

dr inż. Zygmunt Matkowski*

Problemy związane z metodyką pomiarów wilgotności ścian murowanych w obiektach zabytkowych

Problems connected with methodology of dampness testing applied to brick walls in historical monuments

Streszczenie. Wiele budynków murowanych wzniesionych przed II wojną światową jest w złym stanie technicznym i wymaga remontu. Poważną destrukcyjną rolę w tych obiektach odgrywa woda oraz zawarte w murach sole. Umiejętność dokładnego określenia wilgotności murów, najczęściej ceglanych, jest niezbędna ze względu na ustalenie przyczyn nadmiernego zawilgocenia ścian, wybór metody wykonania izolacji wodochronnych, metody osuszenia budynku, a także kontroli skuteczności wykonanych zabezpieczeń przeciwwilgociowych i monitorowania szybkości wysychania ścian. Dlatego, szczególnie ważnym zagadnieniem jest umiejętność zbadania wilgotności murów ceglanych w takich obiektach. W artykule przedstawiono podział metod badania wilgotności materiałów budowlanych, metodykę przeprowadzania takich pomiarów oraz błędy najczęściej popełniane w trakcie prowadzenia badań.

Słowa kluczowe: obiekty zabytkowe, ściany murowane, badania, wilgotność.

Abstract. A lot of brick buildings erected before World War II are in bad technical condition and need repair. In these buildings a serious destructive role is played by water and salts that the brick walls contains. It is necessary to be able to estimate accurately moisture content in walls, most often brick walls, in order to work out the causes of the excessive wall dampness, to make the choice of a water insulation method, to decide on the drying solutions as well as to check the efficiency of the fixed damp-proofing and to monitor the speed of wall drying. Therefore, the ability to examine water content in brick walls in such structures is a particularly significant issue. The article presents a classification of methods of dampness testing applied to building materials, methodology of carrying out such testing and most common mistakes made while carrying out the tests.

Keywords: historical monuments, brick walls, testing, dampness.

Bardzo ważnym problemem, który należy zdefiniować przed przystąpieniem do remontu obiektów zabytkowych, jest zbadanie zawilgocenia murów piwnicznych, parteru, a często też wyższych kondygnacji w celu ustalenia ich wilgotności oraz przyczyn nadmiernego zawilgocenia.

Metody pomiaru wilgotności murów

Badania wilgotności murów przeprowadza się, stosując dwie podstawowe grupy metod: **niszczące i nieniszczące**. Do metod niszczących zaliczamy tradycyjną metodę suszarkowo-wagową, metodę z użyciem urządzenia zwanego wago-suszarką oraz metodę karbidową (CM), która należy do metod pośrednich. Metoda suszarkowo-wagowa uważana jest za najbardziej dokładną i wiarygodną, ale wymaga pobrania próbek z muru, co czasem jest niemożliwe w przypadku braku zgody konserwatora. Z tego względu bardzo często stosuje się metody nieniszczące. Zasada nieniszczącej oceny zawilgocenia materiałów budowlanych polega na pośrednim określeniu wilgotności przez pomiar innej cechy fizycznej bądź chemicznej wilgotnego materiału. Wielkość mierzonych cechy uzależniona jest od wilgotności materiału i może być wskaźnikiem ilości wody zawartej w danym ośrodku. W tabeli 1 przedstawiono podział metod pośrednich (nieniszczących) badania wilgotności materiałów budowlanych [1].

Podczas stosowania metody suszarkowo-wagowej nie należy pobierać próbek ze zwiercin uzyskiwanych podczas wykonywania otworów wiertarką udarowo-obrotową. W czasie wiercenia końcówka wiertła nagrzewa się i następuje proces odparowania wody. Spadek wilgotności masowej z tego powodu może dochodzić do 0,5 – 1,5% i uzależniony jest od zawartości wody w próbce, szybkości wiercenia i liczby obrotów wiertarki. Pobrane próbki zamyka się w szczelnych pojemnikach i dostarcza do laboratorium, gdzie określa się masę próbek w stanie zawilgoconym oraz po wysuszeniu w temperaturze 105 °C do stałej masy. Wilgotność masową U_m określa się ze wzoru:

$$U_m = \frac{m_w - m_s}{m_s} \times 100\%$$

gdzie:

m_w – masa próbki zawilgoconej [g];
 m_s – masa próbki suchej [g].

