

dr inż. Jerzy Karyś¹⁾
ORCID: 0000-0001-6222-8666

Diagnozowanie wilgoci w budynkach

The moisture expert's report in the buildings

DOI: 10.15199/33.2020.03.01

Streszczenie. Wilgoć stwarza niezwykle złożone warunki eksploatacyjne, ograniczające trwałość obiektów budowlanych. Jako następne po zawilgoceniu i próbie eksploatacji pojawiają się na przegrodach budowlanych bakterie, wirusy, grzyby pleśniowe i domowe oraz glony i porosty. Jednocześnie występują rysy lub pęknięcia obiektów. O ile podczas wykonywania ekspertyz budowlanych pomiary dotyczące konstrukcji najczęściej prowadzone są rzetelnie, to pomiary wilgotności są niekiedy lekceważone lub wykonywane nieumiejętnie, co w późniejszym okresie powoduje katastrofalne skutki zdrowotne dla mieszkańców budynków. Czasami w obiekcie dochodzi do wystąpienia syndromu chorego budynku (SBS), a mieszkańcy rezygnują z zamieszkiwania go. Badania wilgoci wymagają przeprowadzenia analizy projektu, znajomości historii obiektu i zasad technologicznych, a także sumienności i wiedzy w zakresie aplikacji mierników wilgotności.
Słowa kluczowe: budynek; wilgoć; identyfikacja; diagnoza.

Abstract. The moisture produces complicated exploitation conditions, delimiting the durability of building objects. The moisture controlling is necessary for the durability and the first of all old buildings and for the battle against the biological life and chemical corrosion. In time of realization the expert's report very often the construction tests are executed correctly, but that moisture tests sometimes are make light or without the knowledge. This fact produces later the catastrophic results for the habitants of buildings. In this case very often the Sick Building Syndrome is coming or the tenants leave the buildings. The moisture researches demand the project analyses, the knowledge of the building story and technological principles, as well the conscientiousness and knowledge of the hygrometer application.

Keywords: building; moisture; identification; diagnosis.

P przed wykonaniem badań wilgotności w budynku trzeba sprawdzić istnienie dobrej jakości izolacji przeciwwilgociowych i przeciwwodnych w przyziemiu, odprowadzenie pary wodnej z pomieszczeń wilgotnych i mokrych, zabezpieczenie dachu przed przesiąkaniem wody opadowej i odprowadzenie jej za pomocą rynien i rur spustowych, stosowanie materiałów o małej nasiąkliwości. Wszystkie te informacje pozwolą na opracowanie planu pomiarów wilgotności, które należy prowadzić systemowo, zaczynając od dachu i poddasza, idąc w dół, albo od przyziemia, idąc do góry.

Drastyczne zawilgocenia w postaci wykwitów, wysoleń, ługowania składników wapniowych z zapraw i betonów widoczne są na elewacji budynku: na gzymsach; ścianach w miejscach, w których znajdują się pomieszczenia mokre; przy rurach spustowych; w okolicach cokołu budynku oraz przy podokiennikach. Dotyczy to również w dużej mierze sytuacji, gdy mamy do czynienia z miejscowymi zalaniem w budynku, jak i z wodą powodziową. Widoczne są także zawilgocenia pochodzące od nieprawidłowości istniejących w dachach stromych (przecieki, nawisy lodu). Podczas badań bardzo często niezbędne staje się wykonanie odkrywki, np. gruntu, płyt gipsowo-kartonowych, stropów, izolacji przeciwwilgociowych i przeciwwodnych, izolacji cieplnych – szczególnie na poddaszu.

Transport wilgoci odbywa się na drodze kapilarnej, dyfuzyjnej lub w wyniku parcia cieczy, ale w budynkach najczęściej mamy do czynienia z transportem mieszanym. Wilgotność masowa przegród budowlanych może, w skrajnych przypadkach, równać

się ich nasiąkliwości sięgającej w starych budynkach 40%. Woda powodziowa znajdująca się w budynkach to właściwie ścieki zawierające duże ilości związków chemicznych i składników biochemicznych pochodzących z zakładów przemysłowych, oczyszczalni ścieków, szamb i pól uprawnych. Zanieczyszczona chemicznie woda gruntowa oraz woda opadowa i górską – woda miękka, powodują korozję elektrochemiczną i chemiczną, a w ostatnich dwóch przypadkach korozję ługującą. Stwarza to również warunki do rozwoju korozji biologicznej. Zwiększona wilgotność powoduje także zmianę objętości elementów budynku, co w konsekwencji prowadzi do spękań lub wymrozów (korozja mrozowa) [1]. Finalnie, istnienie w przegrodach nadmiernej ilości wilgoci powoduje obniżenie ich wytrzymałości mechanicznej, izolacyjności cieplnej i stworzenie niekorzystnych warunków sanitarnych [2, 5]. Zasady identyfikacji wilgoci po powodzi i usuwania jej skutków podano w [2].

