

Wilgoć w obiektach budowlanych. Problematyka badań wilgotnościowych

Maciej Trochonowicz

Politechnika Lubelska, Wydział Budownictwa i Architektury, Katedra Konserwacji Zabytków,
ul. Nadbystrzycka 40, 20-618 Lublin, m.trochonowicz@pollub.pl

Streszczenie: Wilgotność należy do podstawowych cech fizycznych materiału, a detekcja wody jest jednym z najczęściej wykonywanych badań. Artykuł niniejszy ma na celu przedstawienie problematyki związanej z pomiarami wilgotnościowymi materiałów i przegród budowlanych.

Słowa kluczowe: wilgoć, badania wilgotnościowe, analiza zawilgocenia.

1. Wprowadzenie

Woda jest substancją warunkującą możliwość wykonania praktycznie wszystkich procesów budowlanych. Niezbędna jest zarówno do produkcji materiałów oraz ich wbudowania. Jednocześnie ta sama woda, a raczej jej nadmiar, jest czynnikiem powodującym największe zagrożenie dla obiektów budowlanych. Wprowadzana na wiele sposobów z czasem staje się przyczyną wielu niekorzystnych zjawisk, a jej usunięcie poważnym problemem.

Wilgotność należy do podstawowych cech fizycznych materiału, a detekcja wody jest jednym z najczęściej wykonywanych badań. Artykuł niniejszy ma na celu przedstawienie problematyki związanej z pomiarami wilgotnościowymi materiałów i przegród budowlanych.

2. Wilgotność materiałów

Wilgotnością materiału zwykło się określać względną zawartość wody w materiale. Może ona być wynikiem stanu naturalnego lub też czynników zewnętrznych. Pisząc o wilgotności mamy na myśli wodę związaną chemicznie, fizyko-chemicznie i fizyko-mechanicznie.

Woda związana chemicznie znajduje się w strukturze niektórych materiałów w ścisłych stosunkach ilościowych. Jest ona silnie związana z ciałem stałym i oddzielić ją można tylko przez prażenie w odpowiednio wysokiej temperaturze, zależnej od składu chemicznego materiału, lub na drodze reakcji chemicznych.

Woda związana fizyko-chemicznie w materiałach budowlanych występuje na rozwiniętej powierzchni porów i kapilar materiału. Zjawisko to związane jest z istnieniem tzw. sił *van der Waalsa* oddziaływujących na cząstki gazu w pobliżu powierzchni ciała stałego. Woda związana fizyko-chemicznie nazywana jest inaczej sorpcyjną.

Całkowite zapełnienie makrokapilar może nastąpić jedynie w drodze bezpośredniego styku materiału z wodą, przy czym woda w materiale związana będzie siłami kapilarnymi (woda związana fizyko-mechanicznie) [1].

W budownictwie najczęściej używa się pojęcia tzw. wilgotności masowej. Wartość ta wyrażana jest stosunkiem procentowym masy wody zawartej w badanym materiale do jego masy w stanie suchym.

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

gdzie: w_m – wilgotność masowa [%], m_w – masa próbki wilgotnej [kg, g], m_s – masa próbki o wysuszenia do masy stałej [kg, g], m_{wody} – masa wody znajdującą się w próbce [kg, g]

Dodatkowo oznaczana jest również wilgotność objętościowa w postaci procentowego stosunku objętości wody w badanym materiale do objętości materiału.

$$w_o = \frac{\frac{m_w - m_s}{r_w}}{r_o} * 100\% \quad (2)$$

gdzie w_o – wilgotność objętościowa [%], m_w – masa próbki wilgotnej [kg, g], m_s – masa próbki o wysuszenia do masy stałej [kg, g], ρ_o – gęstość objętościowa danego materiału [g/cm³], ρ_w – gęstość wody [kg/dm³, g/cm³].

Wilgotność masowa w sposób jednoznaczny nie wskazuje, jaka jest ilość wody w badanym materiale z tego też powodu przelicza się ją dość często na objętościową. Uzyskanie takich samych wartości wilgotności masowej dla dwóch różniących się gęstością nie oznacza tej samej ilości wody w obydwu próbkach. Przykładowo 10% wilgotność masowa oznaczona dla gazobetonu i cegły ceramicznej daje odpowiednio około 60 dm³ i 180 dm³ na m³ materiału. Olbrzymia różnica wynika z gęstości obydwu materiałów. Przejście z wilgotności masowej na objętościową jest proste i wymaga jedynie znajomości wspomnianej gęstości badanego materiału.

W przypadku badań wilgotnościowych w określonych sytuacjach samo wyznaczenie wilgotności masowej może okazać się niewystarczającym. Pełne zrozumienie procesów odpowiadających za występowanie zawilgoceń oraz zachowania badanych materiałów wobec wody jest możliwe po wykonaniu dodatkowych badań: nasiąkliwości, przesiąkliwości, kapilarności, higroskopijności, sorpcyjności i dyfuzyjności pary wodnej.

