorpcji. Przy wilgotności do około 20% pojawia się woda związana w postaci błonki monomolekularnej. W zakresie wilgotności od ok. 20% do ok. 70% powstaje polimolekularna błonka wilgoci. Przy wyższych wilgotnościach względnych otaczającego powietrza w porach występuje zjawisko kondensacji kapilarnej [3, 4, 9,10].

W referacie przedstawiono kinetykę procesu sorpcji wilgoci przy zróżnicowanych warunkach klimatycznych. Przebieg procesu badano dla wytypowanych materiałów budowlanych
o odmiennych strukturach porowatości. Programem badawczym objęto trzy materiały budowlane najczęściej stosowane na ściany w 2005 r. [5], a mianowicie beton komórkowy, cegłę ceramiczną i silikatową. Te trzy rodzaje materiałów mają razem 85% udziału w polskim rynku materiałów budowlanych stosowanych na ściany zewnętrzne. Uzyskane wyniki eksperymentu poddano ocenie, biorąc pod uwagę z jednej strony rodzaj materiału, a z drugiej strony warunki cieplno-wilgotnościowe przeprowadzenia eksperymentu.

2. Badanie sorpcji

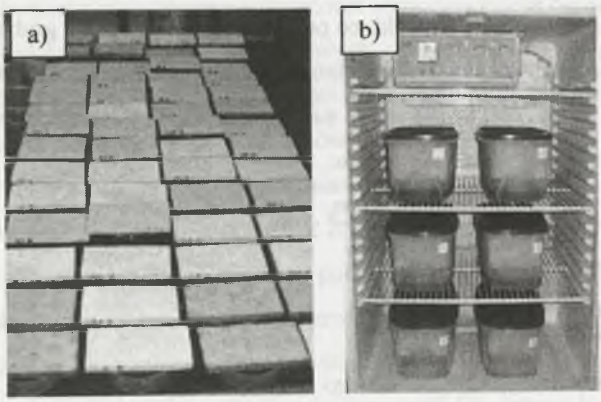
Program badawczy (zgodnie z [12]) obejmował badanie próbek z cegły ceramicznej, cegły silikatowej i betonu komórkowego w 18 niezależnych cyklach pomiarowych, tj. przy sześciu poziomach wilgotności względnej powietrza φ oraz przy trzech poziomach temperatury T:

Cykl I T = 5°C, φ ≈ 11, 30, 50, 75, 83, 96 %,

Cykl II T = 20°C, φ ≈ 11, 30, 50, 75, 83, 96 %,

Cykl III T = 35°C, φ ≈ 11, 30, 50, 75, 83, 96 %.

Eksperymentem objęto zakres dodatnich temperatur, które mogą wystąpić w typowych warunkach budowlanych. W każdym cyklu w komorze klimatyzacyjnej znajdowały się po trzy próbki każdego badanego materiału. Łącznie przebadano 162 próbki. Badanie sorpcji przebiegało w następujących etapach: przygotowanie próbek, rejestracja zmian masy w niestacjonarnym procesie sorpcji w określonych warunkach, wyznaczenie wartości wilgotności sorpcyjnych. Przygotowanie próbek polegało na pocięciu gotowych materiałów na elementy o grubości 1 cm i wymiarach 12×6,5 cm przy użyciu piły diamentowej. Następnie próbki zostały zinwentaryzowane, zaizolowane na pobocznicy i wysuszone do stałej masy w temperaturze 105÷110°C. Izolacja próbek na pobocznicach miała na celu zapewnienie warunków charakterystycznych dla jednowymiarowego przepływu wilgoci.



Rys. 1. Przygotowanie próbek do badań: a) izolacja próbek, b) próbki w termostacie
Fig. 1. Preparation of samples for the examinations: a) isolation of samples, b) samples in the thermostat

Właściwe pomiary sorpcji polegały na umieszczeniu próbek w szczelnych pojemnikach o znanej, ustalonej wilgotności względnej powietrza, które lokowano następnie w komorach klimatycznych o stałej temperaturze. Dla utrzymania niezmiennej wilgotności względnej powietrza próbki umieszczono w atmosferze nad nasyconymi roztworami odpowiednich soli. Stan nasycenia zapewniała obecność kryształów soli na dnie roztworu. Do stabilizowania wilgotności wykorzystano wodne roztwory nasycone odpowiednich soli [12]: LiCl ($\varphi \approx$ 11%), $MgCl_2$ ($\varphi \approx$ 30%), $Mg(NO_3)_2$ ($\varphi \approx$ 50%), NaCl ($\varphi \approx$ 75%), KCl ($\varphi \approx$ 83%), K_2SO_4 ($\varphi \approx$ 96%).

