

mgr inż. Adelajda Pala*

Badania wilgotności zasolonej cegły ceramicznej nieniszcząca metodą dielektryczną

Testing moisture content of salt-affected ceramic brick by nondestructive dielectric method

Badania wilgotności murów ceglanych są w praktyce często prowadzone za pomocą metod nieniszczących. Zaletą tych metod jest m.in. nieinwazyjność i możliwość badania danego elementu w dowolnym czasie i miejscach pomiarowych. Bezinwazyjność ma znaczenie szczególnie wtedy, gdy mamy do czynienia z obiektem historycznym, w którym z reguły nie ma możliwości ingerencji w strukturę badanego elementu albo możliwość ta jest znacznie ograniczona.

W obiektach budowlanych zawilgoceciu ulegają najczęściej murowane ściany zewnętrzne i wewnętrzne piwnic i parteru. Ma to miejsce prawie zawsze wtedy, gdy obiekt nie ma izolacji przeciwwilgociowych pionowych lub poziomych. Na ściany działa wówczas woda gruntowa zawierająca rozpuszczalne w niej szkodliwe dla struktury muru sole (azotany, chlorki, siarczany) [1, 2, 4], które wraz z wodą gruntową przedostają się do muru, powodując jego zasolenie (fotografia). Stężenie soli, w zależności od środowiska, w jakim znajduje się mur, może być małe, średnie lub duże [1, 4].

Spośród metod nieniszczących przydatnych do badania wilgotności murów ceglanych bardzo często stosowane są metody elektryczne, np. dielektryczna i opornościowa [4, 5, 7]. W literaturze sygnalizowany jest problem możliwości dokonania niewłaściwej oceny wilgotności metodami elektrycznymi w sytuacji, gdy mur jest zawilgocony i jednocześnie zasolony [3, 5, 6, 8], a w praktyce z sytuacją taką spotykamy się prawie zawsze. Należy w tym miejscu zauważyć, że mierniki wilgotnościowe



Przykład zawilgoconych i zasolonych murowanych ścian ceglanych

Fot. Autorka

w metodach elektrycznych są zazwyczaj wyskalowane przez producenta lub przez badacza w warunkach laboratoryjnych na podstawie badań próbek zawilgoconych wodą pozbawioną soli. Nasuwa się więc pytanie, czy i jak duży błąd można popełnić w ocenie wilgotności masowej tak wyskalowanymi miernikami w sytuacji, gdy w badanym murze obecne są sole.

W celu uzyskania odpowiedzi na to pytanie przeprowadzono badania metodą dielektryczną cegieł ceramicznych pełnych, które w murach ceglanych zajmują ok. 75% objętości, przechowywanych w środowiskach azotanowym, chlorkowym i siarczanowym oraz w środowisku wodnym, jako porównawczym, pozbawionym soli.

Opis badań

Badaniom poddano cegłę ceramiczną pełną klasy 25 charakteryzującą się: gęstością $1,75 \text{ g/cm}^3$, nasiąkliwością

11,5% i porowatością 33,9%. Do badań użyto 80 cegieł, które podzielono na 10 grup oznaczonych literami: W, AM, AS, AD, CM, CS, CD, SM, SS, SD, każda po 8 sztuk. Wszystkie cegły wysuszono do stałej masy w temperaturze 105°C .

Pierwsza grupa cegieł, oznaczona literą W, umieszczona została w środowisku wodnym (woda destylowana). Trzy kolejne grupy oznaczone literami AM, AS, AD znalazły się w środowisku azotanowym A o różnym stężeniu jonów NO_3^- (małym – M, średnim – S, dużym – D), a następane trzy grupy oznaczone literami CM, CS, CD w środowisku chlorkowym C o różnym stężeniu jonów Cl^- (małym – M, średnim – S, dużym – D). Trzy ostatnie grupy oznaczone jako SM, SS, SD umieszczono w środowisku siarczanowym S także o różnym stężeniu jonów SO_4^{2-} (małym – M, średnim – S, dużym – D). Cegły umieszczono w roztworach i przechowywano w temperaturze 20°C , aż do ustabilizowania się ich masy. Stężenia masowe [%] użytych do badań roztworów przedstawiono w tabeli 1.