2.1. Źródła wilgoci

Usuwanie zawilgożenia jest oczywiście związane z charakterem jego powstania. Stąd też niezwykle istotnym określenie źródła występującej w obiekcie przewilgoceń. Do najważniejszych źródeł wilgoci występującej w budynkach możemy zaliczyć wodę:

- **Znajdującą się w gruncie.** Ściany fundamentów i piwnic oraz posadzek leżących bezpośrednio na ziemi są zagrożone wilgocią gruntową, a także wodami gruntowymi, jeśli występują one na małej głębokości. Zawilgożenie zagraża nie tylko

podziemnym częściom budynku. Może ono zostać przeniesione na wyższe, leżące ponad ziemią części budynku na skutek zjawiska podciągania kapilarnego. Podciąganie kapilarne polega na transportowaniu wody i powolnym nasiąkaniu obszarów materiału niemających bezpośredniego kontaktu ze źródłem wilgoci. Podciąganie kapilarne z fundamentów i piwnic może być powodem zawilgocenia ścian do wysokości kilku metrów. Wysokość podciągania kapilarnego zależy od budowy materiału przede wszystkim od jego porowatości i struktury porów i kapilar. Wspomniana wysokość jest odwrotnie proporcjonalna do średnicy naczyń. Oznacza to, że w materiałach drobno porowatych o niewielkiej średnicy porów i kapilar podciąganie jest najwyższe. Dla grubych murów wzniesionych z cegły ceramicznej może sięgać nawet kilku metrów powyżej poziomu zasilania. Wody znajdujące się w gruncie, które działają na podziemne części budynków występują w postaci wody:

- błonkowej – stanowi ona otoczkę poszczególnych ziaren gruntu.
- kapilarnej – wypełnia pory między ziarnami gruntu w wyniku działania napięcia powierzchniowego. Całkowite wypełnienie porów występuje w pobliżu poziomu wody gruntowej, wilgotność wynosi gruntu wynosi tam 100 %.

• Pochodzącą z opadów atmosferycznych. W całkowitym bilansie wody znajdującej się w najbliższym otoczeniu obiektu największą ilość stanowią wody opadowe. Mogą one doprowadzać do zawilgocenia obiektu w sposób bezpośredni i pośredni. Z bezpośrednim zawilgoceniem mamy do czynienia, gdy woda opadowa trafi na odłonięte elementy (np.: pokrycie dachowe, ściany, opaski, schody). W związku z tym, że z reguły elementy te są wykonane z materiałów trudno lub nienasiąkliwych opady nie wyrządzają większych szkód. Większym zagrożeniem dla budynków jest woda opadowa dostająca się do wnętrza w sposób pośredni. Do zawilgocenia może dochodzić na skutek nieszczelności pokrycia dachowego, niedrożności lub niewydolności systemu odwodnienia obiektu, braku lub nieszczelności izolacji wodochronnych.

Przykładowo w pasie przyziemia większe zagrożenie, niż bezpośrednie opady, ma tzw. woda rozbryzgowa. Krople deszczu po odbiciu od opasek często zawilgają niezabezpieczony pas przyziemia.

• Technologicznie wprowadzaną do obiektu. Zawilgocenia powstają w wyniku naturalnej wilgoci wbudowywanych materiałów podczas ich transportu, składowania oraz prowadzenia robót mokrych. Źródło to ma szczególne znaczenie w przypadku budynków wznoszonych w technologii tradycyjnej. Tradycyjne metody budowania wiążą się z wprowadzeniem do budynku setek litrów wody. Woda jest, bowiem głównym rozpuszczalnikiem większości materiałów budowlanych, zapraw, mas, tynków, klejów. W trakcie eksploatacji budynku przegrody te powinny stopniowo wysychać, a długość okresu wysychania zależy od rodzaju użytego materiału, konstrukcji obiektu i grubości przegrody oraz od temperatury i wilgotności względnej powietrza.

Problemy z wilgocią technologiczną, nasilił się szczególnie w ostatnich latach, a jest to uwarunkowane zmianami jakie zaszły w budownictwie. Wyraźnie skrócony został czas wznoszenia obiektu. Dawniej wznoszenie rzadko trwało krócej, niż kilkanaście miesięcy, obecnie okres ten trwa zaledwie kilku miesięcy. W związku z tym, że naturalne wysychanie przegród to minimum 18 miesięcy, obiekt oddawany jest jako wilgotny. Kolejnym problemem jest stosowanie materiałów utrudniających naturalne odsychanie przegród. Masowo obecnie stosowane kleje, tynki

i malatury charakteryzują się wysokimi wartościami oporów dyfuzyjnych co wyraźnie spowalnia procesy odparowania wody. Na obecny, niekorzystny stan wpływ ma również zmiana kolejności prac wykonywanych na obiekcie. Tuż po zamknięciu stanu surowego, budynek jest ocieplany i malowany od zewnątrz, a prace wykończeniowe wewnątrz prowadzone są często w sezonie zimowym. W szczelnie zamkniętej skorupie ocieplenia i tynków obiekt wprowadza się wtedy największe ilości wody (tynki, posadzki, malatury).

- Kondensacyjną. Związana z wykraplaniem się nadmiaru pary wodnej, występuje przede wszystkim w pomieszczeniach gdzie odbywają się procesy mokre (pranie, suszenie, gotowanie). Do podstawowych przyczyn kondensacji pary wodnej możemy zaliczyć: zbyt małą izolacyjność termiczną ścian, bardzo dużą bezwładność termiczną budynku oraz niewydolność instalacji wentylacyjnej.