U_m jest podstawowym parametrem charakteryzującym zawilgocenie materiału. Używane jest także pojęcie wilgotności objętościowej definiowane jako:

$$U_o = \frac{V_{H_2O}}{V} \times 100\% = \frac{m_w - m_s}{V} \times 100\%$$

gdzie:

V_{H_2O} – objętość wody zawarta w badanej próbce;
 V – objętość próbki.

* Politechnika Wroclawska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

Tabela 1. Nieniszczące metody badania wilgotności materiałów budowlanych [1]

Rodzaj metody	Mierzony parametr
METODY CHEMICZNE	
Metoda odczynników chemicznych (metoda Fischera)	ilość odczynnika Fischera (jod, dwutlenek siarki, pirydyna, metanol) zużytego przy miareczkowaniu
Metoda papierków wskaźnikowych	zmiana zabarwienia papierka
Metoda karbidowa (CM)	ciśnienie C_2H_2 powstałego w reakcji CaC_2 z wodą zawartą w badanych materiałach
METODY FIZYCZNE	
Metody elektryczne	
Metoda elektrooporowa	opór elektryczny badanego ośrodka lub absorbenta wilgoci
Metoda dielektryczna	stała dielektryczna badanego ośrodka bądź absorbenta wilgoci
Metoda częstotliwościowej dyspersji przenikalności dielektrycznej	zmiana przenikalności dielektrycznej przy różnych częstotliwościach prądu
Metoda mikrofalowa	tłumienie fali mikrofalowej
Metoda komputerowej tomografii impedancyjnej	impedancja elektryczna mierzona między poszczególnymi elektrodami (rozkład przestrzenny impedancji)
Metody optyczne	
Metoda wideografii	analiza obrazów wykonanych w świetle widzialnym, w bliskiej podczerwieni, bliskim ultrafiolecie, luminescencji wzbudzonej
Metody oparte na pomiarach wielkości cieplnych	
Metoda λ – sondy	zmiana przewodności cieplnej materiału pod wpływem zmiany zawilgocenia
Metoda termowizyjna	zmiana temperatury na powierzchni elementu pod wpływem zmiany zawilgocenia
Metody jądrowe	
Metoda prześwietlania promieniowaniem γ	zmiana natężenia promieniowania γ
Metoda neutronowa	liczba spowolnionych neutronów po przejściu przez badany materiał
Metoda jądrowego rezonansu magnetycznego	szerokość lub amplituda krzywej pochłaniania energii zmiennego pola elektromagnetycznego przez jądra wodoru

Bardzo przydatnym urządzeniem do określania zawilgocenia murów jest wago-suszarka. Urządzenie to łączy w sobie funkcję wagi i suszarki. Korzystając z wago-suszarki, którą możemy zastosować w obiekcie, możemy uzyskać wynik badania po kilku minutach, ale musimy pamiętać, że z reguły uzyskujemy zaniżone wyniki w porównaniu z otrzymanymi tradycyjną metodą suszarkowo-wagową. Przyczyną tego jest „niedosuszenie” próbki w wago-suszarce. Na podstawie badań własnych stwierdzono, że próbka wysuszona w wago-suszarce, a później jeszcze raz w suszarce zmniejszyła swoją masę (tabela 2). W metodzie karbidowej (CM) mierzy się ciśnienie acetyleny C_2H_2 powstałego w reakcji karbidu CaC_2 z wodą. W praktyce nie cała ilość wody reaguje z karbidem, w związku z tym ciśnienie acetyleny jest niskie, co przekłada się na zaniżony odczyt wilgotności. Różnica w określaniu wilgotności masowej tradycyjną metodą suszarkowo-wagową a metodą karbidową wynosi 0,7 – 2,1% (tabela 3).

