

Agata SIWIŃSKA*
Politechnika Szczecińska

SORPCJA WILGOCI W MATERIAŁACH NA SPOIWIE CEMENTOWYM

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki badań kinetyki procesu sorpcji wilgoci dla trzech zapraw na spoiwie cementowym. Badania przeprowadzono w 18 klimatach zróżnicowanych wilgotnością względną powietrza i temperaturą. Oceniano wpływ temperatury i wilgotności względnej otoczenia na przebieg procesu sorpcji wilgoci w zaprawach o różnym składzie. W każdym z klimatów określono średnie ustabilizowane wilgotności sorpcyjne, a na ich podstawie sporządzono izotermy sorpcji poszczególnych zapraw testowanych w trzech temperaturach. Przeanalizowano charakter otrzymanych izoterm, konfrontując ich przebieg ze znanymi typami izoterm.

SORPTION OF MOISTURE IN MATERIALS ON CEMENT BOND

Summary. In the paper there are presented the results of examinations of kinetics of sorption of moisture process for three mortars on cement bond. Research was performed in 18 conditions differed with air relative humidity and temperature. There was established the influence of temperature and environment relative humidity on the performance of the sorption of moisture process in mortars of different compositions. In each climate there was determined average stabilized sorption humidity, and basing on it sorption isotherms of each tested mortar at tree temperatures were made. The character of the received isotherms was analysed confronting the lines with known types of isotherms.

1. Wprowadzenie

Przyjmuje się, że eksploatacyjna wilgotność materiału w przegrodzie jest to jego wilgotność w stanie równowagi z otaczającym powietrzem o temperaturze 23°C i wilgotności względnej 80%. Norma [13] określa właściwości wilgotnościowe materiałów, czyli wilgotność masową u i objętościową ψ w temperaturze 23°C, przy wilgotności względnej powietrza 50% i 80%. W przypadku materiałów na spoiwie cementowym (zaprawa murarska i tynkarska o gęstości 250-2000 kg/m³) wilgotność objętościowa wynosi 4% w pierwszym i 6% w drugim przypadku. Na podstawie wyników badań Zakładu Fizyki Ciepłej ITB,

* Opiekun naukowy: Dr hab. inż. Halina Garbalińska, prof. Politechniki Szczecińskiej.

podanych w rozdziale 4 pracy [1], wilgotność sorpcyjna masowa w temperaturze 23°C i wilgotności względnej 80% dla zaprawy murarskiej o gęstości 1600 kg/m³ wynosi 2%, dla zaprawy lekkiej o gęstości 600-750 kg/m³ jest to przedział od 3 do 15%, a dla lekkiego tynku o gęstości 450 kg/m³ wynosi 5%. Jak wynika z tych danych, wilgotność sorpcyjna zapraw jest niewielka.

Przytoczone normowe wartości zawilgocenia sorpcyjnego skonfrontowano z wynikami badań sorpcji wilgoci przeprowadzonymi dla zapraw na spoiwie cementowym, a mianowicie zaprawy cementowej, modyfikowanej włóknami i cementowo-wapiennej. W referacie omówiono wpływ temperatury i wilgotności względnej otaczającego materiał powietrza na zachowanie wilgotnościowe zapraw o różnym składzie.

2. Badania sorpcji

Przedmiotem badania były zaprawy na spoiwie cementowym o następującym składzie na 1 dm³:

- zaprawa cementowa: cement 490 g, woda 270 g, piasek 1519 g,
- zaprawa modyfikowana: cement 490 g, woda 270 g, piasek 1519 g, włókna fibermix o długości 3 mm 0,9 g,
- zaprawa cementowo-wapienna: cement 194 g, wapno 194 g, woda 336 g, piasek 1164 g.