- Sorpcyjną. Związana z procesem pochłaniania wilgoci w postaci pary wodnej z powietrza otaczającego materiał o właściwościach hydrofilowych.

- Pochodzącą z awarii instalacji. Przyczyną zawilgocenie przegród budowlanych, może być także woda pochodząca z awarii instalacji wodociągowej. Do tego typu awarii dochodzi zarówno w nowych, jak i starszych budynkach. Starsze budynki są wyposażone w przewody sieci wodociągowej wykonane z rur stalowych. Rury te najczęściej są już mocno skorodowane, co jest przyczyną wielu przecieków i zalewania pomieszczeń. Natomiast w nowych sieciach wodociągowych główną przyczyną zalewania mieszkań są najczęściej pęknięcia wszelkich elastycznych elementów instalacji.

- Generowaną przez człowieka. W sposób bezpośredni z wzrost wilgotności odpowiada również człowiek. Wilgoć wprowadzana może być podczas procesów związanych z funkcjonowaniem w obiekcie: pranie, suszenie, gotowanie, zmywanie, kąpiel oraz przez samego człowieka.

2.2. Skutki zawilgocenia

W celu uzmysłowienia wagi problemu należy również w skrócie omówić, jakie są skutki nadmiernego zawilgocenia. Negatywne oddziaływanie wilgoci nie ogranicza się jedynie do samych materiałów i elementów obiektu. Pośrednio wpływ ten jest równie istotny w przypadku ludzi przebywających w zawilgoconych pomieszczeniach. Do najważniejszych mankamentów związanych z zawilgoceniem można zaliczyć:

- Obniżenie izolacyjności cieplnej materiałów.

Już kilkuprocentowy wzrost zawilgocenia powoduje znaczne, dodatkowe straty ciepła i możliwość przemarzania zawilgoconych przegród. Przykładowo: cegła ceramiczna w warunkach średnio wilgotnych ma współczynnik przewodzenia ciepła $\lambda = 0,77 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, a dla wilgotności 15% wynosi on już około $1,6 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. Ponad dwukrotny wzrost λ , w przypadku murów jednowarstwowych, powoduje analogiczne obniżenie oporu cieplnego muru.

- Obniżenie wytrzymałości materiałów i nośności elementów konstrukcyjnych.

Nadmierne zawilgocenie ma zdecydowanie niekorzystny wpływ na większość materiałów budowlanych. Podstawowym problemem jest degradacja materiałów wykończeniowych: tynków, malatur, wszelkiego rodzaju materiałów okładziniowych oraz elementów drewnianych i drewnopochodnych. Na skutek ich niewielkiej

odporności na wilgoć dochodzi często do nieodwracalnych zniszczeń. Nie bez znaczenia pozostaje również wpływ zawilgocenia na elementy konstrukcyjne obiektu. Niektóre materiały budowlane (np. lekkie betony komórkowe, gipsy) pod wpływem zawilgocenia rozmiękają, czemu towarzyszy spadek ich wytrzymałości. Przemieszczanie się wilgoci w murze powoduje rozpuszczanie substancji wiążących i uszkodzenia materiałów. W konsekwencji następuje obniżenie nośności przegrody. Zawilgocone materiały ulegają przyspieszonemu niszczeniu również na skutek cyklicznego zamrażania i odmrażania wody zawartej w porach i kapilarach. Zjawisko to jest szczególnie widoczne na zewnątrz obiektu: w przyziemiu i w miejscach gdzie dochodzi do kontaktu wody z materiałem. Zawilgocenie materiałów powoduje również przyspieszenie korozji chemicznej elementów metalowych obiektu.

- Zagrożenie korozją biologiczną.

Podwyższona wilgotność bardzo często prowadzi do powstania korozji biologicznej. Pod tym pojęciem rozumiemy procesy destrukcji powodowane przez grzyby domowe, grzyby pleśniowe, owady szkodniki drewna oraz glony, mchy, porosty i bakterie. Korozja biologiczna zmienia i niszczy strukturę materiałów budowlanych i wykończeniowych nie pozostaje bez wpływu na ludzi przebywających w porażonych pomieszczeniach. Obecność wyżej wymienionych organizmów może powodować schorzenia dróg oddechowych, narządów wzroku, stawów oraz osłabienie odporności organizmu.

- Procesy niszczenia związane z działaniem soli.

Sole rozpuszczalne w wodzie należą do najgroźniejszych czynników niszczących obiekty budowlane. Dość często można się spotkać ze stwierdzeniem, że to właśnie one są przyczyną największych zniszczeń w obrębie przyziemia budynku. Ich wysokie stężenia mogą prowadzić niekiedy do całkowitego zniszczenia zasolonych partii budynku. Nośnikiem soli w materiałach budowlanych jest woda, a zniszczenia powstają na skutek procesów krystalizacji soli podczas jej odparowywania.

Opisane powyżej skutki nadmiernego zawilgocenia powodują przyspieszenie procesów starzenia obiektu. Następuje obniżenie ich trwałości, konieczne są częstsze i o większej skali remonty. Wszystko to generuje wyższe koszty eksploatacji i obniżenie ich wartości materialnej.

