

Jerzy Jasieńko, Zygmunt Matkowski

Zasolenie i zawilgocenie murów ceglanych w obiektach zabytkowych – diagnostyka, metodyka badań, techniki rehabilitacji

1. Wstęp

Większość murowanych z cegły obiektów zabytkowych w Polsce, w wyniku braku odpowiednich izolacji przeciwwodnych i przeciwwilgociowych, wykazuje obecnie objawy nadmiernego zawilgocenia. Celem działań konserwatorskich i rewaloryzacyjnych w takich obiektach jest utrzymanie budowli w odpowiednim stanie technicznym, a w przypadku obiektów mocno zniszczonych ich remont z uwzględnieniem walorów, jakie w przeszłości posiadały wraz z modernizacją przystosowującą do współczesnych wymagań.

Wykonanie prawidłowego zabezpieczenia budowli przed działaniem wody ma istotne znaczenie zarówno z uwagi na walory użytkowe obiektu, jego trwałość, jak też ze względów ekonomicznych. Procesy korozyjne prowadzące do destrukcji elementów budowli rozpoczynają się i intensyfikują pod wpływem dużego zawilgocenia i zasolenia murów. Przed przystąpieniem do wykonania odpowiednich zabezpieczeń przeciwwilgociowych i przeciwwodnych w obiekcie należy wykonać specjalistyczne badania wilgotności i jej rozkładu oraz rodzaju i stężenia soli w murze. Wyniki tych badań są pomocne przy ocenie przyczyn uszkodzeń oraz powinny być podstawą do wyboru odpowiedniej metody zabezpieczenia oraz sposobu postępowania z nadmiernym zasoleniem.

2. Przyczyny i skutki nadmiernego zawilgocenia i zasolenia murów

Główną przyczyną zawilgocenia ścian w obiektach zabytkowych jest brak izolacji przeciwwilgociowych. W przeszłości nie wykonywano w ogóle izolacji poziomych murów, a izolacje pionowe wykonywano poprzez oblepienie zewnętrznych, pio-

nowych powierzchni murów gliną. W Polsce dość częstym sposobem zabezpieczania murów było wykonanie ścianki ekranującej umożliwiającej odparowanie wilgoci z dolnej części murów. Natomiast zamiastką izolacji poziomej było wykonywanie dolnych fragmentów murów z kamienia na zaprawie wapiennej z dodatkami organicznymi, np. białka. Typowe, w rozumieniu współczesnym, izolacje poziome murów zaczęto wykonywać na terenie Polski dopiero w latach dwudziestych XX wieku.

W przypadku braku izolacji przeciwwilgociowych stopień zawilgocenia murów zależy od wielu czynników, między innymi od: ukształtowania terenu, usytuowania budynku, rodzaju i uwarstwienia gruntów w otoczeniu i pod obiektem, poziomu swobodnej wody gruntowej, poziomu posadowienia budynku, jak również od właściwości fizyko-chemicznych materiałów, z których wykonane są ściany. Podciąganie kapilarne wody w murach może sięgać kilku metrów ponad poziom terenu.

Zbyt duże zawilgocenie powoduje obniżenie wytrzymałości na ściskanie zarówno cegły jak i zaprawy, szczególnie zaprawy wapiennej, oraz wpływa na zmniejszenie trwałości murów i wpływa na pogorszenie warunków eksploatacyjnych w budynku. Woda zgromadzona w murach stwarza niekorzystny mikroklimat w pomieszczeniach, pogarsza właściwości termoizolacyjne przegród, przyczynia się do stopniowej destrukcji muru, odspajania tynków i powłok malarskich. Duża wilgotność ścian oraz duża wilgotność powietrza wewnątrz pomieszczeń, podwyższona także w wyniku braku odpowiedniej wentylacji, sprzyja rozwojowi grzybów domowych i pleśniowych, mających negatywny wpływ na zdrowie użytkowników budynków.

Dodatkowe obniżenie trwałości murów występuje wówczas, gdy dużemu zawilgoceniu towarzy-

Praca dopuszczona do druku po recenzjach

szy duże zasolenie. W obiektach zabytkowych duży problem stanowią zazwyczaj szkodliwe sole, gromadzące się w murach w wyniku zachodzącego przez długi czas transportu kapilarnego. Obecność soli w murach powoduje zwiększenie zdolności higroskopijnego wchłaniania wilgoci. Wzrost zawilgocenia murów wskutek sorpcji wilgoci z powietrza może być w przypadku mocno zasolonych murów porównywalny z zawilgoceniem spowodowanym podciąganiem kapilarnym wody z gruntu. Ilość wilgoci pobierana z powietrza zależy od rodzaju i stężenia soli w murze oraz wilgotności względnej powietrza.