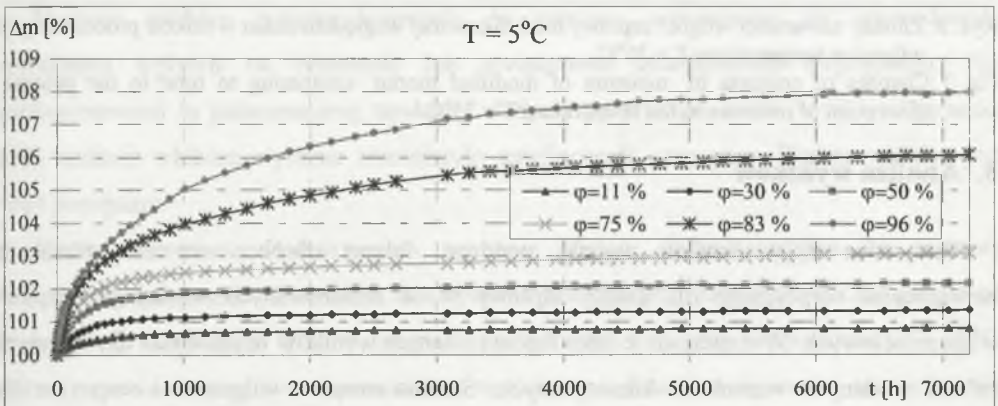
Przed rozpoczęciem badania kinetyki sorpcji przeprowadzono badania wstępne, dotyczące oceny podstawowych właściwości zastosowanego kruszywa, cementu i zapraw świeżych oraz stwardniałych. Dla wytypowanych zapraw wykonano badania rozwoju cech wytrzymałościowych. Następnie przygotowano elementy badawcze z zaprawy cementowej, cementowo-wapiennej i modyfikowanej o wymiarach 40×10×6 cm. Elementy te poddano kondycjonowaniu w warunkach wodnych przez rok, aż do wygaśnięcia procesów hydratacji. Po tym okresie pocięto je przy użyciu piły diamentowej na próbki o grubości 1 cm i wymiarach 10×6 cm. Kolejnym etapem pracy było przygotowanie próbek do badania. Przebiegało ono w następującej kolejności: oznaczenie próbek i określenie ich objętości, wstępne wysuszenie próbek do stałej masy w temperaturze +105°C, zaizolowanie pobocznicy próbek silikonem i powtórne ich wysuszenie do stałej masy. Pomierzone objętości i masy poszczególnych próbek posłużyły do wyznaczenia gęstości objętościowej materiałów w stanie suchym ρ_s . Pomiar masy prowadzone były przy użyciu wagi elektronicznej o dokładności ważenia 0,001 g. Objętość próbek wyznaczono z dokładnością 0,01 cm³,

mierząc każdą próbkę za pomocą suwmiarki. Wyniki badania zamieszczone w tabeli 1 stanowią średnią arytmetyczną z wyników pomiarów przeprowadzonych na 54 próbkach każdej z zapraw.

Tabela 1
Gęstość objętościowa materiałów w stanie suchym

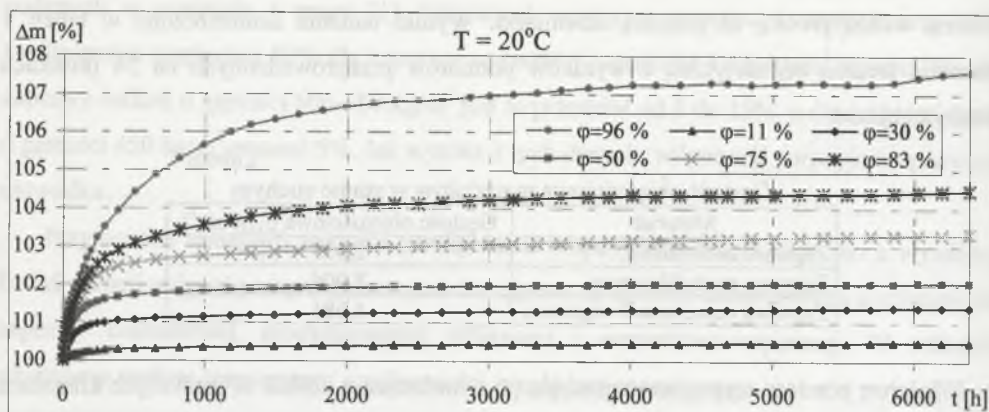
Materiał	Gęstość objętościowa ρ_s [g/cm ³]
Zaprawa cementowa	2,053
Zaprawa modyfikowana	2,004
Zaprawa cementowo-wapienna	1,681