Metody badania wilgotności w materiałach i przegrodach budowlanych

Za pomocą badań wilgotnościowych identyfikuje się nie tylko rodzaj wilgoci, lecz także jej rozmieszczenie i mechanizm transportu. Dopiero kompleksowa znajomość tych spraw pozwala na diagnozę i likwidację skutków. Oprócz sprzętu pomiarowego ogromny wpływ na jakość wyników ma sposób wykonywania badań identyfikacyjnych. Potrzebna jest również znajomość zagadnień cieplno-wilgotnościowych dotyczących obiektów budowlanych. Inne są także metody i parametry pomiarów poszczególnych części obiektu.

Bardzo ważną bazą porównawczą do uzyskiwanych wartości wilgotności masowej jest wilgotność sorpcyjna (równowagowa), różna dla różnych materiałów budowlanych. W przy-

¹⁾ Pozzwroclaw@wp.pl

padku murów ceglanych wynosi ona 3,0 – 4,0%, gipsów i anhydrytów 1,5 – 2,0%, płyt pilśniowych 12,0 – 13,0%, desek drewnianych 10,0 – 12,0%, bloczków betonowych 2,0 – 3,0%, posadzek betonowych 3,0 – 4,0%, tynków cementowo-wapiennych 2,5 – 3,0%, a bloczków gazobetonowych 5,0 – 6,0%.

Metody badania wilgotności materiałów i przegród budowlanych można podzielić na:

a) **bezpośrednie (MB)**: metoda suszarkowo-wagowa (laboratoryjna) i metoda suszarkowo-wagowa *in situ* (wagosuszarkowa);

b) **pośrednie (MP)**, w tym:

– **metody fizyczne (MPF)**, m.in. fal radiowych; termiczne (przewodności cieplnej, niestacjonarnego strumienia ciepła); jądrowe (metoda szybkich neutronów, magnetycznego rezonansu jądrowego, promieniowania gamma); ekstrakcyjne;

– **metody elektryczne (MPE)**: opornościowa; strat dielektrycznych; pojemnościowa (stałej dielektrycznej); mikrofalowa; opornościowo-pojemnościowa; termowizyjna;

– **metody chemiczne (MPC)**: wskaźnikowa; karbidowa; Fiszera.

Podczas badań wilgotności przegród budowlanych niezbyt często wykorzystuje się metody bezpośrednie, mimo ich największej dokładności. Najczęściej stosuje się metodę suszarkowo-wagową *in situ*, ale na ogół do badań wilgotności w obiektach o dużej wartości zabytkowej. Powszechnie prowadzi się badania z wykorzystaniem pośrednich metod elektrycznych, bazujących na pomiarach pojemności lub rzadziej rezystancji materiału, a jedynie do celów porównawczych stosuje się metodę karbidową (przy braku istotnego zasolenia) lub suszarkowo-wagową i suszarkowo-wagową *in situ* (przy zasoleniu przegród budowlanych na poziomie AX2 i AX3). Istniejące zasolenie murów utrudnia pomiar metodami elektrycznymi, albo czyni go niedokładnym, gdyż zmienia ono drastycznie rezystancję i stałą dielektryczną materiału [1].

Metoda suszarkowo-wagowa *in situ* to metoda o dużej dokładności, ale jej niedoskonałością jest konieczność pobierania próbek przez ich wykuwanie z przegrody oraz fakt, że szybkie suszenie powoduje niedokładne określenie masy materiału, które wynika z blokowania porów produktami krystalizacji związków chemicznych – głównie soli, jednak najczęściej różnica wyników w porównaniu z metodą suszarkowo-wagową nie przekracza ułamka procentu wilgotności masowej. Metodę tę jako najdokładniejszą w warunkach *in situ* można proponować do badań rozjemczych lub do skalowania przyrządów stosowanych w badaniach pośrednich.