3. Badania wilgotności

3.1. Metody badań

Metody badań wilgotności materiałów można podzielić na takie, w których pomiar odbywa się w sposób bezpośredni lub pośredni. Pomiar bezpośredni to pomiar, którego wynik otrzymuje się na podstawie bezpośredniego wskazania narzędzia pomiarowego, wywzorcowanego w jednostkach miary mierzonej wielkości.

Pomiar pośredni jest pomiarem, którego wynik otrzymuje się na podstawie bezpośredniego pomiaru innych wielkości, opierając się na znanej zależności między tymi wielkościami a wielkością mierzoną.

Do metod bezpośrednich zalicza się jedynie metodę laboratoryjną (wagowo-suszarkową). W badaniach wilgotności stosuje się również szereg metod pośrednich wykorzystujących właściwości fizyczne i chemiczne wody zawartej w materiale.

Podział metod pośrednich badania wilgotności materiałów przedstawia się następująco:

Metody chemiczne: karbidowa, Karla-Fishera, papierków wskaźnikowych.

Metody fizyczne:

a) Elektryczne: mikrofalowa, dielektryczna, opornościowa.

b) Nielektryczne, ekstrakcyjna, jądrowe, jądrowego rezonansu magnetycznego, oparta na równowadze ciśnień cząstkowych pary, oparte na pomiarze właściwości cieplnych [2].

W budownictwie do badań wilgotnościowych stosuje się w rzeczywistości jedynie kilka metod. Do najważniejszych należą: metoda laboratoryjna, dielektryczna, opornościowa i karbidowa. Pozostałe metody mają raczej znaczenie bardziej teoretyczne niż praktyczne.

3.2. Badania laboratoryjne wilgotności – metoda grawimetryczna

Metoda laboratoryjna obarczona wieloma ograniczeniami uważana jest, za jedyny miarodajny sposób pomiaru wilgoci. Badanie wymaga posiadania zaplecza laboratoryjnego oraz odpowiedniego sprzętu do pobierania próbek. Wielu ograniczeniom podlega sposób i miejsca poboru próbek z tego też powodu zagadnienia te zostaną omówione szczegółowo.

3.2.1. Wytyczne do pobierania materiału

Szczególą uwagę należy przykładać do miejsca i sposobu pobrania próbek. W Polsce brak jest norm określających ilość, miejsce i sposób pobierania próbek do badań wilgotności metodą laboratoryjną. W związku z brakiem wiarygodnych źródeł, wysokość i głębokość pobierania próbek oraz ich liczba często opiera się na własnym doświadczeniu wykonujących badania.

Podstawowe zasady dotyczące zasad próbkowania:

- Próbki pobierane powinny być z głębokości $1/3 - 1/4$ grubości muru. Materiał do badań musi pochodzić z całej długości otworu.
- Podczas próbkowania nie można przegrzać pobieranego materiału.
- W celu określenia rozkładu zawilgocenie w zależności od wysokości muru badanie należy wykonać w poziomie posadzki (wewnątrz obiektu) lub terenu (na zewnątrz) oraz przynajmniej jeden pomiar powyżej pierwszego (np. na wysokości 1m). W miejscach gdzie wysokość została zmieniona każdorazowo należy dokonać jej pomiaru.
- Zwiercinę należy umieścić w szczelnym opakowaniu i w przypadku konieczności transportu przechowywać w lodówce, (jeżeli oznaczenie wilgotności wykonywane jest w dłuższym okresie od momentu pobrania próbek). W przypadku kilkudniowych badań na obiekcie próbki można zamrozić i w takim stanie przewozić do laboratorium.
- Otwory, z których pobierany jest materiał do badań należy uzupełnić materiałem zgodnym z pobranym z muru.
- Należy wykonać dodatkową dokumentację fotograficzną miejsc poboru. Umożliwi to późniejsze naniesienie punktów na dokumentację rysunkową.

Istnieje dość duży problem z przyjęciem miarodajnej liczby próbek, które należy pobrać z obiektu. Uwzględniona musi zostać przede wszystkim wielkość obiektu, powierzchnia podpiwniczenia, zmienność materiału w obrębie badanych murów oraz wizualny stan badanych przegród. Na podstawie wieloletnich badań prowadzonych przez autora wysnuto następujące wnioski dotyczące minimalnej liczby próbkowań i miejsc poboru. Zgodnie z nimi materiał należy pobrać z:

- wszystkich ścian zewnętrznych piwnic stykających się z gruntem,
- przynajmniej jednej ściany wewnętrznej konstrukcyjnej w poziomie piwnic,
- wszystkich ścian zewnętrznych w poziomie parteru od zewnątrz i od wewnątrz.

Jeżeli uwzględnimy, że każdorazowo pobieramy materiał z dwóch wysokości, to nawet dla obiektu podpiwniczonego o niewielkiej powierzchni zabudowy, daje liczbę ponad dwudziestu próbek. Założenia te nie uwzględniają wspomnianej powyżej zmienności materiałów w ścianach i długości ścian.

Niestety dość często ze względów finansowych przyjmowana jest zbyt mała liczba próbek, co utrudnia właściwą ocenę stanu wilgotnościowego. W opracowaniach technicznych, dość często można się spotkać, z oceną stanu wilgotnościowego obiektów wielkowymiarowych, na podstawie zaledwie kilku punktów pomiarowych.

