

mgr inż. Adelajda Pala*
prof. dr hab. inż. Jerzy Hoła*

Badania wilgotności zasolonej cegły ceramicznej nieniszczącą metodą opornościową

Determination of moisture content in salt-affected ceramic brick by the nondestructive resistivity method

Główną przyczyną zawilgocenia ścian budynków murowanych, zwłaszcza starych, jest brak izolacji przeciwwilgociowych [6]. Ściany mają wówczas kontakt z wodą gruntową zawierającą rozpuszczone w niej sole mające szkodliwy wpływ na strukturę muru. Sole te wraz z wodą gruntową są z upływem czasu podciągane kapilarnie w coraz to wyższe partie ścian [1, 2, 3, 4, 5, 7]. Warto przypomnieć, że stężenie soli w murze w zależności od środowiska, w jakim znajduje się mur, klasyfikuje się w literaturze jako: małe, średnie lub duże [1, 6].

Eliminowanie przyczyn i skutków zawilgocenia ścian murowanych powinno być poprzedzone specjalistycznymi badaniami wilgotnościowymi [6], które często są prowadzone za pomocą metod nieniszczących. Bezwzględność tych metod predysponuje je przede wszystkim do zastosowań w obiektach historycznych, w przypadku których możliwość ingerencji w strukturę muru jest znacznie ograniczona lub wręcz niemożliwa. Spośród metod nieniszczących przydatnych do badania wilgotności murów ceglanych bardzo często stosowane są, z uwagi na łatwość badania, metody elektryczne: dielektryczna i opornościowa [6,7].

W literaturze jest sygnalizowany problem wiarygodności oceny zawilgocenia murów ceglanych wymienionymi metodami w sytuacji, gdy w badanym murze obecne są sole [3, 6, 7, 8, 9, 10]. Jak podano w [9] problem ten bierze się stąd, że mierniki wilgotnościowe stosowane w metodach elektrycznych są zazwyczaj skalowane w warunkach laboratoryjnych, na podstawie badań próbek zawilgoconych wodą pozbawioną soli. W pracy [9] wykazano na drodze badawczej, jak duży błąd można popełnić w ocenie wilgotności muru ceglanoego tak wyskalowanym miernikiem dielektrycznym. Natomiast w artykule zamieściliśmy rezultaty badań pokazujące, jaki ten błąd może być w przypadku wykorzystania do badań miernika opornościowego. W tym celu, analogicznie jak w pracy [9], przeprowadzono badania wilgotności cegieł, przechowywanych w środowiskach: azotanowym, chlorkowym i siarczanowym oraz w czystej wodzie, jako środowisku porównawczym, stosując metodę opornościową.

Opis przeprowadzonych badań

Analogicznie jak w pracy [9] badaniami poddano cegłę ceramiczną pełną klasy 25 charakteryzującą się gęstością 1,75 g/cm³, nasiąkliwością 11,5% i porowatością 33,9%. Ba-

dano 10 grup cegieł oznaczonych literami: W, Am, As, Ad, Cm, Cs, Cd, Sm, Ss, Sd, każda po 8 sztuk. Wszystkie cegły wysuszone do stałej masy w temperaturze 105 °C.

Pierwsza grupa cegieł, oznaczona literą W, umieszczona została w środowisku wodnym w wodzie destylowanej. Trzy kolejne grupy oznaczone literami Am, As, Ad umieszczono w środowisku azotanowym o różnym stężeniu jonów NO₃⁻ (małym – m, średnim – s, dużym – d). Następne trzy grupy oznaczone jako Cm, Cs, Cd umieszczono w środowisku chlorkowym o różnym stężeniu jonów Cl⁻ (małym – m, średnim – s, dużym – d). Trzy ostatnie grupy oznaczone literami Sm, Ss, Sd umieszczone zostały w środowisku siarczanowym także o różnym stężeniu jonów SO₄²⁻ (małym – m, średnim – s, dużym – d). Cegły przechowywano w roztworach, których stężenia masowe [%] przedstawia tabela 1, w temperaturze 20 °C, aż do ustabilizowania się ich masy. Wtedy cegły wyjęto z wody oraz pozostałych roztworów i poddano badaniom nieniszczącym za pomocą metody opornościowej. Wykorzystano do tego celu powszechnie stosowany w praktyce budowlanej miernik wilgotności RTU 600, z elektrodą wbijaną M20 (fotografia). Następnie z cegieł pobrano próbki do badań zawartości soli. Wyniki badań podano w tabeli 2.