Szczególnie trudne są badania wilgotności murów kamiennych oraz tzw. murów żebracznych. Pomocną jest wówczas metoda suszarkowo-wagowa lub karbidowa. Trzeba jednak zaznaczyć, że metoda karbidowa powoduje zaniżenie wyników w porównaniu z otrzymywanymi metodami bezpośrednimi, ponieważ nie uwzględnia ona wody uwięzionej w materiale w sposób fizykomechaniczny i częściowo fizykochemiczny. Inne wymienione wcześniej metody mogą być alternatywnymi, a także służą do badań rozjemczych lub mają charakter naukowy.

Z przytoczonego przeglądu metod przydatnych do badania wilgotności w budynku wynika, że ze względu na relatywnie dużą ilość wody znajdującej się w przegrodach budowlanych, szczególnie przydatne są pośrednie metody elektryczne,

umożliwiające również statystyczną ocenę uzyskanych wyników. Ich mankamentem jest jednak mała przydatność przy zasoleniach występujących w przegrodach. Wówczas należy stosować metody bezpośrednie, a przede wszystkim metodę suszarkowo-wagową *in situ*, jako bardziej praktyczną [1, 3, 4]. W badaniach i testach ogromną rolę odgrywa jakość techniczna mierników wilgotności.

Czynniki korygujące procesy wilgotnościowe i degradacyjne

W przyziemiu budynku mogą znajdować się sole: siarczany, chlorki, azotany, a niekiedy również węglany i związki magnezowe mające jednak mniejsze działanie degradacyjne od poprzednich. Sole przechodzą w formę krystaliczną o dużej sorpcji wilgoci. Dodatkowo powstaje ciśnienie w porach materiału powodujące pęknięcie tynków lub tworzenie się wykwitów. Ten stan pogłębiają zjawiska mrozowe i korozja ługująca wywołana wodą opadową lub górską. Duży wpływ na pojawienie się określonych związków chemicznych ma temperatura przegrody budowlanej, jednak w przyziemiu mamy do czynienia z dość stabilną temperaturą, ale umożliwiającą proces krystalizacji i pojawianie się wykwitów solnych. W gruncie kwasowość wody jest najczęściej niewielka i wynosi 6 – 7. Stężenie soli może być stosunkowo duże, najczęściej 0,02 – 1,2% w przeliczeniu na SO_4^{2-} , 0,01 – 0,6% w przeliczeniu na NO_3^- i 0,02 – 1,2% w przeliczeniu na Cl⁻ [1]. Wyższe wartości dotyczą stanów powodziowych.

W Polsce nie ma wymagań dotyczących agresywności środowiska w stosunku do murów ceglanych lub kamiennych, dlatego najczęściej wykorzystuje się wymagania dotyczące betonu, gdyż w murze najsłabszym składnikiem jest zaprawa, a w strefie przyziemia występuje głównie zaprawa cementowo-wapienna lub cementowa. Zgodnie z PN-EN 206+A1:2016, agresywność można wówczas określić klasą ekspozycji XA1 – XA3. W przypadku klasy XA2 wymagane jest już stosowanie izolacji antykorozyjnej i cementów specjalnych SR i HSR. W zaprawie murów procesy degradacyjne będą intensywniejsze niż w betonie, dlatego istnieje potrzeba usuwania soli z przegród budynków przy ich dużym zasoleniu, a badania wilgotności należy prowadzić metodami bezpośrednimi. Podczas badań wilgotności należy także uwzględnić fakt, że wyższa temperatura otoczenia powoduje mniejsze wartości wilgotności. Mierniki wilgotności wzorcowane są w temperaturze +20°C, dlatego podczas badań wilgotnościowych prowadzonych w innej temperaturze należy to uwzględnić, korygując wynik wg propozycji producenta miernika. Unikać należy badań w niekorzystnych warunkach dla mierników wilgotności, a więc przy wilgotności względnej powietrza > 90%, w atmosferze o nadmiernej ilości pyłów, łatwopalnych gazów, w temperaturze większej od +50°C i poniżej 0°C [6].