Po uzyskaniu stałej wagi cegły z wszystkich grup wyjęto z wody oraz pozostałych roztworów i poddano badaniom za pomocą metody dielektrycznej. Wykorzystano do tego celu miernik wilgotności GANN UNI 1 z sondą kulową B50. Określono także w ceglach zawartość soli [%], pobierając z nich próbki do badań. Uzyskane rezultaty podano w tabeli 1. Następnie cegły przeniesiono do komory klimatycznej i rozpoczęto proces kilkuetapowego ich suszenia do stałej masy. Po każdym etapie określano wilgotność masową W_m cegieł [%] na pod-

* Politechnika Wroclawska

Tabela 1. Stężenie roztworu „r” [%], w którym przechowywano badane cegły, i stężenie soli zawartych w cegle „c” [%]

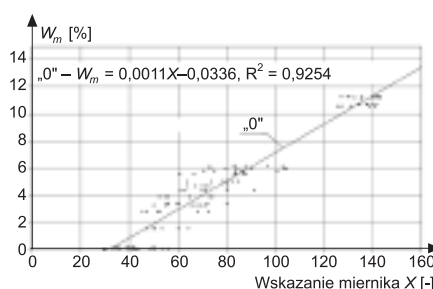
Stężenie roztworu (r) i stężenie soli w cegle (c) [%]	Rodzaj środowiska							
	wodne		azotanowe		chlorkowe		siarczanowe	
	(r)	(c)	(r)	(c)	(r)	(c)	(r)	(c)
Małe – M	0	0	0,05	0,08	0,10	0,32	0,21	0,45
Średnie – S			0,19	0,25	0,37	0,64	0,61	1,02
Duże – D			0,37	0,50	0,68	0,82	1,02	1,60

stawie ważenia oraz badano je nieniszcząco z wykorzystaniem metody dielektrycznej.

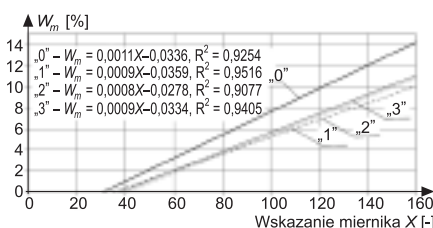
W pierwszym etapie cegły suszono w temperaturze powietrza 20 °C i wilgotności względnej powietrza 50%, do ustabilizowania się masy. Po tym czasie zważono wszystkie cegły oraz przeprowadzono badania nieniszcząco. Następnie zmniejszono wilgotność względną powietrza do 20%, pozostawiając bez zmian temperaturę powietrza i powtórzono wszystkie badania. Trzeci etap suszenia przebiegał przy wilgotności względnej powietrza 0% i temperaturze powietrza 20 °C. Następnie podniesiono temperaturę powietrza w komorze do 50 °C, pozostawiając bez zmian wilgotność względną powietrza i suszono cegły do uzyskania stałej masy. W ostatnim etapie podniesiono temperaturę powietrza w komorze do 105 °C. W każdym z etapów pobierano z cegieł próbki do oznaczenia procentowej zawartości soli (tabela 1).

Analiza wyników badań

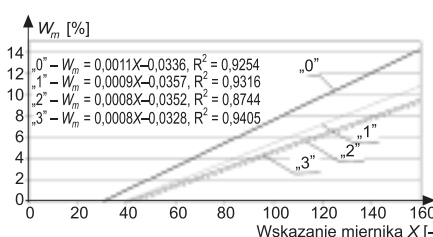
Uzyskane wyniki badań obrazują rysunki 1 – 4, na których przedstawiono otrzymane zależności korelacyjne między wilgotnością masową W_m i wskazaniem X miernika dielektrycznego, w przypadku cegieł ceramicznych przechowywanych w wodzie (rysunek 1) oraz w środowiskach azotanowym (rysunek 2), chlorkowym (rysunek 3) i siarczanowym (rysunek 4) o różnej zawartości soli. Wszystkie uzyskane zależności opisano prostoliniowymi funkcjami matematycznymi, przyporządkowując im na rysunkach 1 – 4 cyfry od „0” do „3”, mianowicie: dla środowiska wodnego „0”, dla środowiska o niskim stężeniu jonów „1”, dla środowiska o średnim stężeniu jonów „2”,



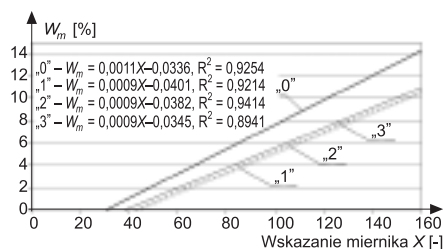
Rys. 1. Zależność korelacyjna między wilgotnością masową W_m i wskazaniem X użytego do badań miernika dielektrycznego, dla cegły ceramicznej pełnej zawilgoconej wodą