Widok: a) cegły przygotowanych do badań, umieszczonych w komorze klimatycznej; b) cegły badanej za pomocą metody opornościowej

Tabela 1. Stężenie roztworu „r” [%], w którym przechowywano badane cegły i stężenie soli w cegle „c” [%] [9]

| 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 | | | 0,05 | 0,08 | 0,10 | 0,32 | 0,21 | 0,45 |
| Średnie – s | 0 | 0 | 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 |

* Politechnika Wroclawska

Tabela 2. Możliwy do popelnienia błąd w ocenie wilgotności masowej W_m zasolonej cegły ceramicznej metodą opornościową

| 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 $\Delta = W_m = \frac{ W_m - W_m^* }{W_m} \times 100\%$ | | |
|-------------------------------|--|------------------|--|-----|-----|--|-------|-------|---|-------|-------|
| | | | A | C | S | A | C | S | A | C | S |
| Rodzaj środowiska | W | - | A | C | S | A | C | S | A | C | S |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 4% | 9 | „1” | 13 | 11 | 11 | 5,4% | 4,6% | 4,6% | 34,1% | 16,2% | 15,5% |
| | | „2” | 12 | 17 | 9 | 4,9% | 6,2% | 4,0% | 23,2% | 55,1% | 1,1% |
| | | „3” | 10 | 19 | 8 | 4,2% | 6,7% | 3,6% | 4,7% | 66,6% | 9,2% |
| | | „-” | 11 | 14 | 10 | 4,8% | 5,6% | 4,2% | 19,0% | 40,8% | 4,1% |
| 8% | 27 | „1” | 30 | 35 | 34 | 8,4% | 8,9% | 8,8% | 4,7% | 11,0% | 10,3% |
| | | „2” | 35 | 46 | 32 | 8,9% | 9,9% | 8,5% | 10,9% | 23,2% | 6,6% |
| | | „3” | 36 | 44 | 32 | 9,0% | 9,7% | 8,6% | 12,5% | 21,3% | 7,2% |
| | | „-” | 35 | 42 | 34 | 8,8% | 9,6% | 8,7% | 10,5% | 19,6% | 9,1% |
| 12% | 83 | „1” | 70 | 113 | 110 | 11,4% | 13,1% | 13,0% | 5,1% | 9,3% | 8,6% |
| | | „2” | 104 | 126 | 110 | 12,8% | 13,5% | 13,0% | 6,8% | 12,6% | 8,4% |
| | | „3” | 137 | 102 | 126 | 13,8% | 12,7% | 13,5% | 15,1% | 6,2% | 12,6% |
| | | „-” | 107 | 125 | 119 | 12,9% | 13,5% | 13,3% | 7,6% | 12,5% | 10,8% |

W dalszej kolejności cegły poddano procesowi kilkuetapowego suszenia w komorze klimatycznej. Po każdym etapie suszenia cegły badano metodą opornościową oraz określano ich rzeczywistą wilgotność masową W_m [%] na podstawie ważenia. I tak, najpierw wszystkie cegły przechowywano w temperaturze powietrza 20 °C i wilgotności względnej powietrza 50%, do ustabilizowania się masy, po czym zważono je i poddano badaniom nieniszczącym. Drugi etap suszenia przebiegał w tej samej temperaturze powietrza, ale przy wilgotności względnej powietrza 20%. Następnie zmniejszono wilgotność względną powietrza do 0%, a w czwartym etapie podniesiono temperaturę powietrza w komorze do 50 °C, pozostawiając bez zmian wilgotność względną powietrza. W etapie ostatnim cegły wysuszono w temperaturze powietrza 105 °C.