Ocena przyczyn i skutków zawilgocenia przegród budowlanych na podstawie pomiarów wilgotności

Przyziemie budynku. Przed przystąpieniem do badań należy sprawdzić historię wszelkich zawilgoczeń mających miejsce w przeszłości oraz warunki wodno-gruntowe panujące

wokół budynku. W przypadku murów trzeba wykonać co najmniej dwa badania wilgotności, w dwutygodniowym odstępie czasu. Badania powierzchniowe mogą być realizowane jako sondażowe, a później należy wykonywać również badania wgłębne, szczególnie w końcowych (na wysokości) partiach muru, nawiercając go do 1/4, połowy i 3/4 przekroju. Wykonywanie izolacji równych wilgotności pozwala na ocenę intensywności wysychania przegród budowlanych i kwalifikacji rodzaju transportu wilgoci. W pomieszczeniach piwnicznych, o dużej intensywności wysychania, typowy dla transportu kapilarnego rozkład wilgoci – największa wilgotność u dołu ściany, a najmniejsza u góry, nie daje kategoriycznej podstawy do twierdzenia, że istotnie mamy do czynienia z wilgocią podciągającą kapilarnie. Z tego powodu przed badaniami wilgotności należy koniecznie sprawdzić spadki terenu w odniesieniu do budynku, aby potwierdzić lub wyeliminować wpływ spływu wody opadowej po terenie i wlewanie się jej do przekroju przegrody.

Podczas wykonywania odwiertów, wykuwania próbek, trzeba zwrócić uwagę na istnienie izolacji pionowych, aby ich nie uszkodzić. Koniecznie należy przy tym zidentyfikować izolację poziomą. Pomiar wilgotności można wykonywać już po kilku minutach po nawierceniu otworu, gdyż wytworzone podczas wiercenia ciepło nie wpływa w istotny sposób na wyniki badań. Przy realizacji badań metodami pośrednimi punkty pomiarowe powinny znajdować się co 1,0 – 2,0 m na długości i co 0,5 m na wysokości ściany, natomiast pomiary wilgotności posadzek należy wykonywać na siatce 1,0 x 1,0 m. Wokół zaznaczonego punktu pomiarowego trzeba wykonać 7 – 12 odczytów, gdyż współczynnik zmienności wilgotności masowej wynosi 5 – 15%, a najczęściej 5 – 7% [2, 5].

Inne konstrukcje niż mury mają także swoje indywidualne zasady badań. W ścianach warstwowych płyty gipsowo-kartonowe (g-k) najczęściej mocuje się do stelaża metalowego lub drewnianego i dlatego ich stan nie odzwierciedla wilgotności przegrody budowlanej. Jeśli jednak widoczne są zawilgocenia, to znaczy, że wilgotność przegrody jest bardzo duża lub brak jest stelaża albo też mocowanie płyt odbywa się za pomocą placków gipsowych, a warstwa konstrukcyjna ma nadmierną wilgotność. W przypadku zawilgocenia płyt g-k grzyby pleśniowe pojawiają się już po kilku dniach i są doskonale widoczne. Podłogi drewniane wymagają odkrywek, szczególnie przy końcach legarów. Do oceny wilgotności stosować można metody pośrednie, usuwając wszelkiego rodzaju pokrycia, np. folie.

Pomieszczenia wilgotne i mokre z przewodami wentylacji grawitacyjnej. Podczas badania wilgotności określamy wilgotność względną powietrza i wilgotność masową przegród metodami pośrednimi. Powinny one uwzględniać warunki odprowadzania wilgotnego powietrza, szczególnie gdy zawodzi wentylacja grawitacyjna. W zamkniętym budynku z działającą wentylacją grawitacyjną, ze stolarką o bardzo małym współczynniku infiltracji powietrza, panuje wewnątrz podciśnienie. W przypadku braku możliwości bezpośredniego wyrównania ciśnienia, ruch w kierunku na zewnątrz zarówno powietrza wewnętrznego, jak i gazów niebezpiecznych dla

zdrowia oraz wilgoci i promieniowania jonizującego niemalże ustaje, gdyż same przegrody budowlane odprowadzają jedynie kilka procent tych składników. Częstym przypadkiem jest wówczas samoistne pojawianie się tzw. cofki, czyli wprowadzanie zimnego powietrza przez przewód wentylacyjny w celu zniwelowania różnicy ciśnienia. Cofka jest tym bardziej intensywna, im większa jest odległość pomieszczenia od płaszczyzny wyrównania ciśnienia, znajdującej się na poziomie wylotów komina wentylacyjnego. Podczas działań diagnostycznych, sprawdzenie prawidłowości ciągu wentylacji grawitacyjnej należy przeprowadzać w warunkach, gdy temperatura powietrza w pomieszczeniach jest co najmniej o 10°C wyższa niż temperatura powietrza zewnętrznego. Spełnienie tego warunku dopiero pozwala na zauważenie funkcjonowania wentylacji grawitacyjnej. Podczas badań stosuje się anemometry, które wskazują temperaturę panującą w pomieszczeniu i prędkość ruchu powietrza przy kratce wentylacyjnej v_p [m/s]. Niezbędny przekrój wlotu powietrza (F_w) obliczyć można ze wzoru:

$$F_w = V/0,36 \cdot v_p \text{ [cm}^2\text{]} \quad (1)$$

gdzie:

