

dr inż. Krzysztof Kamiński*

Wilgotność higroskopijna podstawą diagnostyki stanu zawilgocenia przegrody budowlanej

Hygroscopic moisture – a basic element of wet wall diagnosis

Streszczenie. W ramach szerokiego programu badawczego wykonano próby bilansu wilgoci w przegrodzie na podstawie dotychczasowej wiedzy. Przeprowadzenie bilansu okazało się niemożliwe, gdyż wilgotność higroskopijna wielokrotnie przekraczała wilgotność masową. Opracowano nową definicję wilgotności higroskopijnej oraz metodykę badań materiału pobieranego ze ściany. Bardzo istotne znaczenie ma sposób suszenia próbek i stopień zachowania oryginalnej struktury materiału. Rozkład wilgotności niehigroskopijnej charakteryzujący się stosunkowo małą zmiennością umożliwia prawidłową diagnozę źródeł zawilgocenia przegrody przy pobraniu zaledwie kilku do kilkunastu próbek w pionie. Ustalenie warunków cieplno-wilgotnościowych do badań wilgoci higroskopijnej wymaga rejestracji parametrów klimatycznych przed pobraniem próbek.

Słowa kluczowe: podciąganie kapilarne, higroskopijność, bilans wilgoci, zawilgocenie ścian, transport soli.

Abstract. An extensive research program followed in order to find out whether pore fluid that accumulates in masonry as a result of hygroscopic sorption shows a tendency of rising. Observations of changes of mass moisture, the amount of soluble salts were carried out in conditions “in-situ” during three 12-month periods. The paper is an outline of a new methodology of rising dampness diagnosis. It also describes most common mistakes while collecting and drying masonry samples. The paper presents new definition of hygroscopic moisture as an element of wet wall moisture balance. Precisely settled value of authoritative hygroscopic moisture allows to achieve a correct remnant wall moisture profile, which may become a new valuable tool to help diagnose wet walls.

Keywords: capillary rise, hygroscopic moisture, sorptivity, salt migration.

Aby zrozumieć istotę problemu zawilgocenia materiałów budowlanych w przegrodach, należy dokładnie sprecyzować pojęcie *wilgotności*, ponieważ wciąż powstaje sporo nieporozumień związanych z jego interpretacją. Przez *wilgotność materiału* rozumie się zawartą w nim wodę związaną fizykochemicznie oraz fizykochemicznie. Woda związana chemicznie znajduje się w strukturze materiału i nie może być uwzględniana przy określaniu jego wilgotności. Oddzielić ją można jedynie podczas prażenia w wysokiej temperaturze do stałej masy. Z kolei woda związana fizykochemicznie (sorpcyjna, błonkowa) związana jest z przyciąganiem międzycząsteczkowym – siłami Van der Waalsa [1, 3]. *Wilgotność masową* w_m (lub U_m) [%] definiuje się [1, 4] jako stosunek masy wody (związanej fizycznie lub niezwiązanej) znajdującej się w materiale do masy suchego materiału i wyraża wzorem (1):

$$w_m = \frac{m_w - m_s}{m_s} \times 100\% = \frac{m_{wody}}{m_s} \times 100\% \quad (1)$$

gdzie:

w_m – wilgotność masowa [%];

m_w – masa próbki wilgotnej [kg, g];

m_s – masa próbki po wysuszeniu w temperaturze 105 °C do stałej masy [kg, g];

m_{wody} – masa wody w próbce [kg, g].

O ile definicja wilgotności masowej nie budzi większych wątpliwości, to definicja *wilgotności higroskopijnej* interpretowana jest różnie. Frossel [4] i Wójcik [1] określają ją jako stosunek masy wody wchłoniętej przez próbkę przechowywaną „w określonej wilgotności powietrza” do masy suchej próbki. Na podstawie wieloletnich doświadczeń proponuję przyjęcie definicji wilgotności higroskopijnej jako elementu bilan-

su zawilgocenia przegrody. *Wilgotność higroskopijna* w_H [%] to stosunek masy wody wchłoniętej z powietrza atmosferycznego do masy suchego materiału, co oznaczamy wzorem (2):

$$w_H = \frac{m_h - m_s}{m_s} \times 100\% \quad (2)$$

gdzie:

m_h – masa próbki zawilgoconej przechowywanej w określonym czasie w komorze klimatycznej w określonej temperaturze i wilgotności względnej RH [g];