Niezwykle istotną sprawą jest technika pozyskiwania materiału do badań. Źródła literaturowe wskazują konieczność odkuwania lub stosowania wybijaaków rurowych. Niestety obydwa sposoby, w przypadku badania przegród, nie są możliwe do zastosowania. W przypadku odkuć na tak dużą głębokość, uszkodzeniu uległby duży fragment muru. Zastosowanie wybijaaków rurowych ogranicza się jedynie do poboru próbek na niewielkiej głębokości i dotyczy materiałów o niskiej wytrzymałości. Przy pobieraniu z większych głębokości problemem jest usunięcie wybijaka z materiałem i zachodzi konieczność odkuwania materiału wokół wybijaka. W jednym i drugim przypadku uszkodzenia badanej przegrody są zbyt rozległe. Z tego też powodu najczęściej próbki pobierane są metodą odwiertów. Przy pozyskiwanie materiału odwiertów istnieje realne niebezpieczeństwo przegrzania zwierciny, co wpływa niekorzystnie na wynik (obniża). Powoduje to konieczność stosowania wiercenia wolnoobrotowego lub wiertnic z koronami nie chłodzonymi wodą.

Bez względu na technikę odwiertów podczas pobierania materiału do badań dochodzi do przesuszenia zwierciny. Ubytek masy próbki wilgotnej powinien zostać uwzględniony podczas obliczeń wilgotności. Badania własne autora pozwoliły na opracowanie poprawek uwzględniających technikę pobierania materiału.

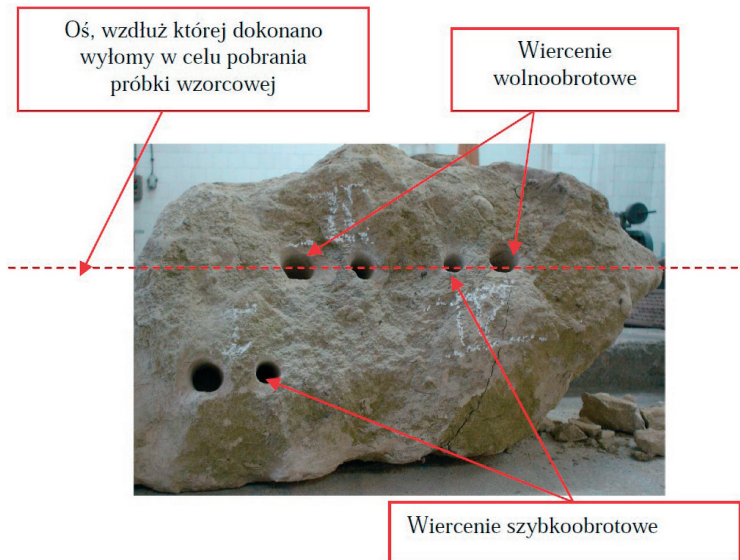
Celem badań było wykazanie różnicy w wilgotnościach tych samych próbek przy różnych technikach poboru w stosunku do wartości uznanej za bazową, czyli odkuwania. Ze względu na to, że najczęściej wykorzystywane przy tego typu badaniach jest wiercenie, ocenie poddano dwie metody poboru zwierciny z muru:

- wiercenie urządzeniem udarowym szybkoobrotowym,
- wiercenie urządzeniem udarowo – obrotowym o niskiej prędkości wiercenia.

W pierwszym (zakończonym) etapie badań wyznaczone zostały tabele poprawek dla czterech różnych materiałów budowlanych. Do badań wybrano następujące materiały:

- cegły pełnej palonej, klasy 100,
- pustaka (błocznka) z gazobetonu komórkowego, klasy M 600,
- skały węglanowej – opoka wapnista,
- zaprawy cementowo – wapiennej.

Przygotowane wcześniej próbki poddano procesom zawilgocenia tak aby uzyskać różne wilgotności. Proces był monitorowany z użyciem mierników pośrednich. Następnie z poszczególnych próbek został pobrany materiał przy pomocy odwiertów szybko i wolnoobrotowych. Odwierty wykonano w odległości około 4-6 cm. Materiał pomiędzy otworami został odkuty wzdłuż osi poziomej otworów, dzięki czemu została pobrana wzorcowa próbka do wzorcowych. Kolejnym etapem było oznaczenie wilgotności metodą laboratoryjną. Poniżej przedstawiono wyniki badań dla opoki wapnistej.



Rys.1. Otwory w opoce wapnistej, z których została pobrana do badania zwierzcina.
Fig. 1. Drill holes in the spongiolith, where the samples were taken from.

W zamieszczonej poniżej przykładowej tabeli przedstawione zostały poprawki jakie należy dodać do osiągniętych wyników wilgotności w zależności od użytej techniki poboru oraz przedziału wilgotności. Podobne tabele opracowane zostały dla pozostałych wymienionych wcześniej materiałów.

Tabela 1. Różnica w wilgotności opoki wapnistej przy poborze za pomocą odwiertu w stosunku do odkuwania.

Table 1. Difference in dampness of the spongiolith in drilling and extracting chips of rock.