Szkodliwe oddziaływanie soli, głównie chlorków, azotanów i siarczanów, objawia się wykwitami, przebarwieniami oraz krystalizacją soli na powierzchni murów. Proces krystalizacji powoduje zwiększenie objętości soli, przez co w murze powstają naprężenia rozciągające powodując destrukcję murów wskutek wytworzenia ciśnienia krystalizacji, hydrostatycznego ciśnienia krystalizacji, ciśnienia hydratacji oraz ciśnienia osmotycznego.

3. Badania zawilgocenia i zasolenia murów

W Polsce badania wilgotności murów przeprowadza się stosując metodę tradycyjną suszarkowo-wagową oraz metody nieniszczące. Metoda suszarkowo-wagowa uważana jest za metodę podstawową. W celu pobrania próbek z wnętrza ściany wykonuje się odwierty wiertłem koronkowym np.

o średnicy 50 lub 80 mm lub zwykłym wiertłem o średnicy np. 20 mm i następnie pobiera się próbki za pomocą przecinaka rurowego. W trakcie pobierania próbek należy zwrócić szczególną uwagę, aby nie wysuszyć próbki ciepłem powstałym w trakcie wiercenia. Dlatego najczęściej używa się wiertarek udarowych, wolnoobrotowych. Pobrane próbki zamyka się w szczelnych pojemnikach i dostarcza do laboratorium. W warunkach laboratoryjnych określa się masę próbek w stanie zawilgoconym oraz masę próbek po wysuszeniu w temperaturze 105°C do stałego ciężaru. Wilgotność masową (oznaczaną jako U_m lub W_m) określa się ze wzoru:

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

gdzie: m_w – masa próbki zawilgoconej [g],
 m_s – masa próbki suchej [g].

Wilgotność masowa jest w Polsce podstawowym parametrem charakteryzującym zawilgocenie materiału. Dokładne sprecyzowanie rodzaju mierzonej wilgotności jest ważne także ze względu na różnice w wykształceniu osób, biorących udział w procesie osuszania obiektów. Często się zdarza, że osoby wykonujące osuszanie są z wykształcenia chemikami, elektronikami, elektrykami itp. i niektóre pojęcia interpretują inaczej niż inżynierowie budowlani. Ponadto, osoby z firm zagranicznych często mają kłopoty ze zrozumieniem pojęć wilgotności określanych wg polskich norm, gdyż w ich krajach pojęcia te są inaczej definiowane.

TABELA 1

Grupa metod	Nazwa metody	Mierzony parametr
Metody chemiczne:	– metoda wskaźnikowa	zmiana zabarwienia papierka wskaźnikowego pod wpływem zawilgocenia materiału
	– metoda karbidowa (znana pod nazwą CM)	ciśnienie acetyleny (powstałego w wyniku reakcji karbidu z wodą) w pojemniku hermetycznym
Metody fizyczne: Metody elektryczne:	– metoda elektrooporowa	zmiana oporu elektrycznego materiału w wyniku zmiany zawilgocenia
	– metoda dielektryczna	zmiana stałej dielektrycznej materiału w wyniku zmiany zawilgocenia
	– metoda mikrofalowa	tłumienie mikrofal przechodzących przez zawilgocony materiał
Metody jądrowe:	– metoda neutronowa	ilość neutronów spowolnionych w wyniku zderzeń z atomami wodoru
	– metoda prześwietlania promieniowaniem γ	zmiana natężenia promieniowania γ po przejściu przez badany materiał

W Polsce używanych jest też wiele metod pozwalających określić wilgotność w sposób nieniszczący [4]. Ogólny podział metod najczęściej stosowanych przedstawiono w tabeli 1.

W praktyce zwykle stosowane są metody: CM, elektrooporowa i dielektryczna. Rzadziej stosuje się do badań „in situ” metodę mikrofalową i neutronową.

Najczęściej stosowane mierniki elektryczne wymagają skalowania, bowiem zależności korelacyjne między wskazaniem miernika a wilgotnością masową zależą od wielu innych własności materiału, np. składu chemicznego, porowatości, struktury porowatości, rodzaju i stężenia soli.