Pomiary polegały na rejestrowaniu zwiększających się mas próbek w poszczególnych klimatach. Badania prowadzono do momentu ustabilizowania się masy, przez okres sześciu miesięcy (temperatury 5 i 20°C) oraz pięciu miesięcy (temperatura 35°C). Uznano, że stan równowagi został osiągnięty, gdy przyrosty masy zbierane w regularnych odstępach czasu wykazywały zbliżone wartości. Odstępy między badaniami na początku co 6, 8, 12 godzin wydłużono z czasem do 7 dni. Próbki pochłaniają początkowo szybko wilgoć, w miarę zaś zbliżania się do równowagi sorpcyjnej przyrosty masy są coraz mniejsze. Stan równowagi sorpcyjnej to moment, gdy wilgotność względna powietrza w porach materiału osiągnie wielkość równą wilgotności otaczającego materiał powietrza. Najdłużej ustala się równowaga sorpcyjna przy wilgotności powietrza bliskiej 100%. Są to najtrudniejsze do stabilizacji warunki pomiaru. Przy $\varphi \approx$ 96% i T=5°C następowało np. wykraplanie się pary wodnej w górnej części pojemnika. Aby zapobiec skapywaniu kropel i zawilgacaniu próbek, zastosowano specjalne bibułowe wkładki, co pozwoliło wyeliminować grube błędy pomiaru.

Na podstawie uzyskanych wyników badań obliczono zawilgocenie sorpcyjne. Zawartość wilgoci określono w % w stosunku do suchej masy po osiągnięciu stanu równowagi wilgotnościowej dla każdej próbki wg wzoru:

$$w = \frac{m - m_0}{m_0} \cdot 100 \tag{1}$$

gdzie:

w – zawartość wilgoci [%],

m – masa badanej próbki w stanie równowagi sorpcyjnej [g],

m_0 – masa wysuszonej próbki [g].

W każdym z 18 klimatów wilgotność sorpcyjna wyznaczana była jako średnia arytmetyczna z trzech próbek. Uzyskane doświadczalnie ustabilizowane wilgotności

sorpcyjne mogą posłużyć do wykreślenia izotermy sorpcji, czyli krzywych obrazujących zależność zawilgocenia sorpcyjnego materiału od wilgotności względnej powietrza przy stałej temperaturze. Uzyskane średnie wilgotności sorpcyjne dla testowanych materiałów przy trzech temperaturach i sześciu poziomach wilgotności względnej powietrza zebrano w tabeli 1.

Tabela 1

Średnia ustabilizowana wilgotność sorpcyjna [%]

Wilgotność względna φ [%]	Beton komórkowy			Cegła ceramiczna			Cegła silikatowa		
	T=5°C	T=20°C	T=35°C	T=5°C	T=20°C	T=35°C	T=5°C	T=20°C	T=35°C
11	0,04	0,14	1,28	0,00	0,00	0,02	0,32	0,47	0,92
30	0,80	0,95	1,97	0,01	0,01	0,03	0,98	0,86	1,04
50	1,59	1,46	1,54	0,02	0,03	0,03	1,53	1,19	1,12
75	3,22	2,67	2,41	0,10	0,06	0,05	2,76	2,12	1,84
83	6,72	4,44	2,77	0,15	0,07	0,01	5,33	3,11	2,41
96	20,49	17,37	7,20	0,66	0,42	0,03	8,34	8,40	5,23