Zawilgocenie murów można też określić przez pomiar:

- wilgotności względnej powietrza w głębi wywierconego otworu i ustalenie tzw. wilgotności relatywnej na podstawie krzywej sorpcji danego materiału;

- termowizyjny wilgotności bazujący na pomiarze temperatury na powierzchni przegrody (metoda wyłącznie jakościowa); w miejscach, w których powierzchnia jest zawilgocona, temperatura powierzchni różni się w porównaniu z miejscami niezawilgoconymi.

W praktyce stosowane są następujące metody pośrednie: CM, elektrooporowa i dielektryczna. Rzadziej stosuje się do badań in situ metodę mikrofalową, termowizyjną i neutronową. Metody nieniszczące mają charakter pośredni [3, 4, 5], tzn. mierzona jest wielkość, którą można łatwo określić, a nie wielkość bezpośrednio nas interesująca, np. chcemy określić wilgotność masową (U_m) materiału, a bezpośrednio mierzymy jego opór elektryczny (R).

Na rynku polskim występuje wiele mierników, które wskazują bezpośrednią wilgotność masową materiału. Wyników badań takimi miernikami nie można przyjmować bezkrytycznie, gdyż z ich wskazania, oprócz ilości wody zawartej w materiale, ma wpływ wiele czynników, takich jak:

- skład chemiczny cegły i zaprawy;
- rodzaj i ilość występujących w murze soli (tabela 4);
- porowatość i struktura porowatości;
- gęstość materiału;
- temperatura pomiaru;
- dokładność styku elektrod pomiarowych z powierzchnią materiału.

Z tabeli 4 wynika, że zasolenie muru ma ogromny wpływ na wyniki pomiarów dielektrycznych. Błąd pomiaru wynosi

Tabela 2. Porównanie wyników badań wilgotności masowej tradycyjną metodą suszarkowo-wagową i za pomocą wago-suszarki

Miejsce badania	Wilgotność masowa określona tradycyjną metodą suszarkowo-wagową [%]	Wilgotność masowa określona za pomocą wago-suszarki [%]	Różnica wyników [%]	Błąd względny pomiaru [%]	
Murwana ściana wewnętrzna na głębokości od powierzchni ściany:	0 – 2 cm	6,5	5,8	0,7	10,8
	2 – 5 cm	4,3	3,1	1,2	27,9
	27 – 30 cm	12,8	9,1	3,7	28,9
Murwana ściana zewnętrzna na głębokości od powierzchni ściany:	0 – 2 cm	3,5	2,5	1,0	28,6
	5 – 10 cm	10,5	9,4	1,1	10,4
	20 – 30 cm	29,2	26,8	3,4	11,6

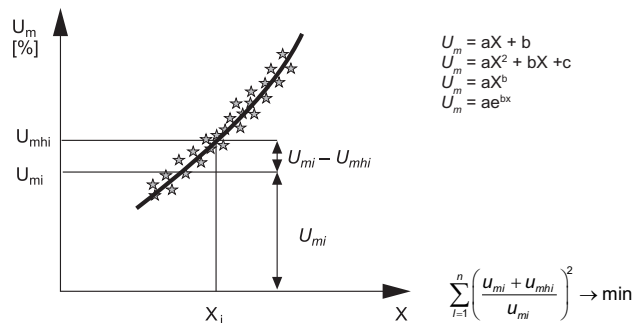
Tabela 3. Porównanie wyników badań wilgotności otrzymanych metodą suszarkowo-wagową

Rodzaj materiału	Metoda pomiaru	Wilgotność masowa U_m [%]
Cegła ceramiczna	suszarkowo-wagowa karbidowa (CM)	0,9; 1,5; 2,1; 2,8; 3,0 0,2; 0,7; 1,5; 1,9; 2,2
Zaprawa cementowa	suszarkowo-wagowa karbidowa (CM)	1,8; 2,7; 3,5; 4,6; 7,8 0,6; 1,5; 2,3; 2,1; 5,6