Rys. 2. Zależności korelacyjne między wilgotnością masową W_m a wskazaniem X miernika dielektrycznego użytego w badaniach, dla cegły ceramicznej pełnej zawilgoconej wodą (zależność „0”) i roztworem wodnym zawierającym różne stężenia masowe w % jonów NO_3^- : małe – zależność „1”, średnie – zależność „2”, duże – zależność „3”



Rys. 3. Zależności korelacyjne między wilgotnością masową W_m a wskazaniem X miernika dielektrycznego użytego w badaniach, dla cegły ceramicznej pełnej zawilgoconej wodą (zależność „0”) i roztworem wodnym zawierającym różne stężenia masowe w % jonów Cl^- : małe – zależność „1”, średnie – zależność „2”, duże – zależność „3”



Rys. 4. Zależności korelacyjne między wilgotnością masową W_m a wskazaniem X miernika dielektrycznego użytego w badaniach, dla cegły ceramicznej pełnej zawilgoconej wodą (zależność „0”) i roztworem wodnym zawierającym różne stężenia masowe w % jonów SO_4^{2-} : małe – zależność „1”, średnie – zależność „2”, duże – zależność „3”

dla środowiska o wysokim stężeniu jonów „3”. Warto zauważyć, że podane na rysunkach 1 – 4 wartości współczynnika korelacji R^2 obliczone w przypadku wszystkich określonych zależności są wysokie i zawierają się między 0,8744 a 0,9516, co świadczy o dobrym dopasowaniu tych zależności do uzyskanych wyników badań.

Z analizy rysunków 1 – 4 wynika, że zależności korelacyjne W_m - X opisane cyframi od „1” do „3” mają podobny przebieg. Świadczy to o tym, że różne stężenie soli w cegle ceramicznej (małe, średnie, duże) wpływa podobnie na wskazania X użytego w badaniach miernika dielektrycznego. Warto natomiast zauważyć, że zależności W_m - X opisane cyframi od „1” do „3” dosyć istotnie odbiegają od zależności W_m - X opisanej cyfrą „0”.

Można na tej podstawie wyciągnąć wniosek, że bez względu na rodzaj środowiska (azotanowe, chlorkowe, siarczanowe) i stężenie zawartych w nim jonów NO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , w jakim przechowywane były badane cegły ceramiczne, obserwowany jest duży wpływ zasolenia na wskazania X użytego w badaniach miernika dielektrycznego. Jak ten wpływ może przełożyć się na błędną ocenę wilgotności zasolonej cegły ceramicznej, pokazuje tabela 2.

Podsumowanie

W przypadku zasolonych cegieł ceramicznych, przechowywanych w środowisku azotanowym, chlorkowym i siarczanowym o różnym stężeniu jonów, zależności korelacyjne między wilgotnością masową W_m i wskazaniem X użytego w badaniach miernika dielektrycznego są do siebie zbliżone. Zależ-

Tabela 2. Możliwy do popełnienia błąd w ocenie wilgotności masowej W_m zasolonej cegły ceramicznej metodą dielektryczną

Wilgotność masowa cegły W_m	Wskaźnik X miernika odczytane z zależności „0” dla W_m podanego w kolumnie 1 [-]	Numer zależności	Wskaźnik X miernika odczytane z zależności „1”, „2”, „3” dla W_m podanego w kolumnie 1 [-]			Wilgotność masowa W_m odczytana dla wskazań X podanych w kolumnach 4, 5 i 6 z zależności „0”			Błąd względny w ocenie wilgotności W_m		
			A	C	S	A	C	S	A	C	S
Rodzaj środowiska	W	-	A	C	S	A	C	S	A	C	S
2%	49	„1”	62	62	67	3,5%	3,4%	4,0%	73,6%	72,4%	99,3%
		„2”	60	69	65	3,2%	4,2%	3,8%	60,6%	111,5%	87,7%
		„3”	59	66	65	3,2%	3,9%	3,3%	58,3%	95,0%	65,1%
4%	67	„1”	84	84	89	5,9%	5,9%	6,4%	47,9%	47,3%	60,8%
		„2”	85	94	87	6,0%	7,0%	6,2%	49,1%	74,5%	54,9%
		„3”	82	91	87	5,6%	6,7%	5,7%	40,3%	66,3%	43,6%
6%	85	„1”	107	106	111	8,4%	8,3%	8,9%	39,4%	38,9%	47,9%
		„2”	110	119	109	8,7%	9,7%	8,6%	45,2%	62,2%	44,0%
		„3”	104	116	109	8,1%	9,4%	8,2%	34,3%	56,7%	36,5%
8%	103	„1”	129	129	133	10,8%	10,8%	11,3%	35,1%	34,8%	41,5%
		„2”	135	144	131	11,5%	12,5%	11,1%	43,3%	56,0%	38,6%
		„3”	126	141	131	10,5%	12,2%	10,6%	31,3%	51,9%	32,9%
10%	121	„1”	151	151	156	13,3%	13,2%	13,8%	32,5%	32,3%	37,6%
		„2”	160	169	154	14,2%	15,2%	13,5%	42,1%	52,3%	35,3%
		„3”	148	166	154	12,9%	14,9%	13,1%	29,4%	49,0%	30,8%
12%	140	„1”	173	173	178	15,7%	15,7%	16,2%	30,8%	30,6%	35,1%
		„2”	185	194	176	17,0%	18,0%	16,0%	41,4%	49,8%	33,1%
		„3”	170	191	176	15,4%	17,7%	15,5%	28,2%	47,1%	29,4%
14%	158	„1”	195	195	200	18,1%	18,1%	18,7%	29,6%	29,4%	33,2%
		„2”	210	219	198	19,7%	20,7%	18,4%	40,8%	48,1%	31,6%
		„3”	193	216	194	17,8%	20,4%	18,0%	27,4%	45,7%	28,3%

