

dr inż. Maria Wesołowska^{1)*}
dr inż. Anna Kaczmarek¹⁾

Wpływ struktury na parametry wilgotnościowe wybranych zapraw budowlanych

Structure impact on humidity parameters of selected mortars

DOI: 10.15199/33.2015.05.26

(Oryginalny artykuł naukowy)

Streszczenie. Struktura zapraw budowlanych odgrywa istotną rolę w transporcie wilgoci w konstrukcjach murowych. Wprowadzane dodatki do zapraw w postaci wapna i plastyfikatorów modyfikują rozkład i wielkość porów. Tradycyjne badania makroskopowe nie pozwalają na dokładne określenie tego typu zmian. W artykule zaprezentowano wyniki badań porozymetrycznych wybranych zapraw budowlanych. Przeanalizowano zmiany struktury wynikające z wprowadzenia dodatków do zapraw i określono ich wpływ na właściwości wilgotnościowe.

Słowa kluczowe: porozymetria rtęciowa, absorpcja kapilarna, struktura zapraw budowlanych.

Abstract. Structure of construction mortars plays essential role in humidity transport in wall construction. Addition of lime and plasticizers modify displacement and size of pores. Traditional macroscopic examinations do not allow to define these changes precisely. In the work there are presented results of porosimetric tests of selected mortars. Changes of structure were analyzed resulting from introduction of additions to mortars and their impact were defined on humidity properties.

Keywords: mercury porosimetry, capillary absorption, construction mortar structure.

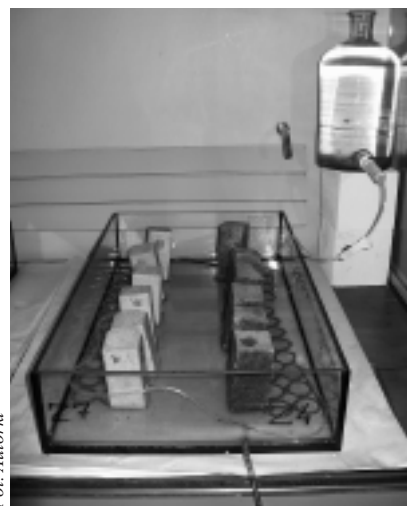
W e współczesnych konstrukcjach murowych stosuje się cementowe zaprawy budowlane, których właściwości są modyfikowane przez wapno lub plastyfikatory. Złożona struktura tych zapraw i ich bardzo duża powierzchnia wewnętrzna skutkuje dużymi różnicami w kapilarnym transporcie wilgoci. Tradycyjne badania makroskopowe nie pozwalają na dokładne przewidywanie zachowania się zapraw w kontakcie z wodą. Zarówno proces kapilarnego podciągania, wysychania, jak i zamarzania wody jest zależny od wielkości i rozkładu porów. Na strukturę porowatą składają się połączone ze sobą pory o różnym kształcie i wielkości, które klasyfikuje się pod względem szerokości na: mikropory (< 2 nm); mezopory (2 – 50 nm); makropory (> 50 nm).

Największą zdolność adsorpcyjną mają mikropory – stanowią podstawowy nośnik właściwości sorpcyjnych materiału [1]. Ich wielkość jest porównywalna z wielkością adsorbowanych cząstek. W mezoporach odbywa się transport wilgoci, a na ich powierzchni zachodzi adsorpcja. Makropory głównie pełnią funkcję transportową w przenoszeniu wilgoci do mezo- i mikroporów. Do oceny porowatości w zakresie mikro- i mezoporów (<2 ÷ 50 nm) wykorzystuje się

porozymetrię gazową. W przypadku mezo- i makroporów (3 nm ÷ >360 μm) właściwa jest porozymetria rtęciowa.

Badania

Badano trzy wybrane zaprawy budowlane, o składzie podanym w tabeli 1. W celu określenia ich właściwości przygotowano próbki normowe – prostopadłościennymi o wymiarze 40 x 40 x 160 mm. Po 4 tygodniach wysuszono je do stałej masy. Oznaczono cechy makroskopowe zgodnie z procedurami normowymi (nasiąkliwość metodą moczenia wg PN-EN 70B-12016 [2]; współczynnik absorpcji wody spowodowanej podciąganiem kapilarnym wg PN-EN ISO 12571 [3]). W celu określenia współczynnika absorpcji wody spowodowanej podciąganiem kapilarnym stwardniałej zaprawy, próbki złamano bez wprowadzania dodatkowych naprężeń. Ich powierzchnie boczne powleczono parafiną, a następnie ustawiono w wodzie z zanurzeniem 5 ÷ 10 mm (fotografia). Po określonym czasie ustalono przyrost masy danej próbki, jednocześnie rejestrując wysokość podciągania. Wyniki