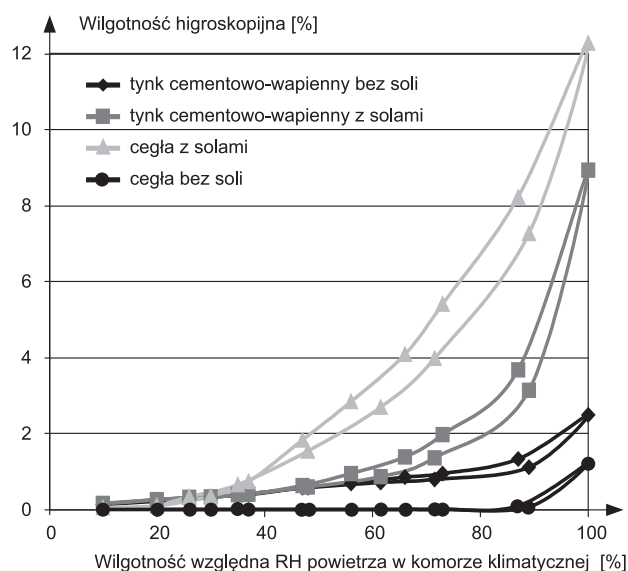
m_s – masa próbki po wysuszeniu w eksykatorze do stałej masy [g].

Tak zdefiniowana wilgotność masowa i higroskopijna jest podstawą do wykonania prawidłowego bilansu wilgotnościowego przegrody budowlanej. Istotą bilansu jest wskazanie, w jakim stopniu zawilgocenie ściany jest spowodowane podciąganiem kapilarnym mającym źródło zawilgocenia w postaci wody gruntowej, przecieków instalacyjnych lub uszkodzeń dachu, a w jakim wilgoć w ścianie nie ma skoncentrowanego źródła i pochodzi z otaczającego powietrza atmosferycznego. Jeśli wilgotność higroskopijna stanowi przeważającą większość wilgotności masowej określonej wzorem (1), to podejmowanie decyzji o konieczności wykonania kosztownych izolacji poziomych w obiekcie może być chyborne, gdyż naraża inwestora na duże wydatki, a po „naprawie” ściana dalej pozostanie mokra. Panuje dość rozpowszechniony pogląd, że wilgotność higroskopijna ma nie tylko charakter marginalny, ale jest chwilowym, przejściowym stanem związanym z podwyższeniem wilgotności względnej powietrza atmosferycznego.

Zdolność do pobierania i oddawania wilgoci dobrze opisują tzw. *izotermy sorpcji* przedstawiające ilość wody równowagowej znajdującej się w materiale w zależności od wilgotności i temperatury otaczającego powietrza. W określonych warunkach cieplno-wilgotnościowych ustala się pewien stan rów-

* Politechnika Warszawska, Wydział Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii

nowagi i ta ilość masowa [%] zwana jest wilgotnością higroskopijną. Typowy przebieg izoterm sorpcji tynku cementowo-wapiennego i cegły ceramicznej uzyskanych w badaniach własnych przedstawiono na rysunku 1. Próbkę tynku i cegły w postaci granulatu o uziarnieniu 2 – 6 mm pobrano ze ściany wschodniej 120-letniego budynku mieszkalnego. W celu porównania właściwości higroskopijnych muru pobrano ok. 10 g granulatu tynku i cegły z głębokości 0 – 5 cm na poziomie występowania wysoleń (tj. 2,27 m nad poziomem terenu) oraz ze strefy, w której nie występują sole i podwyższona wilgotność, tj. 3,8 m n.p.t.



Rys. 1. Izotermy sorpcji granulatu tynku cementowo-wapiennego 1820 kg/m³ i cegły ceramicznej 1720 kg/m³, uzyskane w temperaturze 20 °C (badania własne)

Cegła ceramiczna niezawierająca soli nie wykazuje praktycznie żadnych właściwości higroskopijnych do RH85% [3, 5]. Powyżej tej wartości następuje przyrost wilgotności (do 1,6 – 1,7% przy RH100%). Wilgotność tynku cementowo-wapiennego nieskażonego solami nieznacznie wzrasta wraz z podwyższeniem RH powietrza w komorze. W przypadku wilgotności względnej 85% wilgotność higroskopijna osiąga 1,6%, a dalszy jej wzrost prowadzi do zawilgocenia tynku na poziomie 2,2 – 2,4%. Zupełnie inaczej zachowują się próbki skażone solami rozpuszczalnymi. Powyżej wilgotności RH50% wilgotność w_h tynku rośnie dwukrotnie szybciej niż tego samego materiału niezawierającego soli, a od RH85% ok. 4-krotnie szybciej, osiągając 100% nasycenia przy

Wilgotność higroskopijna materiałów budowlanych [%] wg instrukcji WTA nr 4-11-02D [2]

