dr inż. Zygmunt Matkowski[1)]
ORCID: 0000-0003-4571-2821

Badanie wilgotności i zasolenia murów oraz sklepień ceramicznych w historycznym obiekcie militarnym

Testing dampness and salinity in walls and ceramic vaults in a historical military facility

DOI: 10.15199/33.2021.03.03

Streszczenie. W artykule zawarto opis stanu technicznego, wyniki badań wilgotności masowej murów oraz sklepień ceramicznych w podziemnym historycznym obiekcie militarnym. Badania wykonano za pomocą tradycyjnej metody grawimetrycznej i metody nieniszczącej dielektrycznej. Zamieszczono również wyniki badań rodzaju i stężenia soli w murach. Na podstawie analizy uzyskanych rezultatów oceniono stopień zawilgoceniu i zasolenia murów. Uzyskane wyniki badań zostały wykorzystane na etapie projektowania zabezpieczeń przeciwwilgociowych.
Słowa kluczowe: obiekt militarny; mury i sklepienia ceramiczne; zawilgocenie; badania wilgotnościowe.

Abstract. The paper presents a description of the technical condition as well as moisture content by weight test results concerning ceramic vaults in a historical military facility. The tests were performed by means of the traditional gravimetric method and the dielectric non-destructive method. Furthermore, the tests results determining the salt types and their concentration in the walls were presented. The obtained test results were taken into account while designing damp-proofing.

Keywords: military facility; walls and ceramic vaults; dampness; moisture content tests.

Analizowany obiekt to Bastion Ceglarski we Wrocławiu wzniesiony w 1585 r. (fotografie 1 i 2). Z [1, 2] wynika, że od XIV w. znajdowały się tam umocnienia Bramy Ceglarskiej prowadzącej z Nowego Miasta w kierunku wschodnim. Bastion Ceglarski miał murowane kazamaty, później dobudowano kawalierę (małą, narożnikową wieżyczkę obserwacyjną) i rawelin (wysunięty fragment fortyfikacji, często na planie trójkąta, zwykle chroniący bastiony). Niezmieniony obiekt przetrwał niemal do 1807 r., kiedy rozpoczęto likwidację murów miejskich. Podczas przebudowy terenu częściowo zasypano kazamaty, a te, które pozostały, zamieniono na magazyny i zlikwidowano urządzenia militarne. Cały obszar przekształcono w malownicze wzgórze widokowe, które włączono do Promenady Staromiejskiej. W czasie oblężenia Wrocławia w 1945 r. w kazamatach urządzono lazaret polowy. W latach 80. XX wieku rozpoczęto pracę nad osuszeniem bastionu oraz częściową jego rekonstrukcją, ale przerwano je. Obecnie obiekt jest niedostępny dla turystów ze względu na zaplanowany remont kapitalny i rewaloryzację.

[1)] Politechnika Wrocławska; Wydział Budownictwa Ogólnego i Wodnego; zygmunt.matkowski@pwr.wroc.pl

Fot. 1. Widok wzgórza z Bastionem Ceglarskim
Photo 1. The view of the hill with Brick Bastion

Fot. 2. Wejście do Bastionu Ceglarskiego od strony zachodniej
Photo 2. The western entrance to Brick Bastion

Stan techniczny zawilgoconych murów

Na podstawie przeprowadzonych wizji lokalnych, szczegółowych oględzin, odkrywek, pomiarów i badań makroskopowych dokonano oceny ogólnej stanu technicznego murów i sklepień ceglanych bastionu. Stwierdzono m.in.:

- ubytki i wykruszenia zaprawy w spoinach (fotografia 3a);
- ubytki powierzchniowe i złuszczenia cegieł (fotografia 3a);
- silne zawilgocenie ścian (fotografia 3b);
- krystalizację soli na powierzchni murów zarówno wewnątrz pomieszczeń, jak i na zewnątrz obiektu (fotografia 3b);
- stalaktyty z wykrystalizowanego $CaCO_3$ zwisające z łuków i sklepień (fotografia 4a);
- rozwój grzybów pleśniowych na powierzchni murów (fotografia 3b);
- rozwój mchów i porostów na ścianach oraz sklepieniach (fotografia 4b).

Uszkodzenia świadczą o nadmiernym i długotrwałym zawilgoceniu ścian i sklepień, których stan techniczny określono jako „nieodpowiedni".

a)

b)

Fot. 3. Przykładowy widok: a) lica ściany zewnętrznej; b) powierzchni wewnętrznej ścian i sklepień porażonych przez grzyby pleśniowe

Photo. 3. An example of the view of: a) external facings of the external wall; b) the internal wall and vaults stricken with mould fungi

a)

b)

Fot. 4. Przykładowy widok: a) stalaktytów wapiennych zwisających z łuku ceglanego; b) nadmiernie zawilgoconego sklepienia, na którym stwierdzono rozwój mchów i porostów

Photo 4. An example of the view of: a) limestone stalactites hanging down from a brick arch; b) an excessively damp vault in which moss and lichen are visible

Wyniki badań

Badania wilgotności masowej ceglanych ścian piwnic i parteru przeprowadzono dwiema metodami:

- tradycyjną suszarkowo-wagową;
- nieniszczącą bazującą na pomiarach właściwości dielektrycznych materiału [3].