ności te odbiegają jednak dosyć istotnie od zależności korelacyjnej W_m -X określonej dla cegły ceramicznej przechowywanej w środowisku wodnym pozbawionym soli.

Rezultaty badań wskazują jednoznacznie na to, że w celu właściwej oceny wilgotności masowej zasolonego muru ceglanoego metodą dielektryczną należy dokonać skalowania

miernika dielektrycznego w danym obiekcie w celu określenia zależności korelacyjnej W_m -X lub hipotetycznego doboru zależności W_m -X spośród zależności korelacyjnych określonych dla zasolonych murów ceglanych w innych obiektach zbliżonych „wiekowo” i eksploatowanych w podobnych warunkach otoczenia zewnętrznego. W przeciwnym razie, korzystając z zależności

korelacyjnej określonej np. przez producenta miernika na próbkach muru zawilgoconego wodą pozbawioną soli, można popełnić istotny błąd w ocenie zawilgożenia badanego zasolonego muru.

Abstract

The paper presents tests of the mass moisture content of salt-affected ceramic bricks, stored in respectively a nitrate medium, a chloride medium, a sulphate medium and a reference water medium, carried out using the nondestructive dielectric method. From the test results correlations between mass moisture content W_m and dielectric meter indication X for ceramic brick damp with water and with water solutions containing salts in different ionic concentrations were derived. It is shown that salinity significantly affects the X indications of the dielectric meter used in the tests, which may contribute to a significant (for building practice) error in the estimation of the moisture content in salt-affected brick masonry.

Literatura

- [1] Adamowski J., Hoła J., Matkowski Z.: Probleme und Lösungen beim Feuchtigkeitsschutz des Mauerwerks von Baudenkmälern am Beispiel zweier großer Barockbauten in Wrocław. Bautechnik Vol. 82, Issue 7, 06/2005, 426 – 433.
- [2] Alsabry A.: Dynamika podciągania kapilarnego w murach budowlanych. Przegląd Budowlany 9/2010, 46 – 48.
- [3] Ezerskiy V., Kosior-Kazberuk M.: Modelowanie procesu przewodzenia ciepła w zasolonych materiałach ściennych. Przegląd Budowlany 9/2010, 28 – 33.
- [4] Hoła J., Matkowski Z.: Wybrane problemy dotyczące zabezpieczeń przeciwwilgociowych ścian w istniejących obiektach murych. Mat. XXIV Konferencji Naukowo-Technicznej „Awaryje Budowlane”, Szczecin-Międzyzdroje, 2009, s. 73 – 92.
- [5] Karyś J., Zwierzyński K.: Specyfikacja pomiaru wilgotności przegród metodami elektrycznymi. Materiały Budowlane 10/2006 (nr 410), 60 – 61.
- [6] Koniorczyk M., Wojciechowski M.: Wpływ soli na stan wilgotnościowy zaprawy cementowej. Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce Tom V, nr 1-2010, 35 – 40.
- [7] Pala A.: Comparative analysis of nondestructive brick wall dampness assessments based on hypothetical dependence and correlational dependence. 42nd International Conference „Defektoskopie 2012”, Sec u Chrudimi, Czech Republic, 2012, s. 181 – 188.
- [8] Rirsch E., Zhang Z.: Rising damp in masonry walls and the importance of mortar properties. Construction and Building Materials 24 (2010), 1815 – 1820.