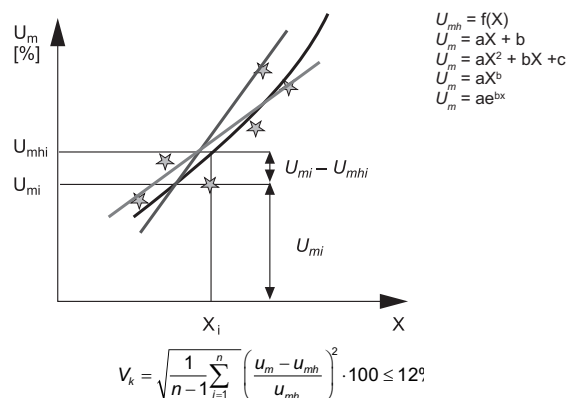
Tabela 4. Porównanie wyników badań wilgotności masowej określonej metodą suszarkowo-wagową i dielektryczną muru z występującymi w nim solami

Metoda pomiaru	Wilgotność masowa określona metodą suszarkowo-wagową U_m [%]	Stężenie soli [%]			Wilgotność masowa określona metodami nieniszczącymi dla krzywej skalowania jak dla czystej wody U_m [%]
		Cl ⁻	SO ₃ ²⁻	NH ₄ ⁺	
Dielektryczna	5,3	0,1	0,1	0,03	6,1 – 6,3
Dielektryczna	5,3	0,3	0,3	0,05	7,4 – 8,4
Dielektryczna	5,3	0,3	0,5	0,01	13,2 – 14,4

0,8 – 9,1%. Aby zwiększyć dokładność pomiaru wilgotności masowej (U_m) metodami nieniszczącymi, należy wcześniej wyznaczyć zależność korelacyjną $U_m = f(R)$ zgodnie z zasadami statystyki matematycznej. W tym celu trzeba określić wilgotność co najmniej 30 próbek tradycyjną metodą suszarkowo-wagową i wskazanie miernika, a następnie metodą „najmniejszych kwadratów” wyznaczyć zależność korelacyjną między (U_m) a (X) (rysunek 1). Można też dobrać zależność korelacyjną z grupy tzw. hipotetycznych krzywych skalowania (rysunek 2). W tym celu w badanym murze należy określić wskazania miernika w kilku miejscach (np. sześciu) i pobrać w tych miejscach próbki, których wilgotność masowa zostanie określona w warunkach laboratoryjnych metodą suszarkowo-wagową. Następnie stawiamy hipotezę, że krzywa o równaniu $U_{mh} = f(X)$ jest prawidłowa i za jej pomocą można określać wilgotność materiału. Następnie weryfikujemy tę hipotezę, obliczając współczynnik v_k ze wzoru podanego na rysunku 2. Jeśli ten współczynnik jest mniejszy od 12%, można założyć krzywą przyjmując do przeliczenia wskazania miernika na wilgotność masową. Nie ma więc jednej, uniwersalnej zależności korelacyjnej między wskazaniem miernika a wilgotnością masową muru. Z tego powodu do wyników otrzymanych miernikami, które bezpośrednio wskazują wartość wilgotności, należy odnosić się bardzo ostrożnie. Dodatkowo należy upewnić się, jaką wilgotność wskazuje miernik: masową, objętościową czy tzw. relatywną. Często się bowiem zdarza, że różne firmy stosują różne mierniki określające różną wilgotność. Porównywanie wyników badań w takich przypadkach jest niemożliwe.



Rys. 1. Sposób wyznaczenia zależności korelacyjnej między wilgotnością masową (U_m) a wskazaniem miernika (X)



Rys. 2. Sposób doboru zależności korelacyjnej między wilgotnością masową (U_m) a wskazaniem miernika (X) z grupy tzw. hipotetycznych krzywych skalowania

Podsumowanie

Z moich doświadczeń wynika, że **najbardziej wiarygodne wyniki daje tradycyjna metoda suszarkowo-wagowa**. W metodzie tej szczególną wagę należy przykładać do sposobu pobrania próbek. Powinny one być pobierane ręcznie, za pomocą „domików” rurowych wkładanych we wcześniej wykonany odwiert lub za pomocą wiertła koronkowego.