V – objętość powietrza w jednostce czasu niezbędnej do usunięcia według przepisów normatywnych lub wpływającego faktycznie do wlotu do komina wentylacyjnego [m³/h].

Przy bardzo dużej wartości wilgotności względnej powietrza i widocznych koloniach grzybów pleśniowych wartości normatywne V można zwiększyć, o ile przegrody budowlane, łącznie ze stolarką, zostały dobrze zaprojektowane. Optymalna wartość v_p powinna wynosić 0,4 – 1,1 m/s. Przy wartościach większych od 1,2 m/s występuje turbulentny ruch powietrza i słyszalne są wibracje. W przypadku nieefektywnie działającej wentylacji grawitacyjnej, urządzeniami pomocniczymi do wywołania ruchu powietrza mogą być nawiewniki okienne, deflektory dachowe, wentylatory wyciągowe na dachu lub lokalne małe wentylatory.

Dach i więźba dachowa oraz stropy. W tej strefie budynku spodziewać się można wilgoci w całym przekroju dachu oraz w więźbie dachowej, najczęściej w murlatach, krokwiach (przy murlacie lub kalenicy), krokiewkach i w płatwiach kalenicowych. Na poddaszu niebezpieczna staje się para wodna o ciśnieniu cząstkowym większym od 13,0 – 14,0 hPa, co przy temperaturze +20°C związane jest z wilgotnością względną powietrza wyższą niż 55%, a więc dotyczy to maksymalnej wartości dopuszczalnej wg krajowych normatywów w obiektach mieszkalnych. Wilgoć może pojawić się również jako woda przeciekająca z dachu przez nieszczelne pokrycie dachowe lub szczeliny międzydachówkowe. Woda lub śnieg mogą być również nawiewane pod pokrycie. Znajomość zasad budowy przekroju dachów pozwala już w pierwszym kontakcie z budynkiem wykluczyć lub potwierdzić potrzebę wykonywania pomiarów wilgotności, obliczeń z zakresu fizyki budowli i co najważniejsze wykonywania bardzo uciążliwych odkrywek. W celu uniknięcia wilgoci pochodzącej z kondensacji pary wodnej lub z przecieków wprowadza się folię wstępnego krycia (FWK). Pierwsze symptomy kondensacji pojawiają się już przy temperaturze powietrza zewnętrznego +10 – +12°C, podobnie jak to ma miejsce w pomieszczeniach wilgotnych i mo-