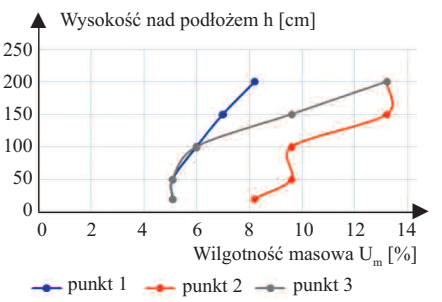
Pomiary wykonano na wysokości 20, 50, 100, 150 i 200 cm od poziomu posadzki. Wartość wilgotności podano w % wagowych (masowych). W [4 ÷ 6] przyjęto następującą **klasyfikację murów ze względu na stopień ich zawilgocenia U_m:**

- 0 ÷ 3% – ściany o dopuszczalnej wilgotności;
- 3 ÷ 5% – ściany o podwyższonej wilgotności;
- 5 ÷ 8% – ściany średnio zawilgocone;
- 8 ÷ 12% – ściany mocno zawilgocone;
- > 12% – ściany mokre.

Z analizy wyników badań wilgotności masowej murów ceramicznych w Bastionie Ceglarskim we Wrocławiu wynika, że ich wilgotność jest zróżnicowana, ale na ogół są średnio i mocno zawilgocone, a miejscami mokre:

- ściana południowa na poziomie pierwszej kondygnacji – 5,1 ÷ 8,2%;
- mury w pomieszczeniu – 5,3 ÷ 17,5%;
- filary zewnętrzne – 2,1 ÷ 9,6%;
- tunele – 3,1 ÷ 9,0%.

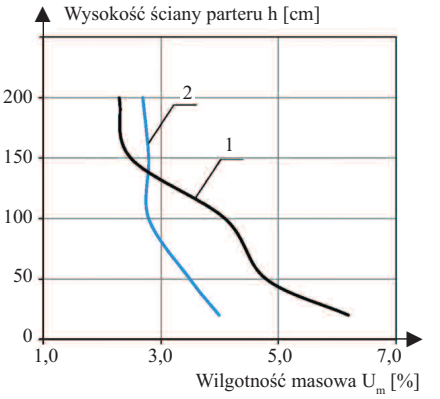
Przykładowe wyniki rozkładu wilgotności na wysokości ścian piwnic i parteru pokazano na rysunkach 1 i 2.



Rys. 1. Rozkład wilgotności masowej na wysokości ściany piwnicy w Bastionie Ceglarskim

Fig. 1. The moisture content by weight distribution at the wall level in the Brick Bastion

Z rysunku 1 wynika, że wilgotność murów zwiększa się wraz z wysokością, a na rysunku 2 jest odwrotnie. Można wnioskować, że głównym źródłem zawilgocenia ścian i sklepień w bastionie była woda przedostająca się przez nieszczelny „dach zielony". Przeprowadzono również **badania jakościowe i półilościowe rodzaju oraz stężenia soli w murach** (tabela 1). Tło w poszczególnych miejscach w tabeli 1 odpowiada kolorowi oceny stężenia soli z tabeli 2, gdzie podano minimalne i maksymalne stężenie soli oraz stężenie graniczne przyjmowane w literaturze [5, 6].



Rys. 2. Rozkład wilgotności masowej muru ceglanego na wysokości ściany parteru w Bastionie Ceglarskim, w którym główną przyczyną zawilgocenia jest podciąganie kapilarne wody: 1 – ściana zewnętrzna; 2 – ściana wewnętrzna

Fig. 2. The moisture content by weight distributions in the brick wall at the ground floor level in the facility in which dampness is mainly caused by the water capillary rise: 1 – the external wall; 2 – the internal wall

Pobrane do badań próbki cegły i zaprawy wysuszono, a następnie roztarto na drobną mączkę w moździerzu. W celu przygotowania roztworu podstawowego umieszczono 5 g roztartego materiału w zlewce, do której dolano 50 ml wody destylowanej. Po wymieszaniu i odczekaniu do chwili osadzenia się stałego materiału, roztwór przefiltrowano przez lejek z sączkiem. Uzyskany klarowny roztwór stanowił roztwór podstawowy pobierany do kolejnych oznaczeń w ilości ok. 5 g. Analiza jakościowa wykonana z zastosowaniem odpowiednich odczynników chemicznych pozwoliła na stwierdzenie obecności chlorków, siarczanów i azotanów w poszczególnych próbkach.

Wartości graniczne stężenia soli szkodliwych w przypadku budowli są następujące:

- chlorki – 0,150%;
- siarczany – 0,500%;
- azotany – 0,150%.