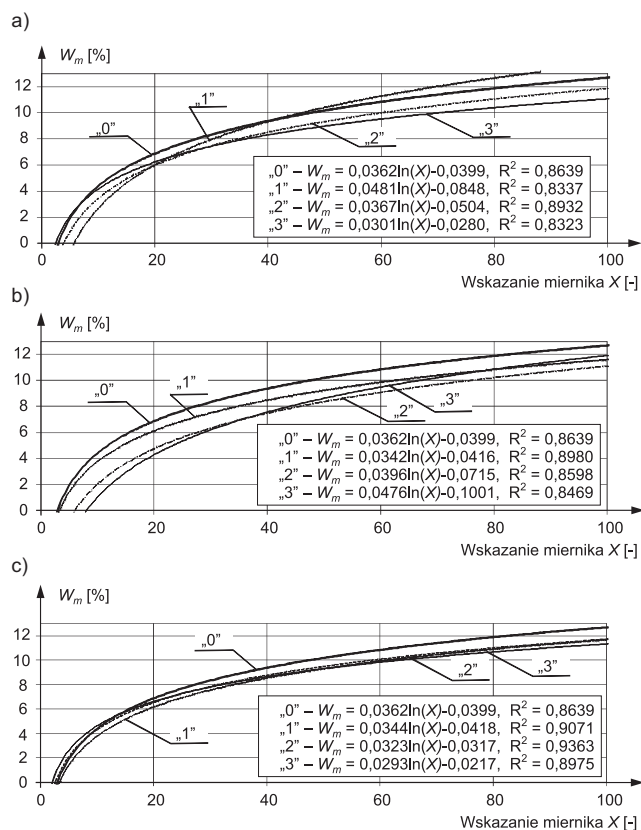
Wyniki badań i ich analiza

Na rysunku 1 przedstawiono uzyskane wyniki badań w postaci zależności korelacyjnych między wilgotnością masową W_m i wskazaniem X użytego w badaniach miernika opornościowego. Zależności te dotyczą cegieł ceramicznych przechowywanych w wodzie oraz w środowiskach azotanowym, chlorkowym i siarczanowym o różnej zawartości soli. Opisało je funkcjami matematycznymi logarymicznymi, przyporządkowując im na rysunku 1 cyfry od „0” do „3”, mianowicie: dla środowiska wodnego „0”, dla środowiska o niskim stężeniu jonów „1”, dla środowiska o średnim stężeniu jonów „2”, a dla środowiska o wysokim stężeniu jonów „3”.

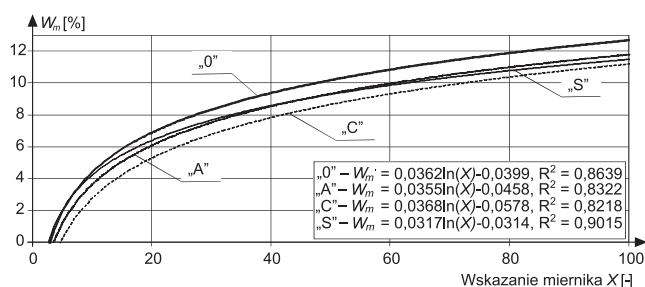
Z analizy rysunku 1 wynika, że zależności korelacyjne $W_m - X$ opisane cyframi od „1” do „3” mają podobny przebieg. Świadczy to o tym, że różne stężenie soli w cegle ceramicznej (małe, średnie, duże) wpływa w podobnym stopniu na wskazania X użytego w badaniach miernika opornościowego.

Podobne stwierdzenie wynika z badań przeprowadzonych z wykorzystaniem metody dielektrycznej [9].

W związku z tym opracowano i przedstawiono na rysunku 2 zbiorcze zależności korelacyjne z uwzględnieniem wszystkich wyników badań otrzymanych w przypadku poszczególnych rodzajów stężeń jonów (niskie, średnie, wysokie). Zależności te opisano literami: „A” dla środowiska azotanowego; „C” dla środowiska chlorkowego; „S” dla środowiska siarczanowego. Warto zauważyć, że podane na rysunkach 1 i 2 wartości współczynnika korelacji R^2 są wysokie i wynoszą 0,9071 – 0,8218. Świadczy to o bardzo dobrym lub dobrym dopasowaniu tych zależności do uzyskanych wyników badań.



Rys. 1. Zestawienie zależności korelacyjnych między wilgotnością masową W_m a wskazaniem X miernika opornościowego użytego w badaniach, w przypadku cegły ceramicznej pełnej zawilgoconej wodą (zależność „0”) i roztworem wodnym zawierającym stężenia masowe [%]: małe – zależność „1”, średnie – zależność „2”, duże – zależność „3” jonów: a) NO₃⁻; b) Cl⁻; c) SO₄²⁻



Rys. 2. Zestawienie zależności korelacyjnych między wilgotnością masową W_m a wskazaniem X miernika opornościowego użytego w badaniach, dla cegły ceramicznej pełnej zawilgoconej czystą wodą (zależność „0”) oraz roztworami wodnymi zawierającymi jony: NO_3^- – zależność „A”, Cl^- – zależność „C”, SO_4^{2-} – zależność „S”

Na podstawie przeprowadzonych badań można powiedzieć, że bez względu na rodzaj środowiska (azotanowe, chlorkowe, siarczanowe) i stężenie soli zawartej w cegle (małe, średnie, duże) obserwowany jest podobny wpływ zasolenia na wskazania X użytego w badaniach miernika opornościowego. Jak ten wpływ może przełożyć się na błąd oceny wilgotności masowej zasolonej cegły ceramicznej, pokazuje tabela 2.