Fot. Autorki

Stanowisko do badania współczynnika absorpcji wody

Stand for testing water absorption factor

(średnia arytmetyczna z sześciu próbek – tabela 2) przedstawiono w formie zależności przyrostu masy w stosunku do pierwiastka z czasu (rysunek 1). W badaniu nasiąkliwości próbki stopniowo zalewano, aż do całkowitego ich zanurzenia (½ wysokości

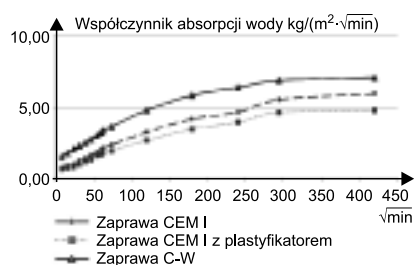
Tabela 1. Skład badanych zapraw

Table 1. Contents of tested mortars

Zaprawa	Proporcje składników	Skład na 10 dm ³				
		cement [kg]	wapno [kg]	piasek [dm ³]	plastyfikator [g]	woda [dm ³]
Cementowa CEM I	(c:p) = 1:3,5	3,78 kg CEM I 42,5N	–	10,5	–	2,53
Cementowa CEM I z plastyfikatorem	(c:p) = 1:3,5	3,78 kg CEM I 42,5N	–	10,5	4,0	2,33
Cementowo-wapienna C-W	(c:w:p) = 1:1,25:6,75	1,65 CEM I 42,5N	0,97	9,5	–	3,04

¹⁾ Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska

^{*} Autor do korespondencji;
e-mail:marysia@utp.edu.pl



Rys. 1. Współczynnik absorpcji wody spowodowanej podciąganiem kapilarnym wybranych zapraw

Fig. 1. Factor of water absorption caused by capillary raising of selected mortars

próbki – 2 h, 3/4 wysokości próbki – 2 h, całkowite zanurzenie do stałej masy próbki). Wyniki w postaci średniej arytmetycznej z sześciu próbek przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Właściwości makroskopowe wybranych zapraw

Table 2. Macroscopic properties of selected mortars

Material badany	Nasiąkliwość [%]	Współczynnik absorpcji wody [kg/(m²·√min)]	Wysokość podciągania kapilarnego [cm]
Zaprawa CEM I	3,4	0,77	4,8
Zaprawa CEM I z plastyfikatorem	3,2	0,37	3,3
Zaprawa C-W	6,4	1,55	8,0 (max)

W celu określenia właściwości związanych z porowatością zapraw wykorzystano metodę porozymetrii rてciowej. Zastosowany typ porozymetru pozwalał na przeprowadzenie badań struktury porowatości średnicy 0,003 ÷ 360 μm. Określono: porowatość; powierzchnię właściwą materiału (całkowitą powierzchnię wewnętrzną porów zawartą w jednostce masy materiału); zastępczą średnicę porów; gęstość pozorną; gęstość właściwą. Na podstawie pomiaru objętości rてci penetrującej w pory przy określonym ciśnieniu równowagowym, wyznaczono rozkład objętości porów w funkcji ich promieni, korzystając z prawa Washburna wiążącego wielkość porów z ciśnieniem [4]:

$$d = \frac{4\gamma \cos(\theta)}{P}$$

gdzie:

γ – napięcie powierzchniowe rてci w 293K – 428 nN/m¹;

θ – kąt zwilżania rてci – 130° (powszechnie akceptowana wartość w badaniach laboratoryjnych);

P – wielkość ciśnienia [Ba].

W celu określenia poprawki na ściślność rてci wykonano cechowanie dylatometrów, wykonując analizę bez próbek (blank test).

Wyniki badań

Na podstawie badań makroskopowych uzyskano średnie wartości nasiąkliwości i współczynnika absorpcji wody spowodowanej podciąganiem kapilarnym, oraz maksymalną wysokość podciągania zaobserwowaną w próbkach (tabela 2). W celu dodatkowego zobrazowania właściwości kapilarnych zapraw opracowano wykres przedstawiający zależność przyrostu masy w stosunku do pierwiastka z czasu (rysunek 1). Podstawowe właściwości strukturalne wybranych zapraw przedstawiono w tabeli 3.