Z doświadczeń autorów wynika, że najbardziej wiarygodne wyniki daje tradycyjna metoda suszarkowo-wagowa. Jednak w metodzie tej szczególnie uwagę należy przykładac do sposobu pobrania próbek. Nie powinno pobierać się zwiercin uzyskiwanych w trakcie wykonywania otworów wiertarką udarowo-obrotową. W czasie wiercenia końcówka wiertła nagrzewa się i następuje proces odparowania wody. Spadek wilgotności masowej z tego powodu (wg badań autorów) może dochodzić do 0,5-1,5% i uzależniony jest on od zawartości wody w próbce, szybkości wiercenia i ilości obrotów wiertarki. Dlatego próbki powinny być pobierane ręcznie, za pomocą „dorników” rurowych wkładanych we wcześniej wykonany odwiert.

Określanie zawilgocenia materiałów za pomocą urządzenia zwanego wago-suszarką jest tak samo dokładne jak w tradycyjnej 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.

Metodą, która w krajach zachodnich jest szeroko stosowana, 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 zbicie 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, z odpowiednich tablic możemy określić wilgotność materiału. Metoda ta jest w miarę dokładna, ale w zastosowaniach stosunkowo droga, ze względu na duży koszt fiolek z karbidem.

Jednak w niektórych przypadkach wyniki z tej metody odbiegają od wyników uzyskanych metodą suszarkowo-wagową. Z doświadczeń autorów oraz danych literaturowych [1] wynika, że w przypadku małego zawilgocenia próbek ceglanych wyniki uzyskiwane metodą karbidową są zbyt niskie. Obrazuje to tabela 2.

Stosując mierniki elektryczne (elektrooporowe, dielektryczne) należy pamiętać, że ich dokładność jest mniejsza od dokładności metod wymienionych wyżej, a wyniki pomiaru uzależnione są też od innych cech badanego materiału (np. rodzaju i stężenia soli). Dlatego też, wyniki uzyskane za pomocą tych mierników należy traktować jako jakościowe, a nie ilościowe. Można zwiększyć dokładność pomiarów tych urządzeń, posługując

TABELA 2

Porównanie wyników badań wilgotności otrzymanych metodą suszarkowo-wagową i karbidową (CM) [1]

Rodzaj materiału	Metoda pomiaru	Wilgotność masowa u [%]					Uwagi
cegła	suszarkowo-wagowa	0.9	1.5	2.1	2.6	3.0	wg badań autorów
	karbidowa (CM)	0.2	0.7	1.5	1.9	2.2	
zaprawa cementowa	suszarkowo-wagowa	1.8	2.7	3.5	4.6	7.8	
	karbidowa (CM)	0.6	1.5	2.3	3.1	5.6	
zaprawa wapienna	suszarkowo-wagowa	0.6	2.0	3.3	4.5		
	karbidowa (CM)	0.6	2.0	3.3	4.5		

się wyznaczonymi wcześniej krzywymi skalowania. Można wówczas dobrać odpowiednią krzywą skalowania dla danego miernika i materiału z grupy tzw. „hipotetycznych” krzywych skalowania. W tym celu należy w kilku miejscach pomiarowych (w co najmniej sześciu) określić wskazanie miernika i pobrać próbkę do określenia wilgotności metodą suszarkowo-wagową. Mając do dyspozycji sześć par wyników (X – wskazanie miernika, U_m – wilgotność masowa określona metodą suszarkowo-wagową) można postawić hipotezę, że dana krzywa jest reprezentatywna dla danego miernika i materiału i hipotezę tę należy zweryfikować. Przyjmuje się, że hipoteza będzie zweryfikowana pozytywnie, jeśli wartość średniego względnego odchylenia kwadratowego $\nu_k \geq 12,0\%$. Wartość ν_k oblicza się ze wzoru:

$$\nu_k = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left(\frac{u - u_h}{u_h} \right)^2} \times 100 \%$$

gdzie:

- n – liczba pobranych z obiektu próbek,
- U_m – wilgotność masowa próbek określona metodą suszarkowo-wagową,
- U_{mh} – wilgotność masowa próbek obliczona na podstawie założonej krzywej skalowania.

Jeśli ten warunek jest spełniony, można krzywą skalowania wykorzystać do określenia wilgotności na podstawie wskazania danego miernika.