krych. Folia FWK ma zdolność do przepuszczania pary wodnej w ilości 800 – 1300 g/(m² · 24 h), a więc opór dyfuzyjny Sd wynosi 0,02 – 0,08 m. Inne folie, o dużym oporze dyfuzyjnym (Sd = 100 – 1000 m) i przepuszczalności pary wodnej mniejszej od 0,5 g/(m² · 24 h), stosowane są jako paroizolacje i sytuowane od strony sufitowej dachu. W związku z tym, że trudno jest dobrać dokładnie parametry folii przy braku znajomości bilansu wilgoci w przekroju dachu, należy zapewnić dodatkowy mechanizm usuwania pary wodnej, co w dachach stromych umożliwia ruch wiatru i ssanie zachodzące w kanale o grubości przekroju 4 – 5 cm, dającym przepływ powietrza od okapu do kalenicy. Niekiedy przy dużym transporcie pary wodnej niezbędny jest kanał górny i dolny, szczególnie wtedy, gdy mamy do czynienia z blachodachówką lub z folią traktowaną jako wiatroizolacja (FWK), ale o zbyt dużym oporze dyfuzyjnym lub z papą na deskowaniu, albo też gdy dolny kanał wentylacyjny jest zbyt wąski. Otwory wentylacyjne w kalenicy powinny mieć powierzchnię stanowiącą 0,5‰ obu połaci dachowych, a otwory przy okapie co najmniej 2‰ powierzchni określonej połaci dachowej i powierzchnię nie mniejszą od 200 cm² na 1 m okapu. Spełnienie tych parametrów decyduje o tym, czy potrzebne są badania wilgotnościowe, szczególnie gdy objawy nie są ewidentne. Trzeba też rozpatrzyć technologię wykonania dachu. Niekiedy o pojawianiu się zawilgocenia decyduje zbyt mały wymiar kanału wentylacyjnego lub wlotu i wylotu kanału, a bardzo często przewężenie pojawiające się pomiędzy deskowaniem a wełną mineralną wywołane brakiem ograniczników przy znanej tendencji do rozprężania się wełny. Korzystniej jest w takim przypadku stosować samogasnącą piankę polistyrenową (styropian). Specjalnego przygotowania wymaga otwór wylotowy przy kalenicy, który powinien dawać możliwość odprowadzenia pary wodnej, a jednocześnie uniemożliwiać przedostawanie się deszczu, a tym bardziej śniegu. Należy przy tym zauważyć, że początkowa strefa przekroju dachu o grubości 5 cm jest najczęściej wolna od kondensacji pary wodnej, stąd bierze się możliwość sytuowania paroizolacji na głębokości do ok. 5 cm, licząc od strony sufitowej. Widzimy więc, że brak kanału wentylacyjnego stwarza poważne kłopoty podczas eksploatacji dachów warstwowych przy użytkowanych poddaszach, szczególnie nad pomieszczeniami, w których znajdują się łazienki i w których podczas eksploatacji wilgotność względna powietrza przekracza 60, a niekiedy 80%. Wówczas, oprócz kanałów wentylacyjnych, potrzebne jest wprowadzenie od dołu paroizolacji. W celu poprawy sytuacji korzysta się również z kominków lub wentylacyjnych elementów dachowych. Warto nadmienić, że do celów przeliczeniowych, dotyczących oporu dyfuzyjnego folii, do przejścia z parametru Sd – popularnego w Niemczech na Rv – przewidywanego w polskich normach, można wykorzystać zależność:

$$R_v = S_d / 0,676 \text{ [m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa/mg]} \quad (2)$$

gdzie:

Sd – opór dyfuzyjny przy temperaturze +20°C [m]

Po obliczeniu Rv należy uwzględnić wymagane jednostki miary, tzn. g oraz hPa, zamiast mg i Pa, co wymaga wykonania dalszych obliczeń i korekty wartości.

Często spotykaną przyczyną pojawiania się kondensatu jest zbyt mała przepuszczalność pary wodnej folii górnej (FWK), przedziurawienie folii, złe połączenie folii z kominem lub kominkami wentylacyjnymi i ścianką ogniową. Niekiedy skutkiem kondensacji pary wodnej w przekroju dachu jest wprowadzanie wilgoci do ścian z pustaków szczelinowych i w konsekwencji do piwnic, wówczas w czasie badań diagnostycznych można nieprawdziwie obarczyć izolację wodochronną fundamentów winą za nadmierną wilgotność ścian piwnicznych, a spowodowaną źle funkcjonującym dachem. Podczas badań wilgotnościowych stosuje się zarówno metody bezpośrednie, jak i pośrednie. Wilgotność w kanałach określa się za pomocą mierników wilgotności masowej i mierzących wilgotność względną powietrza, a dla ułatwienia badań stosuje się sondy wprowadzane do kanałów lub miejsc trudno dostępnych.

Konstrukcje drewniane zawsze muszą być chronione przed wilgocią, zarówno w czasie składowania, jak i podczas budowy. Podczas wykonywania diagnoz wilgotnościowych należy pytać o ten fakt. Wilgotność więźby dachowej i stropów drewnianych bada się głównie za pomocą metod pośrednich, które jednak zawodzą gdy pojawiają się grzyby domowe lub pleśniowe, akumulujące wilgoć z przekroju, a stopień degradacji elementu jest bardzo duży (D3) [5]. Stropy drewniane wymagają wykonania odkrywek, przede wszystkim w miejscu osadzenia belek, a szczególnie stropy ze ślepym pułapem. Konieczne trzeba określić również zawilgocenie izolacji cieplnej. Podczas badań można skorzystać z opracowanej krzywej regresji dla miernika wilgotności i dla gatunku drewna, a więc należy określić ten gatunek. Gęstość drewna popularnie stosowanego w budownictwie, przy jego wilgotności masowej równej 12%, wynosi średnio: sosna 550 kg/m³, świerk 470 kg/m³, jodła 450 kg/m³, modrzew 690 kg/m³, dąb 710 kg/m³, jesion 750 kg/m³, buk 730 kg/m³, wiąz 680 kg/m³. Stropy żelbetowe można badać powierzchniowo metodami pośrednimi. Konieczne należy określić stan wilgotnościowy izolacji cieplnej. W stropach gęstożebrowych można wykonać od dołu niewielki odwiert pomiędzy belkami, aby wykluczyć zastoiska wodne w pustakach.