Wnioski

Przeprowadzone badania wykazały, że sole zawarte w cegle ceramicznej mają wpływ na wskazania X miernika opornościowego użytego do oceny jej wilgotności masowej W_m . Bez względu na rodzaj i stężenie soli wpływ ten jest podobny, powodujący w konsekwencji zawyżenie wartości wilgotności w stosunku do rzeczywistej wilgotności ocenianej na podstawie ważenia badanych cegieł.

W wyniku przeprowadzonych badań opracowano zależności korelacyjne między wilgotnością masową W_m i wskazaniem X użytego w badaniach miernika opornościowego, w przypadku zasolonych w różnym stopniu cegieł ceramicznych przechowywanych w środowiskach azotanowym, chlorkowym i siarczanowym oraz w środowisku wodnym pozbawionym soli, jako porównawczym.

W celu właściwej oceny wilgotności masowej zasolonego muru ceglanego metodą opornościową, analogicznie jak w przypadku metody dielektrycznej [9], należy dokonać skalowania miernika opornościowego w danym obiekcie w celu określenia zależności korelacyjnej W_m - X lub dokonać hipotetycznego doboru zależności W_m - X spośród zależności

korelacyjnych określonych dla zasolonych murów ceglanych w innych obiektach o zbliżonym okresie eksploatacji i użytkowanych w podobnych warunkach środowiskowych.

Abstract

This paper presents the determination of the mass moisture content by the nondestructive resistivity method. Bricks which had been kept in respectively a sulphate, chloride and nitrate water medium with a different ion concentration and in a water medium as a reference were subjected to the tests. It has been shown that salinity has a significant influence on resistivity meter indications and that this influence is similar for different salt concentrations in brick whereby the estimated moisture content value is overrated relative to the actual value. The test results were generalized by deriving correlations between mass moisture content W_m and resistivity meter indication X , intended to be used in building practice.

Literatura

- [1] Adamowski J., Hoła J., Matkowski Z.: Probleme und Lösungen beim Feuchtigkeitsschutz des Mauerwerks von Baudenkmalern 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] Franzoni E., Sandrolini F., Bandini S.: An experimental fixture for continuous monitoring of electrical effects in moist masonry walls. Elsevier. Construction and Building Materials 25 (2011) 2023 – 2029.
- [5] Gentilini C., Franzoni E., Bandini S., Nobile L.: Effect of salt crystallization on the shear behaviour of masonry walls: An experimental study. Elsevier. Construction and Building Materials 37 (2012) 181 – 189.
- [6] Hoła J., Matkowski Z.: Wybrane problemy dotyczące zabezpieczeń przeciwwilgociowych ścian w istniejących obiektach murowanych. Mat. XXIV Konferencji Naukowo-Technicznej „Awary Budowlane”, Szczecin-Międzyzdroje, 2009, s. 73 – 92.
- [7] Karyś J., Zwierzyniecki K.: Specyfikacja pomiaru wilgotności przegród metodami elektrycznymi. Materiały Budowlane 10/2006 (nr 410), 60 – 61.
- [8] Koniarczyk M., Wojciechowski M.: Wpływ soli na stan wilgotnościowy zaprawy cementowej. Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce. Tom V, nr 1/2010, 35 – 40.
- [9] Pala A.: Badania wilgotności zasolonej cegły ceramicznej nieniszcząca metodą dielektryczną. Materiały Budowlane 06/2013, s. 60 – 62.
- [10] Rirsch E., Zhang Z.: Rising damp in masonry walls and the importance of mortar properties. Construction and Building Materials 24 (2010), 1815 – 1820.

FAKRO uczestnikiem 55. Kongresu UFEMAT

Pod koniec czerwca br. firma FAKRO uczestniczyła w 55. kongresie Europejskiego Związku Producentów i Dystrybutorów Materiałów Budowlanych UFEMAT, skupiającego przedstawicieli branży budowlanej z siedemnastu krajów europejskich. Obrady, które odbyły się w Wiedniu, zdominowały zagadnienia dotyczące rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady UE nr 305/2011 (CPR) z 9 marca 2011 r. ustanawiającego zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych. Podczas spotkania członkowie

UFEMAT nagrodzili Ryszarda Florka, Prezesa FAKRO prestiżowym wyróżnieniem UFEMAT AWARDS 2013. Nagroda jest uhonorowaniem pracy sądeckiego przedsiębiorcy na rzecz budowania pozycji Polski jako liczącego się w Europie producenta materiałów budowlanych. Otrzymał ją także Leonard Helbich-Poschacher, Prezes federacji Austrii VBO.

Uczestnicy kongresu zwiedzili firmę Sochor, jeden z największych składów budowlanych w Wiedniu, w którym sprzedawane są produkty FAKRO.