Właściwe pomiary sorpcyjne rozpoczęto po umieszczeniu próbek w ustalonych klimatach i ważeniu ich w określonych odstępach czasu. Program badawczy obejmował badanie próbek w 18 niezależnych cyklach pomiarowych, tj. przy sześciu poziomach wilgotności względnej powietrza $\varphi \approx 11, 30, 50, 75, 83, 96\%$ oraz przy trzech poziomach temperatury $T = 5^\circ\text{C}$, $T = 20^\circ\text{C}$, $T = 35^\circ\text{C}$. Wilgotność powietrza na określonym poziomie zapewniały nasycone wodne roztwory odpowiednich soli. Pomiary polegały na rejestrowaniu zwiększających się mas próbek w poszczególnych klimatach. Badania prowadzono do momentu ustabilizowania się masy, przez okres dziewięciu miesięcy (temperatury 20 i 35°C) oraz dziesięciu miesięcy (temperatura 5°C). Uznano, że stan równowagi został osiągnięty, gdy przyrosty masy zbierane w regularnych odstępach czasu wykazywały zbliżone wartości. Na rys. 1 – 3 ograniczono się do przedstawienia kinetyki procesu sorpcji dla jednego materiału, a mianowicie zaprawy modyfikowanej włóknami.



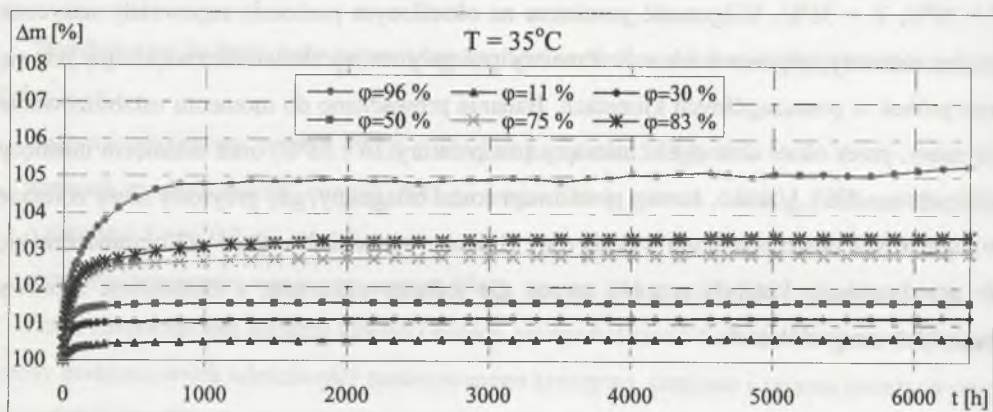
Rys. 1. Zmiany zawartości wilgoci zaprawy modyfikowanej względem czasu w trakcie procesu sorpcji wilgoci w temperaturze $T = 5^\circ\text{C}$

Fig. 1. Changes of contents of moisture of modified mortar comparing to time in the process of sorption of moisture in the temperature $T = 5^\circ\text{C}$



Rys. 2. Zmiany zawartości wilgoci zaprawy modyfikowanej względem czasu w trakcie procesu sorpcji wilgoci w temperaturze $T = 20^{\circ}\text{C}$

Fig. 2. Changes of contents of moisture of modified mortar comparing to time in the process of sorption of moisture in the temperature $T = 20^{\circ}\text{C}$



Rys. 3. Zmiany zawartości wilgoci zaprawy modyfikowanej względem czasu w trakcie procesu sorpcji wilgoci w temperaturze $T = 35^{\circ}\text{C}$