Wilgoć w innych częściach budynku

Nadmiernej wilgotności spodziewać się można również wokół parapetów zewnętrznych, szczególnie przy zbyt niskich cokołach okiennych lub niskim opierzeniu parapetów oraz w gzymsach głównych i kordonowych, pilastrach, ryzalitach, cokołach w przyziemiu oraz w miejscach połączenia z innymi budynkami, a także wokół kominów wentylacyjnych i spalinowych. W dwóch ostatnich przypadkach, jeśli istnieją ślady przecieków, konieczne są odkrywki. Pomiary wilgotności wykonywać można metodami pośrednimi, ale przy dużym zasoleniu oraz w obiektach zabytkowych często istnieje potrzeba skorzystania z metod bezpośrednich, szczególnie wtedy, gdy wysolenia są widoczne.

W kominach spalinowych występuje niekiedy kondensacja pary wodnej i różnych gazów, stanowiących produkt spalania

opału. Pojawia się wówczas punkt rosy lub kwasowy punkt rosy. Powoduje to konieczność świadomego doboru materiału do wykonania poszycia, a więc materiału o niezbyt dużej wartości współczynnika λ , a niekiedy występuje także konieczność ocieplenia komina. Widać z tego, że zagadnienie wymaga także wykonania obliczeń z zakresu fizyki budowli z uwzględnieniem parametrów eksploatacji. Niekiedy do wyeliminowania niebezpieczeństwa pojawiania się kondensatu wystarcza np. zmiana rodzaju stosowanego paliwa. Do oceny stanu wilgotności stosuje się metody pośrednie z użyciem sond (badania sondażowe) lub bezpośrednie, po dokonaniu odkrywek w kominie (badania główne). Niezbędne są również badania chemiczne [6].

Problem związany z nadmierną retencją wilgoci (wilgotność masowa $>4\%$) występuje w popularnych obecnie ociepleniach budynku. Dużą rolę odgrywają właściwości fizyko-mechaniczne powierzchni przegród budowlanych. Parametry te mają także wpływ na zdolność do przyjmowania brudu, a nawet na wartość odczynu pH powierzchni. Korzystne są wartości $\text{pH} > 10,5$. Brud gromadzony na powierzchni zawiera znaczne ilości składników odżywczych, a gromadzi się tym bardziej intensywnie, im bardziej powierzchnia ma chropowatą teksturę. Tekstura taka sprzyja również retencji wody. Z tego też względu tynki chropowate, tzw. baranki, sprzyjają tworzeniu się brudu, ale i glonów, porostów, grzybów pleśniowych, a nawet mchów. Ciemna barwa elewacji sprzyja pochłanianiu dużej ilości ciepła. Fakt ten powoduje, że budynki z ociepleniem zewnętrznym powinny mieć ciemniejsze i pastelowe barwy [5]. Badania stanu zawilgocenia można wykonywać metodami pośrednimi, a jedynie przy dużej zawartości związków chemicznych w tynku stosować należy metody bezpośrednie.

Podsumowanie i wnioski

Wykonywanie badań wilgotności w budynkach wymaga dużej sumienności badawczej, znajomości warunków wodno-gruntowych, historii awarii występujących w budynku i znajomości technologii procesów budowlanych. Po wykonaniu badań niezbędna jest analiza wpływu różnych czynników, m.in. temperatury i rodzaju związków chemicznych niesionych przez wodę, na otrzymane wyniki. Przy dużym zasoleniu (XA2, XA3) należy do badań wilgotności stosować metody bezpośrednie, szczególnie w okresie wysychania przegród budowlanych. W celu uzyskania określonej wartości gwarantowanej wilgotności masowej niezbędna jest statystyczna ocena wyników badań. W badaniach pośrednich należy stosować krzywe regresyjne związane z określonym materiałem przegród budowlanych, temperaturą powietrza i zasoleniem przegród. Jest to szczególnie ważne w obiektach zabytkowych. Podczas pomiarów należy korzystać z mierników wilgotności renomowanych firm, które mają sprawdzone laboratoryjnie zależności regresyjne.