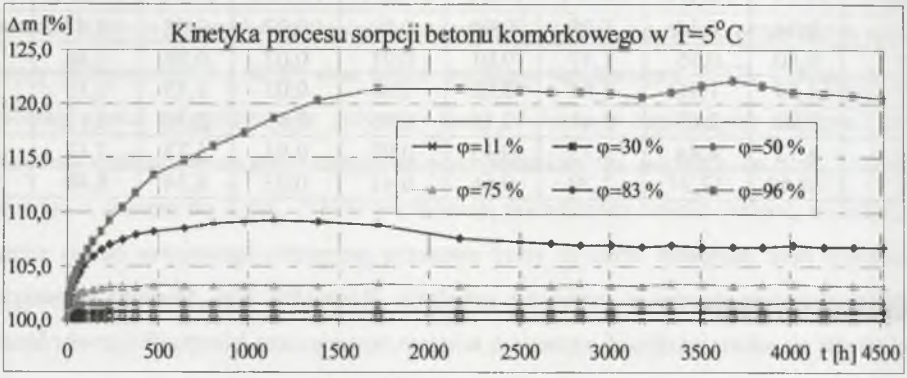
3. Analiza wyników

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że proces sorpcji przebiega z różną intensywnością w różnych materiałach badanych w odmiennych warunkach klimatycznych. Również równowagowe wilgotności sorpcyjne zależą bardzo silnie od rodzaju materiału i warunków cieplno-wilgotnościowych. Największe zawilgocenie sorpcyjne spośród badanych materiałów osiągnął beton komórkowy, najmniejsze z kolei cegła ceramiczna w każdym z analizowanych warunków.

Na rys. 2 – 4 ograniczono się do przedstawienia kinetyki tego procesu dla jednego materiału, a mianowicie betonu komórkowego. Z analizy uzyskanych przebiegów wynikało, że proces sorpcji najintensywniej przebiegał w początkowym okresie, czyli w przybliżeniu w pierwszych 7 dobach. Po tym okresie zaobserwowano niewielkie przyrosty zawilgocenia sorpcyjnego. Wraz ze wzrostem wilgotności względnej powietrza wzrastało zawilgocenie materiałów. Jaki wpływ miała na to natomiast temperatura? Dla betonu komórkowego wzrost temperatury z 5 na 35°C powoduje osłabienie procesu sorpcji w przypadku wyższych wilgotności względnych powietrza, tj. 75, 83 i 96%. Natomiast przy niższych wilgotnościach rzędu 11 i 30% powoduje jego wzmożenie. Przy wilgotności 50% zaobserwowano, że temperatura w nieznacznym stopniu wpływa na intensywność procesu. Podobną zależność

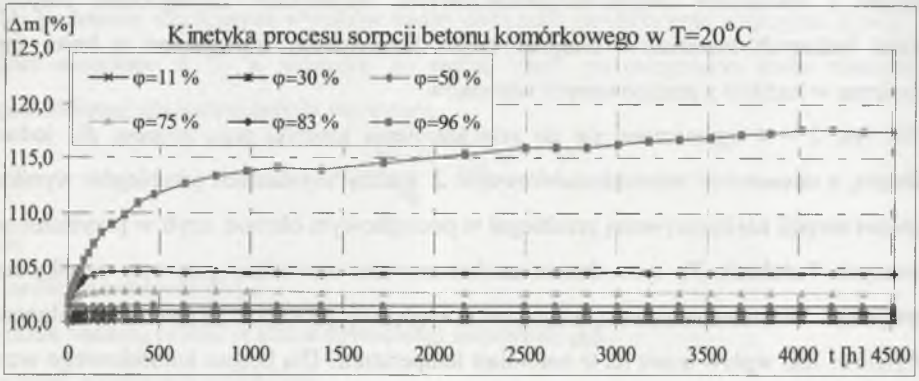
zaobserwowano dla cegły silikatowej, z tym że już przy wilgotności 30% nie obserwuje się istotnego wpływu temperatury. W przypadku cegły ceramicznej nieznaczny wpływ temperatury uwidacznia się przy wilgotnościach względnych powietrza 75, 83 i 96%. Przy niższych wilgotnościach wpływ temperatury jest pomijalny.

Beton komórkowy osiągnął największe zawilgocenie sorpcyjne w temperaturze 5°C ($\varphi \approx 96\%$) rzędu 20,5%. Cegła ceramiczna charakteryzuje się bardzo niską sorpcyjnością, nie przekraczającą 1%. Natomiast cegła silikatowa sorbuje około 2,5 razy mniej wilgoci niż beton komórkowy w temperaturze 5°C.