Przedział wilgotności	1	2
0-5 %	1,05	0,74
5-10%	2,23	1,23
10-36%	2,24	1,51

1 – Średnia wartość różnic wilgotności masowej pomiędzy odkuwaniem, a wierceniem szybkoobrotowym dla poszczególnych przedziałów wilgotności.

2 – Średnia wartość różnic wilgotności masowej pomiędzy odkuwaniem, a wierceniem wolnoobrotowym dla poszczególnych przedziałów wilgotności.

3.2.2. Aparatura badawcza

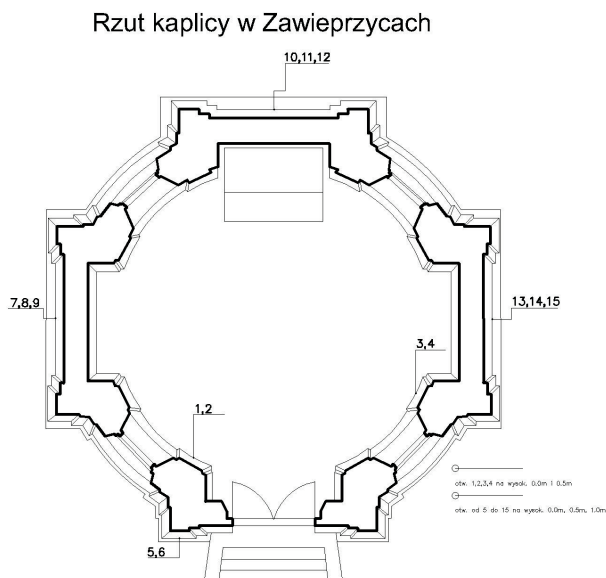
Metodę wykonania oznaczenia wilgotności precyzuje norma PN-EN ISO 12570 „Ciepłno-wilgotnościowe właściwości materiałów i wyrobów budowlanych. Określanie wilgotności przez suszenie w podwyższonej temperaturze” [3].

Aparatura badawcza powinna zawierać: Suszarkę zdolną do utrzymywania temperatury suszenia minimum 105°C z dokładnością $\pm 2^{\circ}\text{C}$, wagę pozwalającą na ważenie próbek do badań z niepewnością nie większą niż 0,1% ich masy oraz ekcykator.

Przed suszeniem należy zważyć próbki do badań z dokładnością do 0,1% ich masy. Następnie należy suszyć próbki do stałej masy w temperaturze określonej w stosownej normie wyrobu. Stała masa jest osiągnięta, gdy zmiana pomiędzy trzema kolejnymi ważeniami wykonanymi w ciągu 24h wynosi mniej niż 0,1% całkowitej masy. Próbki należy studzić w ekcykatorze i ważyć je po osiągnięciu temperatury od 30°C do 40°C z tą samą dokładnością jak opisano wyżej. Próbki waży się przed ich całkowitym wystudzeniem, aby zminimalizować powtórna absorpcję wilgoci[3].

3.3. Wyniki badań

Wyniki badań wilgotności opracować należy w postaci protokołu, który powinien zawierać: informacje dotyczące poboru próbek i badania, tabelę wyników, rysunek z zaznaczonymi miejscami badań. Część wstępna protokołu z badań obejmuje: sposób poboru próbek, sprzęt wykorzystany do poboru, opis pobranej próbki (rodzaj materiału), liczbę próbek dla poszczególnych kondygnacji, wysokości na jakich pobrano materiał, datę pobrania, miejsce badania, datę badania, aparaturę i sprzęt wykorzystany w laboratorium. W tabeli wyników umieścić należy: numer punktu pomiarowego, miejsce poboru próbki, wysokość w stosunku do poziomu terenu lub posadki, wartość wilgotności, stopień zawilgocenia.



Rys. 2. Przykład oznaczeń punktów próbkowania.

Fig. 2. Example of marking of location points for extraction of samples.

Tabela 2. Przykładowa tabela wyników badania zawilgocenia.

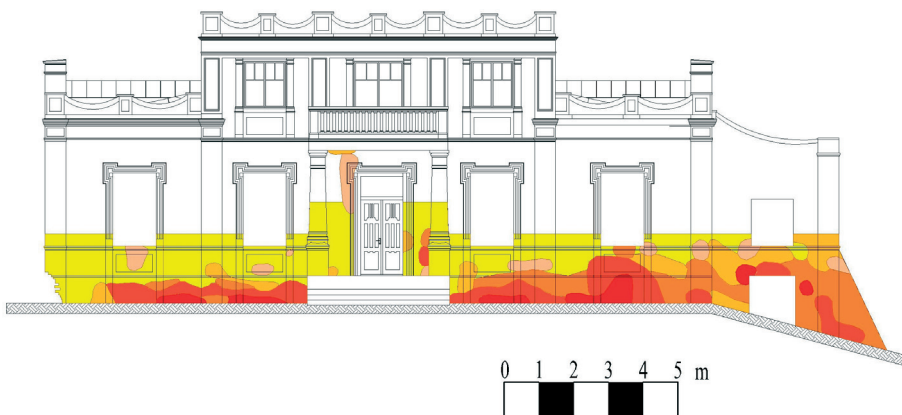
Table 2. Exemplary table of results of dampness evaluation.