Fig. 3. Changes of contents of moisture of modified mortar comparing to time in the process of sorption of moisture in the temperature $T = 35^{\circ}\text{C}$

3. Analiza wyników

Otrzymane doświadczalnie wyniki poddano dalszej obróbce w celu określenia zawilgocenia sorpcyjnego dla każdej zaprawy w 18 analizowanych warunkach ciepło-wilgotnościowych. Wyznaczono je jako średnią z trzech wyników uzyskanych dla badanych próbek w danych warunkach klimatycznych. Średnie masowe wilgotności sorpcyjne dla testowanych materiałów przy trzech temperaturach i sześciu poziomach wilgotności względnej powietrza zebrano w tabeli 2.

Tabela 2

Średnia ustabilizowana wilgotność sorpcyjna [%]

Wilgotność względna φ [%]	Zaprawa cementowa			Zaprawa modyfikowana			Zaprawa cementowo-wapienna		
	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	0,66	0,61	0,50	0,81	0,51	0,63	0,44	0,35	0,38
30	1,23	1,27	1,08	1,36	1,41	1,18	0,97	0,86	0,77
50	2,11	2,08	1,67	2,18	2,05	1,58	1,48	1,21	1,04
75	3,16	3,45	2,69	3,11	3,34	2,92	3,04	2,84	2,28
83	5,45	4,63	4,22	6,07	4,47	3,38	5,05	3,50	3,12
96	8,17	7,23	5,42	7,98	7,59	5,28	10,71	7,93	5,26

Analizując otrzymane wyniki można stwierdzić, że w przypadku materiałów na spoiwie cementowym uzyskano zbliżone wartości zawilgocenia sorpcyjnego. Dopiero powyżej wilgotności względnej powietrza, około 83%, zaobserwowano wyraźne różnice w wynikach. Największe zawilgocenie sorpcyjne spośród badanych materiałów osiągnęła zaprawa cementowo-wapienna przy temperaturze 5°C i wilgotności 96%. Najmniejsze zawilgocenie zanotowano również dla tej zaprawy w temperaturze 20°C i wilgotności 11%.

Zmiana temperatury z 5 na 35°C spowodowała zmniejszenie zawilgocenia sorpcyjnego w przypadku wszystkich wilgotności względnych powietrza dla każdej z zapraw. Natomiast przy przejściu z temperatury 5 na 20°C zanotowano identyczną zależność przy wszystkich sześciu poziomach wilgotności względnej powietrza tylko w przypadku zaprawy cementowo-wapiennej. Dla dwóch pozostałych zapraw przy wilgotności 30 i 75% wystąpił niewielki przyrost zawilgocenia przy wzroście temperatury w tym zakresie. Wyjaśnienie tej nieregularności wymaga przeprowadzenia w przyszłości dalszych badań testujących.

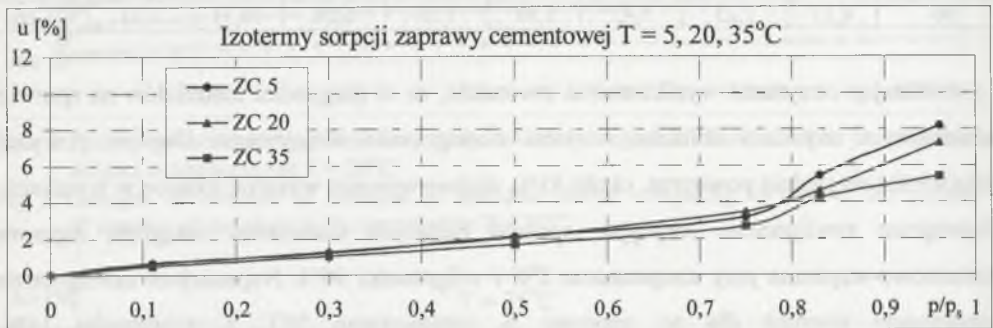
Dodanie włókien polipropylenowych do zaprawy cementowej nie spowodowało wyraźnego wpływu na obniżenie lub zwiększenie zawilgocenia sorpcyjnego. Nie zaobserwowano tu jednoznacznej tendencji. Jedyne przy temperaturze 35°C i wilgotności 83% dodanie włókien wyraźnie zmniejszyło zawilgocenie sorpcyjne. Wpływ włókien jest więc pomijalny.