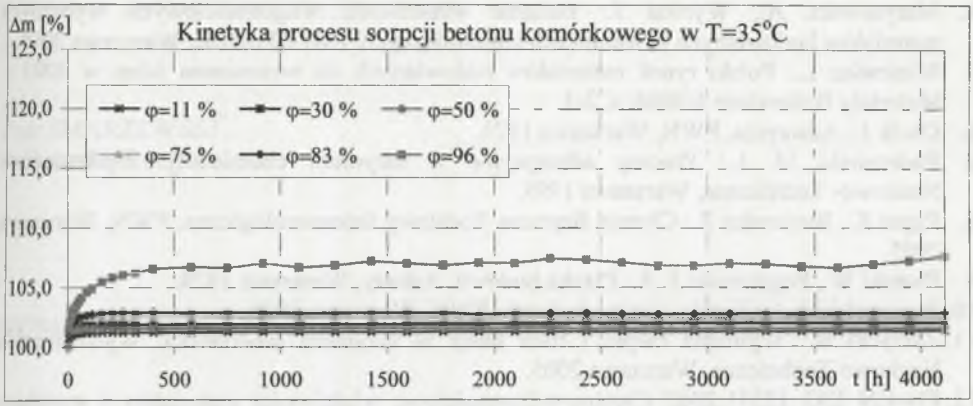
Rys. 2. Zmiany zawartości wilgoci betonu komórkowego względem czasu w trakcie procesu sorpcji wilgoci w temperaturze T=5°C

Fig. 2. Changes of contents of moisture of cellular concrete comparing to time in the process of sorption of moisture in the temperature T=5°C



Rys. 3. Zmiany zawartości wilgoci betonu komórkowego względem czasu w trakcie procesu sorpcji wilgoci w temperaturze T=20°C

Fig. 3. Changes of contents of moisture of cellular concrete comparing to time in the process of sorption of moisture in the temperature T=20°C



Rys. 4. Zmiany zawartości wilgoci betonu komórkowego względem czasu w trakcie procesu sorpcji wilgoci w temperaturze T=35°C

Fig. 4. Changes of contents of moisture of cellular concrete comparing to time in the process of sorption of moisture in the temperature T=35°C

4. Podsumowanie

Badania sorpcji wybranych materiałów budowlanych posłużyły do analizy przebiegu procesu pod kątem różnych warunków cieplno-wilgotnościowych oraz określenia zawilgocenia sorpcyjnego. W każdym z analizowanych warunków cieplno-wilgotnościowych największe zawilgocenie sorpcyjne wykazywał beton komórkowy, najmniejsze zaś cegła ceramiczna. Na podstawie sorpcyjności można wnioskować o wilgotności przegród budowlanych wykonanych z tych materiałów. Najkorzystniej na tym tle wypadła cegła ceramiczna.

Kolejnym krokiem w analizie uzyskanych wyników będzie wykreślenie izoterm sorpcji na podstawie uzyskanych wilgotności sorpcyjnych oraz ich opis matematyczny.

LITERATURA

1. Garbalińska H.: Izotermiczne współczynniki transportu wilgoci porowatego materiału budowlanego. Prace Naukowe Politechniki Szczecińskiej Nr 571, Szczecin 2002.
2. Klemm P.: Budownictwo ogólne, tom 2, Fizyka budowli, Arkady, Warszawa 2006.
3. Kubik J.: Przepływ wilgoci w materiałach budowlanych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej, Opole 2000.

4. Marynowicz A., Wyrwał J.: Badanie właściwości wilgotnościowych wybranych materiałów budowlanych w warunkach izotermicznych, INB ZTUREK, Warszawa 2005.
5. Misiewicz L.: Polski rynek materiałów budowlanych do wznoszenia ścian w 2005 r. Materiały Budowlane 4/2006, s. 2-3.
6. Ościk J.: Adsorpcja. PWN, Warszawa 1973.
7. Paderewski M. L.: Procesy adsorpcyjne w inżynierii chemicznej. Wydawnictwo Naukowo- Techniczne, Warszawa 1999.
8. Pigoń K., Ruziewicz Z.: Chemia fizyczna. Podstawy fenomenologiczne. PWN, Warszawa 2005.
9. Płoński W., Pogorzelski J. A.: Fizyka budowli. Arkady, Warszawa 1979.
10. Pogorzelski J. A.: Fizyka cieplna budowli. PWN, Warszawa 1976.
11. Zarzycki R.: Wymiana ciepła i ruch masy w inżynierii środowiska. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2005.
12. PN–EN ISO 12571:2002 Cieplno-wilgotnościowe właściwości materiałów i wyrobów budowlanych. Określanie właściwości sorpcyjnych.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Jerzy Wyrwał

„Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2006/2008 jako projekt badawczy Nr 4 T07E 033 30”