W przypadku mierników, które mają wskazanie podane bezpośrednio w procentach wilgotności masowej, można to wskazanie traktować jako wielkość niezależną X i dalej postępować zgodnie z wyżej opisaną procedurą. Ewentualnie można skorygować odczytaną miernikiem wilgotność mnożąc tę wartość przez współczynnik korygujący c obliczony ze wzoru:

$$c = \frac{\bar{u}}{u_h}$$

gdzie:

- \bar{u} – średnia arytmetyczna wilgotności próbek pobranych z obiektu (określonych metodą suszarkowo-wagową),

\bar{u}_h – średnia arytmetyczna wilgotności określonych miernikiem.

Przedstawiona wyżej procedura znacznie zwiększa dokładność pomiarów, a uzyskane wyniki czynniki bardziej wiarygodnymi.

W literaturze polskiej przyjmuje się następujący podział ze względu na zawilgocenie murów:

- $U_m = W_m = 0-3\%$ – ściany o dopuszczalnej wilgotności,
- $U_m = W_m = 3-5\%$ – ściany o podwyższonej wilgotności,
- $U_m = W_m = 5-8\%$ – ściany średnio zawilgocone,
- $U_m = W_m = 8-12\%$ – ściany mocno zawilgocone,
- $U_m = W_m > 12\%$ – ściany mokre.

Badania rodzaju i stężenia soli w murach.

W celu sprawdzenia rodzaju i stężenia soli występujących w murach przeprowadza się odpowiednie badania. W pierwszej kolejności wykonuje się, przy zastosowaniu odpowiednich odczynników chemicznych, analizę jakościową pozwalającą na stwierdzenie obecności w poszczególnych próbkach: chlorków, siarczanów, azotanów i azotynów.

Następnie dokonuje się oceny stopnia szkodziwości soli na podstawie ilości soli zawartych w próbkach, najczęściej na podstawie zaleceń opracowanych w Niemczech przez WTA (patrz tabela 3).

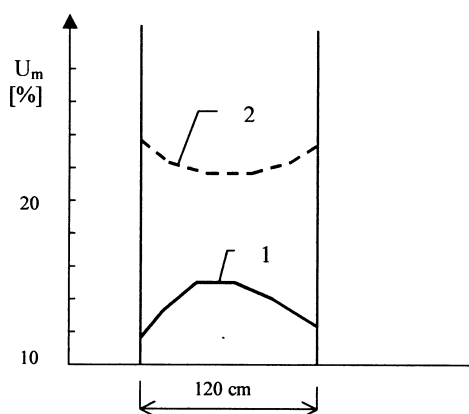
4. Przykładowe wyniki badań zawilgocenia i zasolenia murów ceglanych w obiektach zabytkowych w Polsce

Poniżej przedstawiono przykładowe wyniki badań wilgotności masowej murów w wybranych obiektach zabytkowych w Polsce, które zostały zalane wodą w czasie powodzi, jaka miała miejsce w Polsce w lipcu 1997 r.

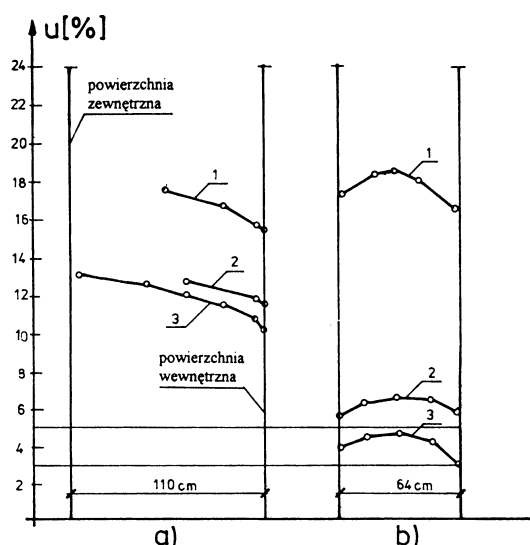
W tabeli 4 przedstawiono przykładowe wyniki badań rodzaju i stężenia soli w murze piwnicznym zabytkowego budynku z XIX w. we Wrocławiu.