Rodzaj materiału	Wilgotność higroskopijna [%] w odniesieniu do wilgotności względnej powietrza
Cegła historyczna	< 2 – 3% (przy 75% wilgotności względnej powietrza)
Cegła pełna ($\rho = 1900 \text{ kg/m}^3$)	< 1% (przy 80% wilgotności względnej powietrza)
Tynk lub zaprawa wapienna	< 0,5% (przy 75% wilgotności względnej powietrza)
Tynk cementowo-wapienny	< 1,5% (przy 75% wilgotności względnej powietrza)
Cegła wapienno-piaskowa	< 1,5% (przy 80% wilgotności względnej powietrza)

RH100%. Jeszcze większe różnice występują w przypadku cegły zawierającej sole. Silne właściwości higroskopijne są obserwowane już od RH35%. Przy RH100% wilgotność higroskopijna cegły osiąga 12,1%, tj. ok. 73% nasycenia. W tabeli przedstawiono przykładową wilgotność higroskopijną materiałów budowlanych wg instrukcji WTA nr 4-11-02/D [2]. Są one zgodne z wynikami badań własnych.

Badania własne wilgotności higroskopijnej materiału pobranego ze ściany

W celu przeanalizowania wpływu zjawiska higroskopijnego wchłaniania wody na proces postępującego zawilgocenia oraz rozwój zagrożenia korozyjnego wybrano do analizy, spośród 40 budynków objętych programem badawczym, wyniki badań wschodniej ściany szczytowej ponad 120-letniego zabytkowego budynku mieszkalnego (obiekt KW-26) oraz ściany zachodniej 154-letniego budynku (obiekt KW-6). Należy zaznaczyć, że istnieją rozbieżności dotyczące sposobu pobierania materiału ze ściany. Najczęściej jest on w postaci zwierzyny otrzymywanej przy użyciu wolnoobrotowej wiertarki udarowej. Dokładny opis metody zamieszczono m.in. w normie austriackiej [7], która zaleca stosowanie wiertarki o liczbie obrotów do 300 na minutę i wiertła widiowego średnicy 20 mm. Próbkę zwierzyny należy pobierać na głębokości 10 cm w pionach badawczych w odległości 5 – 10 m (odległość między otworami w pionie wynosi 30 cm). Podobny sposób pobierania próbek sformułowano w zaleceniach brytyjskich. Sceptyczne stanowisko do tego sposobu pobierania próbek przedstawia Instytut WTA w instrukcji Merkblatt 4-11-02/D [2]. Stwierdzono, że w przypadku stosowania wiertła średnicy 20 mm pomiar wilgotności należy traktować jako szacunkowy. WTA zaleca wycinanie próbek ze ściany tarczami bądź przecinakiem, ale w ten sposób można pobrać na ogół tylko materiały powierzchniowe. Część badaczy pobiera próbki ze ścian w postaci odwiertów wiertłem rurowym. W związku z tym, że nie jest możliwe zastosowanie wody do chłodzenia korony wiertła, następuje jego silne nagrzewanie. W celu zminimalizowania wpływu nagrzewania materiału na jego wilgotność konieczne staje się pobieranie odwiertów o średnicy 60 – 100 mm, co prowadzi do znacznej destrukcji ścian.

W badaniach własnych próbki tynku zewnętrznego w postaci granulatu 2 – 6 mm o masie 25 g oraz próbki zwierziny o masie 45 – 50 g pobrano za pomocą dornika rurowego i młotka. W celu ustalenia poziomu zasolenia oraz wiarygodności badań właściwości higroskopijnych wykonywanych na próbkach pobrano je również z głębokości 0 – 5 cm. Przez siedem dni przed pobraniem próbek ze ściany rejestrowano warunki ciepło-wilgotnościowe powietrza atmosferycznego w pobliżu przedmiotowej ściany za pomocą rejestratorów EL-USB-2. Średnia wilgotność względna powietrza RH przy średniej temperaturze 16 °C wynosiła ok. 88%. Na rysunku 2 przedstawiono wyniki badań wilgotności higroskopijnej tynku na wysokości ściany uzyskane w przypadku granulatu 2 – 6 mm o zachowanej strukturze oraz zwierziny. Próbkę zwierziny podzielono na dwie części, z których jedna była suszona do stałej masy w ekssykatorze w temperaturze 20 – 23 °C, a druga w suszarce w temperaturze 105 °C. Zawilgocenie higroskopijne uzyskano w komorze klimatycznej przy RH88% i temperaturze 16 °C. Wyniki wskazują jednoznacznie, że **proces suszenia w suszarce ma zasadniczy wpływ na zdolności higroskopijne tynku: większość próbek suszona w ekssykato-**