Można natomiast zaobserwować wyraźnie wpływ dodania wapna do zaprawy cementowej, gdyż spowodowało to zmniejszenie zawilgocenia sorpcyjnego. Odstępstwo od tej tendencji zanotowano tylko w przypadku wilgotności 96% przy temperaturach 5 i 20°C, gdzie zaprawa cementowo-wapienna ma wyraźnie większe zawilgocenie sorpcyjne niż cementowa.

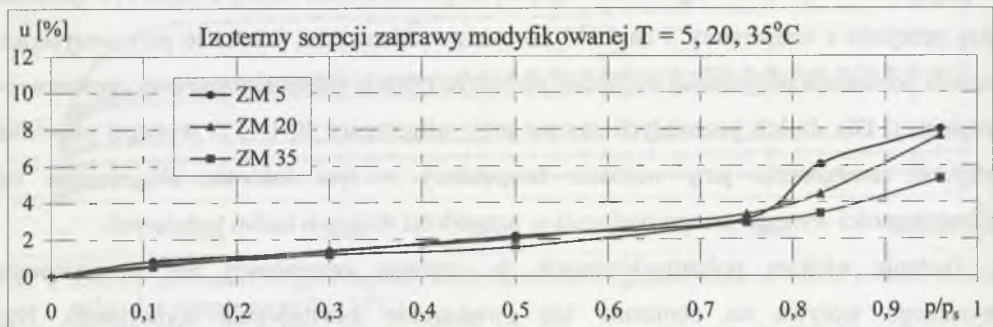
Porównując uzyskane wyniki z wartościami podanymi w normie [13] można stwierdzić, że nie zostały przekroczone wartości normowe przy wilgotnościach 50 i 83% i temperaturze 20°C. Wartości dla tych warunków klimatycznych zaznaczono w tabeli 2.

4. Izotermi sorpcji

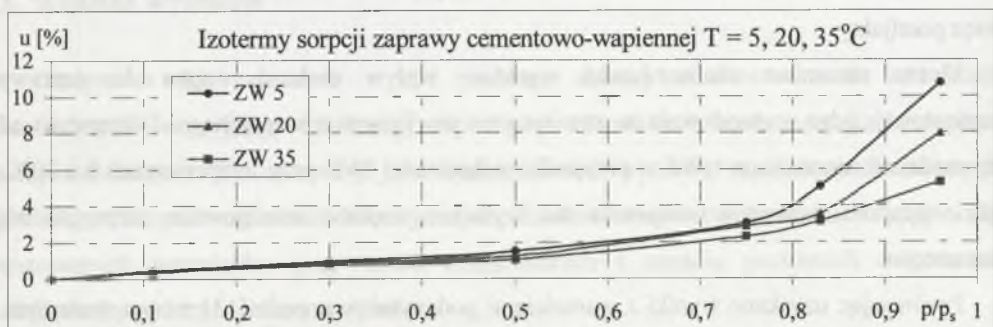
Na podstawie uzyskanych wyników badań przyrostu wilgotności próbek zapraw przy kolejnych wartościach wilgotności względnej powietrza sporządzono izotermi sorpcji przy trzech różnych temperaturach. Uzyskane izotermi dla zapraw cementowej, modyfikowanej i cementowo-wapiennej przedstawiono odpowiednio na rys. 4, 5 i 6.