TABELA 3
Ocena stopnia zasolenia na podstawie stężenia soli wg [5]

Stopień zasolenia	Mały	Średni	Wysoki
Chlorki [%M]	< 0,03	0,03-0,10	> 0,10
Azotany [%M]	< 0,05	0,05-0,15	> 0,15
Siarczany [%M]	< 0,10	0,10-0,25	> 0,25
Sole łącznie [%M]	< 0,10	0,10-0,25	> 0,25



Rys. 1. Przykładowy rozkład wilgotności masowej U_m na grubości ceglanej ściany wewnętrznej w krypcie kościoła NMP na Piasku we Wrocławiu, 1 – przed powodzią, 2 – bezpośrednio po powodzi



Rys. 2. Rozkład wilgotności masowej U_m na grubości ścian w zabytkowym budynku z XIX w. we Wrocławiu, zalanym wodami powodziowymi w lipcu 1997 r.: a) ściana zewnętrzna grubości 110 cm, bez izolacji poziomej i pionowej, b) ściana wewnętrzna grubości 64 cm, 1 – październik 97 r. (przed osuszaniem), 2 – marzec 98 r. (po zabiegu osuszania, 3 – październik 98 r. (wysychanie naturalne między marcem a październikiem 98 r.)

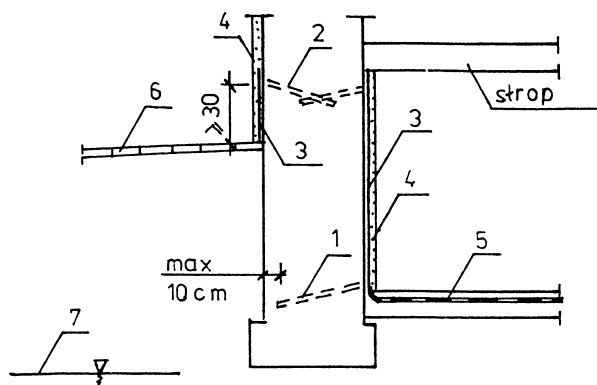
TABELA 4. Wyniki badań zawartości soli w murach

L.p.	Punkt pomiarowy (wysokość miejsca pobrania próbki nad posadzką)	Odległość od wewnętrznej powierzchni ściany	pH	Stężenie soli		
				chlorki	siarczany	azotany
1.	1 (50 cm)	0-4 cm	6.0	0.025 %	0.200 %	–
2.		4-7 cm	6.0	0.019%	0.300 %	0.010%
3.		7-15 cm	6.0	0.030%	0.200%	0.015%
4.		20-25 cm	6.0	0.025 %	0.150%	–
5.		35-40 cm	6.0	0.083 %	0.250 %	0.010%
6.		50-55 cm	6.0	0.018%	0.250%	0.010%
7.		60-65 cm	6.0	0.027 %	0.250 %	0.020 %

5. Przykładowe rozwiązania zabezpieczeń przeciwwilgociowych w obiektach zabytkowych usytuowanych w zabudowie zwartej

W przypadku wykonywania zabezpieczeń przeciwwilgociowych w obiektach usytuowanych w zabudowie zwartej podstawowym problemem jest brak dostępu do poszczególnych ścian budynków. Często też, z uwagi na sieci instalacyjne biegnące przy ścianach lub intensywny ruch kołowy i pieszy na ciągach komunikacyjnych w pobliżu budynku, nie można odkopać zewnętrznej powierzchni murów i w związku z tym nie można wykonać prawidłowej izolacji pionowej na zewnętrznej powierzchni ścian. W takich przypadkach zabezpieczenie przeciwwilgociowe można wykonać zgodnie wariantem 1 lub 2.

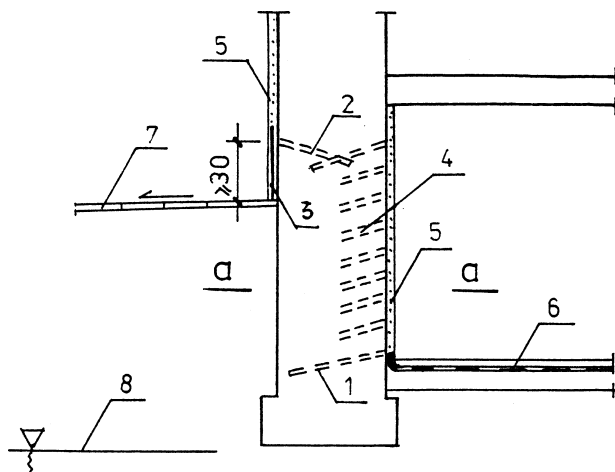
Wariant I – pokazany na rysunku 3 – polega na wykonaniu przeciwwilgociowych przepon poziomo-