Nr. próbki	Wilgotność	Wysokość nad poz. terenu
	[%]	[m]
1	5,36	0,0
2	5,64	0,5
3	7,72	0,0
4	4,72	0,5
5	10,26	0,0
6	7,40	0,5
7	12,80	0,0
8	6,78	0,5
9	7,48	1,0
10	13,12	0,0
11	6,63	0,5
12	4,63	1,0
13	11,67	0,0
14	8,16	0,5
15	6,62	1,0

4. Badania wilgotności – metody pośrednie

Metody pośrednie badania wilgotności są metodami półilościowymi i mogą mieć jedynie charakter informacyjny. Najbardziej wiarygodne wyniki uzyskiwane są dzięki metodzie chemicznej-karbidowej. Dokładność pomiaru wynosi około $\pm 3\%$. Głównym powodem niezgodności wyników z badaniami metodą grawimetryczną jest to, że karbid nie wchodzi w reakcję z wodą związaną chemicznie. Różnice są bardzo widoczne podczas badania materiałów silnie zasolonych. Ze względu na wpływ zasolenia (zmiana oporności) oraz niewielkiej głębokości pomiaru, jeszcze mniej dokładne są metody elektryczne.

Pozwalają one natomiast, na dość sprawne wyszukiwanie miejsc zawilgoczonych oraz są niezwykle pomocne przy tworzeniu tzw. „map zawilgocenia” obrazujących rozkład zawilgocenia na powierzchni przegród.



Rys. 3. Mapa zawilgocenia opracowana na podstawie wyników badań metodą dielektryczną. Wyższe stopnie zawilgocenia oznaczone ciemniejszymi kolorami Archiwum Katedry Konserwacji Zabytków.

Fig. 3. Dampness map developed according to the results of dielectric examination. The higher dampness concentration marked by more intense color. The Archives of Chair for Monument Preservation.

4.1. Metoda chemiczna

Jedną z najpopularniejszych metod badania wilgotności metodami pośrednimi jest metoda chemiczna – karbidowa. Polega ona na pobraniu próbki z przegrody przez wywiercenie i wprowadzenie jej wraz z ampułką zawierającą węgiel wapnia (karbid) do szczelnego ciśnieniowego naczynia stalowego, wyposażonego w manometr. Przez lekkie wstrząsanie naczynia następuje rozbicie ampułki oraz zmieszanie zawartości. Zachodząca według wzoru: $\text{CaC}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \Rightarrow \text{C}_2\text{H}_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2$ reakcja powoduje wydzielanie się acetyleny i wzrost ciśnienia w butli, którego wartość ustala się po pewnym czasie. Wilgotność próbki odpowiadająca wytworzonemu ciśnieniu można odczytać z dołączonej do urządzenia tabelki (urządzenia starszego typu). W nowoczesnych urządzeniach masa próbki badanego materiału, zakres pomiarowy manometru i wymiary komory pomiarowej zostały tak dobrane, że manometr jest wyskalowany bezpośrednio w procentach wilgotności względnej.

4.2. Metody elektryczne

Z grupy metod elektrycznych przy pomiarach wilgotności najczęściej stosowane są metody opornościowa i dielektryczna. W ofercie firm oferujących tego typu mierniki są urządzenia bazujące na jednej z metod lub też coraz częściej wielofunkcyjne.

Metoda dielektryczna polega na wykorzystaniu zjawisk zmiany pojemności elektrycznej materiału wraz ze zmianą zawartości wilgoci. Istnieje, bowiem związek między wilgotnością materiału a jego stałą dielektryczną. Dzięki dużej różnicy między wartością stałej dielektrycznej wody i bezwodnych substancji można przyjąć proporcjonalność między wilgotnością materiałów a ich stałą dielektryczną.

Metodę opornościową zaliczamy do metod niszczących, gdyż pomiar polega na wykonaniu niewielkich otworów w badanym materiale. Zakres ingerencji jest na tyle mały, że może być ona z powodzeniem stosowana również w obiektach zabytkowych. Pomiar bazuje na pomiarze rezystancji zawilgoconego materiału pomiędzy układem dwóch elektrod. Zdecydowanie częściej mierniki opornościowe wykorzystywane są do pomiaru wilgotności materiałów drewnianych i drewnopochodnych.

Nowoczesne wilgotnościomierze elektryczne takie jak przedstawiony na fotografii LB-795 z reguły wyposażone są w dwa rodzaje czujników wilgotności: rezystancyjny (metoda opornościowa), pojemnościowy (metoda dielektryczna). Większy zakres możliwości pomiarów wilgotności daje możliwość porównania wyników uzyskanych dwiema różnymi metodami a przez to sprawdzenia ich wiarygodności.



Rys. 4. Wilgotnościomierz karbidowy WK-1 Zdjęcie ze strony <http://www.mera-sp.com.pl/>.
Fig. 4. Carbide hygrometer WK-1. Photo after <http://www.mera-sp.com.pl/>.



Rys. 5. Wilgotnościomierz LB-795.

Fig. 5. Hygrometer LB-795.