Rys. 4. Izotermi sorpcji zaprawy cementowej
Fig. 4. Isotherms of sorption of cement mortar



Rys. 5. Izotermi sorpcji zaprawy modyfikowanej
Fig. 5. Isotherms of sorption of modified mortar



Rys. 6. Izotermi sorpcji zaprawy cementowo-wapiennej
Fig. 6. Isotherms of sorption of cement-lime mortar

Ocenie poddano uzyskane krzywe, biorąc pod uwagę zgodność ze znanymi typami izoterm wg IUPAC i Brunauera. Na uzyskanych krzywych można wyróżnić trzy części, które odpowiadają trzem etapom adsorpcji gazu na ciele stałym. Część pierwsza odpowiada izotermie typu I, gdzie przy małych wilgotnościach względnych na powierzchni adsorbentu tworzy się monomolekularna warstewka adsorbowanej substancji. Następnie, wraz ze wzrostem wilgotności względnej powietrza, zachodzi formowanie się wielomolekularnej warstwy. Powyżej wilgotności około 80% rozpoczyna się proces kondensacji kapilarnej w mezoporach adsorbentu, co widoczne jest na krzywych przez wzrost zawilgocenia. Charakter wyznaczonych izoterm odpowiada izotermie typu II wg wymienionych klasyfikacji. Ten typ izotermy wiąże się z powstaniem wielomolekularnej warstwy adsorpcyjnej podczas adsorpcji fizycznej.

5. Podsumowanie

Badania sorpcji wybranych zapraw posłużyły do analizy wpływu na przebieg procesu różnych warunków ciepłno-wilgotnościowych oraz docelowo określenia zawilgocenia sorpcyjnego. W artykule przedstawiono wyniki badań będących kontynuacją eksperymentu omówionego w [11]. Kolejnym etapem w analizie otrzymanych izoterm będzie próba ich opisu matematycznego i określenie zgodność danych eksperymentalnych z proponowanymi w literaturze równaniami izoterm.

LITERATURA

1. Budownictwo ogólne. Tom 2 – Fizyka budowli. Praca zbiorowa pod red. Prof. P. Klemma. Arkady, Warszawa 2006.
2. Dutkiewicz E. T.: Fizykochemia powierzchni. WNT, Warszawa 1998.
3. Garbalińska H., Siwińska A.: Izotermy sorpcji cegły ceramicznej, silikatowej i betonu komórkowego. XI Polska Konferencja Naukowo – Techniczna „Fizyka budowli w teorii i praktyce,” Łódź 2007.
4. Krus M.: Feuchttransport- und Speicherkoefizienten poröser Baustoffe. Theoretische Grundlagen und neue Meßtechniken. Stuttgart 1995.

5. Kubik J.: Przepływ wilgoci w materiałach budowlanych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej, Opole 2000.
6. Künzel H. M.: Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen mit einfachen Kennwerten. Dissertation, Universität Stuttgart 1994.
7. Marynowicz A., Wyrwał J.: Badanie właściwości wilgotnościowych wybranych materiałów budowlanych w warunkach izotermicznych. Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN, Warszawa 2005.
8. Ociepka J.: Adsorpcja. PWN, Warszawa 1973.
9. Paderewski M. L.: Procesy adsorpcyjne w inżynierii chemicznej. WNT, Warszawa 1999.
10. Pigo K., Ruziewicz Z.: Chemia fizyczna. Podstawy fenomenologiczne. PWN, Warszawa 2005.
11. Siwińska A.: Kinetyka procesu sorpcji wilgoci w porowatych materiałach budowlanych. Zeszyty naukowe Politechniki Śląskiej, seria: Budownictwo, zeszyt: 109, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2006, s. 355-362.
12. Zarzycki R.: Wymiana ciepła i ruch masy w inżynierii środowiska. WNT, Warszawa 2005.
13. PN-EN 12524:2003 „Materiały i wyroby budowlane. Właściwości cieplno-wilgotnościowe. Tabelaryczne wartości obliczeniowe”.
14. PN-EN ISO 12571:2002 „Cieplno-wilgotnościowe właściwości materiałów i wyrobów budowlanych. Określanie właściwości sorpcyjnych”.

Projekt współfinansowany ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego oraz środków Budżetu Państwa w ramach Zintegrowanego Programu Operacyjnego Rozwoju Regionalnego

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Jerzy Wyrwał