Rys. 3. Wariant I wykonania zabezpieczenia przeciwwilgociowego w przypadku niemożności odkopania ścian piwnic, 1 – przepona pozioma wykonana na poziomie posadzki piwnic, 2 – przepona pozioma wykonana na wysokości ok. 30 cm ponad poziomem chodnika, 3 – izolacja pionowa z mineralnej wyprawy wodoszczelnej, 4 – tynk renowacyjny, 5 – izolacja podposadzkowa, 6 – istniejący chodnik, 7 – poziom wody gruntowej

mych iniekcijnymi metodami chemicznymi i wykonaniu na powierzchni wewnętrznej ścian izolacji pionowej z mineralnych wypraw uszczelniających, tzw. „szlamów” uszczelniających.

Wariant II – pokazany na rysunku 4 – polega na wykonaniu od wewnątrz odwiertów na całej powierzchni ścian piwnicznych i hydrofobizację lub uszczelnienie środkami chemicznymi struktury muru (takie rozwiązanie jest proponowane m.in. w szeroko stosowanej w Polsce metodzie termoiniekcji).



Rys. 4. Wariant II wykonania zabezpieczenia przeciwwilgociowego w przypadku niemożności odkopania ścian 1 – przepona pozioma wykonana na poziomie posadzki piwnic, 2 – przepona pozioma wykonana na wysokości ok. 30 cm ponad poziomem chodnika, 3 – izolacja pionowa, 4 – powierzchniowa przepona przeciwwilgociowa (odwierty do iniekcji wykonywane od strony wewnętrznej), 5 – tynk renowacyjny, 6 – izolacja podposadzkowa, 7 – istniejący chodnik, 8 – poziom wody gruntowej

6. Podsumowanie

Wykonanie skutecznego zabezpieczenia przeciwwilgociowego i przeciwwodnego w obiektach istniejących, w których brak jest odpowiednich izolacji lub istniejące izolacje są nieskuteczne, jest jednym z najtrudniejszych i najbardziej kosztownych

problemów, jakie spotyka się podczas robót remontowych. W szczególności dotyczy to wykonania izolacji poziomych w murach z cegły, kamienia, a zwłaszcza w murach mieszanych ze szczelinami i pustkami wypełnionymi różnego rodzaju zasypkami. Podobnie, wykonanie skutecznej izolacji pionowej w przypadku braku możliwości odkopania zewnętrznej powierzchni ściany jest także trudne, bowiem wykonanie szczelnej powłoki tylko od strony wewnętrznej jest w wielu przypadkach niewystarczające, a nawet niepożądane. Problem zabezpieczenia wodochronnego starych, zabytkowych obiektów jest problemem podstawowym, bardzo ważnym z technicznego punktu widzenia, z jakim stykają się inwestorzy, projektanci i wykonawcy podczas remontów tych obiektów. Dlatego też przed przystąpieniem do wykonania odpowiedniego zabezpieczenia należy dokładnie poznać aktualny stan zawilgocenia i zasolenia ścian budynku. Do tego celu mogą być przydatne np. nieniszczące metody badania wilgotności materiałów budowlanych.

7. Literatura:

- [1] Adamowski J., Matkowski Z., „Ocena skuteczności osuszania ścian murowanych”, *Materiały budowlane*, nr 4, 1999, s. 131-137.
- [2] Czerner O., „Studia nad romańską i gotyką architekturą Kościoła NMP na Piasku we Wrocławiu”, *Biuletyn Historii Sztuki*, Warszawa, nr 3/4, 1962.
- [3] Czerner O., „Problemy związane z anastylozą lektorium w Kościele Mariackim we Wrocławiu”, *Zeszyty Naukowe Pol. Wroc.*, nr 174, 1968.
- [4] Matkowski Z., Pawlonka A., „Analiza nieniszczących metod badania wilgotności betonu”, praca doktorska, Politechnika Wrocławska, 1982.
- [5] WTA 4-7-97 (projekt) Beurteilung von Mauerwerk. Mauerwerkdiagnostik.
- [6] Reul H., „Handbuch Bautenschutz, Bausaniierung. Letzfaden für die Sanierungsbranche”. Rudolf Muller, Koln, 1991.