Oprócz wymienionych parametrów, metoda porozymetrii rてciowej pozwoliła szczegółowo określić rozkład objętości i powierzchni właściwej porów w funkcji ich promienia. Rozkład porów został przedstawiony jako:

- funkcja tych efektywnych średnic, których wielkość jest większa od określonej wartości (krzywa całkowita rysunek 2);

- pochodna krzywej całkowitej wg efektywnej średnicy (krzywa różniczkowa rysunek 3); pozwoliła ona na ocenę charakteru porowatości badanego materiału przez możliwość wyróżnienia zakresów porów dominujących w badanych paśmie porowatości.

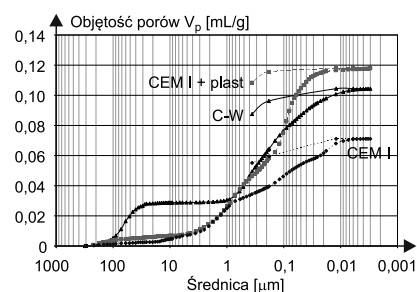
Tabela 3. Parametry struktury wybranych zapraw

Table 3. Structural properties of selected mortars

Material badany	Gęstość		Porowatość [%]	Średni objętościowy wymiar porów [μm]
	objętościowa [kg/m ³]	właściwa [kg/m ³]		
Zaprawa CEM I	1,8372	2,1581	14,87	0,3163
Zaprawa CEM I z plastyfikatorem	1,9577	2,5450	23,08	0,1790
Zaprawa C-W	2,0527	2,6100	21,43	0,3201

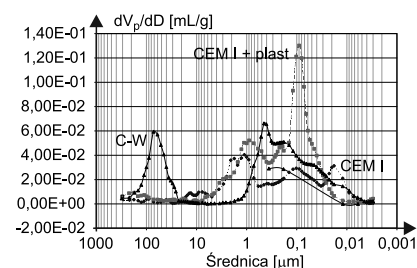
Podsumowanie

Przeprowadzone pomiary ilości i wielkości otwartych porów w zaprawach formowanych w beleczki wykazały, że większość porów otwartych ma średnicę 10⁻⁸ ÷ 10⁻⁴ m. Jednocześnie przepływ kapilarny ma miejsce głównie w porach średnicy 3,0 x 10⁻⁷ ÷ 3,0 x 10⁻⁶ m (300 ÷ 3000 nm). Pory mające mniejszą średnicę, ze względu na istotny wpływ sił tarcia, oraz pory o średnicy większej ze względu na istotny wpływ sił grawitacji, determinują przepływ kapilarny w dużo mniejszym stopniu. W kapilarach średnicy poniżej 10⁻⁷ m woda może być zaadsorbowana w sposób trwały. Maksymalna średnica porów i kapilar dla efektywnego przepływu elektroosmotycznego wynosi 8,0 x 10⁻⁶ m (8000 nm).



Rys. 2. Krzywa całkowita rozkładu wielkości porów wybranych zapraw

Fig. 2. Cumulative pore size distributions of selected mortar



Rys. 3. Krzywa różniczkowa rozkładu wielkości porów wybranych zapraw

Fig. 3. Volume pore size distributions of selected mortar

Badania wskazują, że wprowadzenie plastyfikatora do zapraw powoduje zmniejszenie nasiąkliwości oraz współczynnika absorpcji wody i ograniczenie podciągania kapilarnego, natomiast dodatek wapna wzrost nasiąkliwości, zwiększenie współczynnika absorpcji wody i wysoki poziom podciągania kapilarnego. Można więc wnioskować, że wprowadzenie plastyfikatora wpływa korzystnie na właściwości zapraw związane z kontaktem z wodą. Badania porozymetryczne zapraw wskazują jednak na znaczne różnice w parametrach struktury. Plastyfikator zwiększa porowatość przy utrzymaniu średnicy dominującej z dodatkowym wzrostem jej udziału w porowatości ogólnej. Wapno w zaprawie cementowej generuje porowatość zbliżoną do zaprawy z plastyfikatorem, ale średni objętościowy wymiar porów jest prawie dwukrotnie mniejszy.

Literatura

- [1] Praca zbiorowa pod kierunkiem Klemma P.: Budownictwo Ogólne, t. 2, Fizyka budowli, Arkady, Warszawa 2005.
- [2] PN-EN 70B-12016 Wyroby ceramiki budowlanej – Badania techniczne.
- [3] PN-EN ISO 12571 Ciepno-wilgotnościowe właściwości materiałów i wyrobów budowlanych. Określenie właściwości sorpcyjnych.
- [4] Wesołowska M., Kaczmarek M., Pawelkowski K., Kempniński M.: Compatibility of masonry components from gas permeability tests, An International Masonry Society Special Publication, Masonry (11) Eighth International Masonry Conference held in Dresden from 4th to 7th of July 2010.

Otrzymano 08.01.2015 r.