5. Stopnie zawilgocenia

W ocenie stopnia zawilgocenia istotnym jest określenie dopuszczalnych wartości wilgotności przegród w zależności od rodzaju materiałów. W literaturze technicznej można spotkać różne wartości dopuszczalnej wilgotności dla tego samego materiału lub przegrody. Nieobowiązująca już norma PN-82/B-02020 „Ochrona cieplna budynków” podawała dopuszczalne wartości materiałów budowlanych stosowanych w zewnętrznych przegrodach ogrzewanych budynków. Nowelizacja z 1991 roku pomija te dane. Problemem jest to, że obecnie żadne dokumenty nie precyzują w sposób dokładny wymagań. Zamieszczone poniżej dane podają dopuszczalną wartość wilgotności w stanie tzw. suchym oraz jej maksymalny przyrost.

Tabela 3. Dopuszczalne wilgotności materiałów w zewnętrznych przegrodach budowlanych (fragment tabeli) [4].

Table 3. Permissible humidity of material in outer building walls.

Lp.	RODZAJ MATERIAŁU LUB PRZEGRODY	WILGOTNOŚĆ	DOPUSZCZALNY
		PRZED OKRESEM ZAWILGOCENIA	PRZYROST WIL- GOTNOŚCI
		[%]	[%]
1.	ŚCIANA Z CEGŁY CERAMICZNEJ	1,5	1,5
2.	ŚCIANA Z PUSTAKÓW CERAMICZNYCH	1	2
3.	ŚCIANA Z CEGŁY SILIKATOWEJ	3	2
4.	BETON KOMÓRKOWY	3	4

Znacznie więcej informacji zawartych zostało w drugiej z zamieszczonych tabel. W zależności od przedziału wilgotności masowej zdefiniowano przegrody pod kątem jej stopnia zawilgocenia, tabela zawiera dodatkowo „określenie stanu wilgotnościowego”. Niestety brak jest informacji, jakie należałoby przyjąć zakresy wilgotności masowych przy ustalaniu stopnia zawilgocenia dla innych materiałów.

Najprostszym rozwiązaniem jest oczywiście przeliczenie zakresów z uwzględnieniem gęstości kolejnych materiałów. Niestety przy takim podejściu nie pod uwagę nie jest wzięta budowa materiału (struktura porów i kapilar).

Tabela 4. Stopnie zawilgocenia murów ceglanych [5].
Table 4. Grades of brick-wall humidity.

STOPNIE ZAWILGOCENIA MURÓW CEGLANYCH		
I	0 – 3 %	Mury o dopuszczalnej wilgotności
II	3 % - 5 %	Mury o podwyższonej wilgotności
III	5 % - 8 %	Mury średnio wilgotne
IV	8 % - 12 %	Mury mocno wilgotne
V	> 12 %	Mury mokre

6. Podsumowanie

Badania wilgotnościowe są jednymi z najczęściej wykonywanych oznaczeń cech materiałowych. W normie [3] znajdują się informacje dotyczące samego oznaczenia wilgotności.

Problem związany z badaniami wilgotności wynika więc nie z samego oznaczenia, a związany jest z brakiem źródeł traktujących o samym poborze próbek. W związku z niedostateczną ilością materiałów literaturowych, sposób, wysokość i głębokość pobierania próbek, często opiera się na własnym doświadczeniu wykonujących badania.

Równie istotną sprawą jest kwestia minimalnej ilości próbkowania. Liczba punktów pomiarowych powinna pozwolić, na jak najdokładniejsze określenie stanu wilgotnościowego obiektu. Niestety stosunkowo często na przeszkodzie stają możliwości finansowe.

Kolejnym problemem jest wybór miejsc, z których pobrany zostanie materiał. Przy ścianach o dużej długości, wzniesionych z różnorodnego materiału, o różnej głębokości posadowienia, przesunięcie o 1-2 metry dać może wyraźnie odmienne wyniki.

Jednym z rozwiązań jest stosowanie pomiarów łączonych, laboratoryjnych i z wykorzystaniem pomiarów pośrednich. Metoda łączona pozwala na szybkie „mapowanie” badanych elementów miernikami, a następnie świadomy wybór punktów, z których pobrany zostanie materiał do badań laboratoryjnych.

Literatura

- [1] Pogorzelski J.A., *Zagadnienia ciepłno-wilgotnościowe przegród budowlanych*, Budownictwo ogólne, tom 2, Warszawa 2005.
- [2] Wójcik R., *Pomiary wilgotności przegród budowlanych*, Materiały Budowlane nr 8, 2002.
- [3] Norma PN-EN ISO 12570. *Ciepłno-wilgotnościowe właściwości materiałów i wyrobów budowlanych. Określanie wilgotności przez suszenie w podwyższonej temperaturze*.
- [4] Norma PN-82/B-02020. *Ochrona cieplna budynków*.
- [5] Adamowski J., *Metodyka badań zawilgoconych murów w obiektach zabytkowych, Postęp i nowoczesność w konserwacji zabytków*, Lublin 2005.

Moisture in buildings objects. Humidity testing problems

Maciej Trochonowicz

*Lublin University of Technology, Faculty of Civil Engineering and Architecture,
Chair of Historic Buildings Preservation, m.trochonowicz@pollub.pl*

Summary: Humidity is one of the fundamental physical features of materials; the detection of water is one of the most frequently executed examinations. The following article presents problems connected with measurements of material humidity.

Key words: humidity, humidity inspection, dampness analysis.