Istnieje wiele metod umożliwiających obiektywne określenie wilgotności masowej materiałów i przegród budowlanych. Przy dużym zawilgoceniu budynku najbardziej miarodajne są wyniki uzyskiwane zarówno przy stosowaniu bezpośrednich, jak i pośrednich metod pomiaru, jednak w przypadku krystalizacji soli wyniki uzyskane podczas stosowania metod pośrednich są błędne.

Do badania wilgotności przegród (szczególnie w przyziemiu) pomocna może być metoda karbidowa, ale wówczas gdy w przegrodzie stężenie siarczanów, chlorków i azotanów kwalifikuje środowisko do klasy ekspozycji najwyższej XA2 wg PN-EN 206+A1:2016.

Metody pośrednie – pojemnościowa i opornościowa mogą być stosowane tylko w środowisku o klasie ekspozycji XA1 i gdy stężenie jonów Cl^- i SO_4^{2-} jest mniejsze od $0,1\%$, a jonów NH_4^+ mniejsze od $0,03\%$. W przypadku wyższego zasolenia przyrządy pomiarowe wskazywać będą na dużą lub maksymalną wilgotność masową, mimo praktycznie małej wilgotności przegród.

Przyrządy pomiarowe powinny mieć indywidualne krzywe regresji, które należy sporządzać osobno dla środowisk o określonych grupach stężeń soli i rodzaju soli i osobno dla wody bez zanieczyszczeń chemicznych. Krzywe regresji muszą odnosić się do określonej temperatury. W przegrodach budowlanych obiektów zabytkowych mamy do czynienia z materiałami o charakterze historycznym i w takich przypadkach należy sporządzać indywidualne krzywe regresji dla materiału historycznego i określonego miernika wilgotności. Bezskrytyczne korzystanie z fabrycznych krzywych regresji lub tabel regresyjnych może prowadzić niekiedy do dużych niedokładności pomiarowych, gdyż najczęściej nie ujmują one wpływu zasolenia, albo też sporządzone są dla materiałów o nieco innych właściwościach fizycznych i innej dyspersji wyników badań niż te, z którymi mamy do czynienia.

W przyziemiu pomiary zaleca się wykonywać na siatce punktów rozmieszczonych w odległości $1,0 - 2,0$ m na długości i $0,5$ m na wysokości przegrody budowlanej i przeprowadzać zarówno badania powierzchniowe (sondażowe), jak i wgłębne (badania zasadnicze). Pomiary wilgotności posadzek należy wykonywać na siatce $1,0 \times 1,0$ m i zagęszczać ją w pobliżu centrum oraz na skraju zawilgocenia.

Literatura

- [1] Badawska Halina, Władysław Danilecki, Maciej Mączyński. 1974. *Ochrona budowli przed korozją*. Warszawa.
- [2] Karyś Jerzy. 2018. „Problemy w obiektach budowlanych po powodzi oraz sposoby ich rozwiązywania”. *Materiały Budowlane* 549 (5): 57 – 60. DOI: 10.15199/33.2018.05.18
- [3] Magot Cezariusz, Maciej Rokieli. 2014. *Sposoby wykonywania izolacji wtórnych i osuszanie budynków*. Ochrona przed wilgocią i korozją biologiczną w budownictwie. Warszawa. s. 248.
- [4] Matkowski Zygmunt, Adam Kowalski. 2013. *Problemy związane z projektowaniem i wykonywaniem hydroizolacji w pomieszczeniach mokrych i nieckach basenowych*, seria: Monografie Polskiego Stowarzyszenia Mykologów Budownictwa, nr 12, Wrocław, s. 176.
- [5] Orłowski Marcin, Zygmunt Orłowski. 2013. *Metody nieniszczące w diagnostyce konstrukcji drewnianych*, seria: Monografie Polskiego Stowarzyszenia Mykologów Budownictwa, nr 12, Wrocław, s. 210.
- [6] Wieczorek Grzegorz. 2002. *Korozja zbrojenia inicjowana przez chlorki lub karbonatyzację otuliny*. Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław, s. 158.

Przyjęto do druku: 24.02.2020 r.