Określanie zawilgocenia materiałów za pomocą urządzenia zwanego wago-suszarką jest mniej dokładne niż w metodzie suszarkowo-wagowej. Przewaga wago-suszarki polega na tym, że nie musimy próbek dostarczać do laboratorium, gdyż proces suszenia następuje w samym urządzeniu. Proces ten trwa kilka lub kilkanaście minut i po tym czasie otrzymujemy ostateczny wynik pomiaru. Wykonując pomiary tym urządzeniem, należy pamiętać o nastawieniu odpowiedniej temperatury suszenia (ok. 105 °C) i o sprecyzowaniu, czy wilgotność ma być odniesiona do masy materiału wysuszonego czy zawilgoconego. Niektóre urządzenia zaprogramowane są tylko na określanie wilgotności w stosunku do masy próbki zawilgoconej i przestawienie ich wymaga przeprogramowania przez producenta.

W krajach zachodnich stosowana powszechnie jest metoda karbidowa, znana też pod nazwą metody CM. Polega ona na pobraniu próbki badanego materiału, umieszczeniu jej w hermetycznym pojemniku zaopatrzonego w manometr wraz z fiolką zawierającą ściśle określoną ilość węgla wapnia (karbidu). Po szczelnym zamknięciu, pojemnik należy silnie potrząsnąć. Następuje zbitcie fiolki i woda zawarta w badanym materiale reaguje z karbidem. W wyniku tej reakcji powstaje acetylen, który wytwarza odpowiednie ciśnienie w pojemniku. Im większa zawartość wody w próbce, tym ciśnienie wewnątrz pojemnika jest większe. Odczytując na manometrze wartość tego ciśnienia, możemy określić z odpowiednich tablic wilgotność materiału. Metoda ta jest w miarę dokładna, ale droga w zastosowaniu ze względu na duży koszt fiolek z karbidem.

Stosując mierniki elektryczne (elektrooporowe, dielektryczne), należy pamiętać, że ich dokładność jest mniejsza od dokładności metod wymienionych wcześniej, a wyniki pomiaru uzależnione są też od innych cech badanego materiału (np. rodzaju i stężenia soli). Wyniki uzyskane za pomocą mierników elektrycznych należy więc traktować jako jakościowe, a nie ilościowe. Można zwiększyć dokładność pomiarów tych urządzeń, posługując się wyznaczonymi wcześniej krzywymi skalowania. Dobra się wówczas odpowiednią krzywą skalowania danego miernika i materiału z grupy tzw. hipotetycznych krzywych skalowania.

Literatura

- [1] Hoła J., Matkowski Z., Schabowicz K., Tomografia impedancyjna w badaniach zawilgoconych murów ceglanych, Czasopismo Techniczne, Budownictwo, z. 1-B/2007, zeszyt 4, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej.
- [2] Hoła J., Matkowski Z., Awarie budowlane: zapobieganie, diagnostyka, naprawy, rekonstrukcje: XXIV Konferencja naukowo-techniczna, Szczecin-Międzyzdroje, 2009, Wydawnictwo Uczelniane Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego, 2009, 73.
- [3] Hoła J., Sikora J., i inni, New Tomographic method of brickwork damp identification, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2010.
- [4] Hoła J., Matkowski Z., Awarie budowlane: zapobieganie, diagnostyka, naprawy, rekonstrukcje: XXIV Konferencja naukowo-techniczna, Szczecin-Międzyzdroje, 2009, Wydawnictwo Uczelniane Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego, 2009, 73.
- [5] Adamowski J., Matkowski Z., Ocena skuteczności osuszania ścian murowanych, „Materiały Budowlane”, nr 4/1999.
- [6] Matkowski Z., Problems involved in nondestructive investigations of brick walls (in Polish), Proc. of 31st Domestic Conference on Nondestructive Tests, 31 KKBN, Szczyrk, 22-24 X 2002, Zeszyty Problemowe Badania Nieniszczące, no. 7, pp. 131-134.