Wyniki badań wykazują, że stężenie soli w murach jest niewielkie. Bardzo

Tabela 1. Wyniki badań rodzaju i stężenia soli
Table 1. Test results of the salt types and their concentration

Nr miejsca pomiarowego	Miejsce pomiarowe	Wysokość nad poziomem posadzki [cm]	Głębokość od wewnętrznej powierzchni ściany [cm]	Rodzaj soli i ich stężenie [%]				
				chlorki	siarczany	azotany	azotyny	razem
pierwsza kondygnacja								
1	południowa ściana oporowa	120	0 – 1	0,250	0,100	0,125	0	0,475
			1 – 2	0,250	0,100	0,125	0	0,475
2	powierzchnia zewnętrzna filara środkowego	120	0 – 1	0,100	0,100	0	0	0,200
			1 – 2	0,050	0,100	0,05	0	0,155
3	pilaster środkowy	120	0 – 1	0,500	0,050	0,250	0,050	0,850
4	ściana zewnętrzna	100	0 – 1	0,100	0,100	0	0	0,200
przyziemie								
11	filar środkowy	140	0 – 1	0,100	0,150	0,05	0	0,255
12	ściana północna, filar środkowy	100	0 – 1	0,100	0,100	0,05	0,0	0,250
13	filar środkowy zewnętrzny	100	0 – 1	0,100	0,100	0,05	0	0,250
14	tunel T1 – ściana zachodnia	120	0 – 1	0,100	0,100	0,05	0	0,250
15	ściana wschodnia	50	0 – 2	0,500	0,100	0,250	0	1,550

Tabela 2. Ocena stopnia zasolenia na podstawie stężenia soli [% wag.]
Table 2. Evaluation of salinity based on the salt concentration [in the weight %]

Stopień zasolenia	Poziom niski	Poziom średni	Poziom wysoki
Chlorki [% M]	< 0,2	0,2 – 0,5	> 0,5
Siarczany [% M]	< 0,5	0,5 – 1,5	> 1,5
Azotany [% M]	< 0,1	0,1 – 0,3	> 0,3

mało jest siarczanów, ale więcej chlorków oraz azotanów i ich stężenie odpowiada niskiemu i średniemu poziomowi.

Wnioski i zalecenia z badań

Wilgotność masowa murów ceglanych w Bastionie Ceglarskim jest zróżnicowana, ale w większości miejsc duża. Główną przyczyną nadmiernego zawilgocenia murów jest przesiąkanie wody przez grunt znajdujący się na stropach i sklepieniach. Podciąganie kapilarne wody z gruntu od dołu istnieje, ale ma mniejsze znaczenie. Stężenie siarczanów, chlorków, azotanów i azotynów w murach jest małe, natomiast bardzo duże jest węglanu wapnia, który w niektórych miejscach całkowicie powleka lico muru, utrudniając odparowanie wody z jego wnętrza i tworzy miejscami stalaktyty zwisające z łuków i sklepień.

W pierwszej kolejności należy zabezpieczyć sklepienia i stropy przed wodą przedostającą się od góry. Zaproponowano następujące sposoby:

■ **wariant I** – odkopanie murów bastionu i oczyszczenie ich zewnętrznej powierzchni; wykonanie izolacji poziomej na stropach i sklepieniach oraz izolacji pionowej na powierzchni zewnętrznej ścian; izolację może stanowić warstwa mikrozaprawy wodoszczelnej typu np. Aquafin 2K (lub innej o tych samych właściwościach) o grubości 4 mm; należy ją osłonić folią kubełkową, polistyrenem ekstrudowanym oraz folią filtracyjną, a następnie odtworzyć nasyp z warstwy żwiru grubości 10 cm oraz warstwy humusu stanowiącego podłoże roślin; uwaga: przed wykonaniem izolacji przeciwwodnej należy wyprofilować spadek umożliwiający odpływ wody z górnej powierzchni izolacji; jest to wariant najbardziej pracochłonny i kosztowny;

■ **wariant II** – zebranie gruntu z całej powierzchni bastionu na głębokość ok. 50 cm, wyprofilowanie spadków, ułożenie warstwy piasku grubości ok. 10 cm, a następnie folii stosowanej do izolacji obiektów przysypanych gruntem, warstwy filtracyjnej ze żwiru, folii zabezpieczającej tę warstwę przed drobnymi frakcjami oraz warstwy humusu stanowiącego podłoże dla roślin; ten wariant zabezpiecza przed wnikaniem wody od góry, ale nie przewiduje wykonania izolacji pionowej na zewnętrznej powierzchni ścian;

■ **wariant III** – wykonanie izolacji przeciwwodnej od góry przez wtłaczanie betonitu w grunt; jest to najprostsze rozwiązanie, a jednocześnie najłatwiejsze i najprawdopodobniej najtańsze, ale stosując je, nie mamy żadnej kontroli nad poprawnością ułożenia bentonitu; należy się liczyć z możliwością wielokrotnego wtłaczania bentonitu w miejscach niedostatecznie doszczelnionych.

Analizując możliwość zabezpieczenia murów od dołu przed podciąganiem kapilarnym, stwierdzono, że przy tak grubych przegrodach skuteczność wykonania przepony poziomej byłaby problematyczna i z tego względu nie zaleca się jej. Natomiast wskazane są takie zabiegi, jak: uporządkowanie spływu wód opadowych z terenu przyległego do obiektu oraz z terenu zielonego usytuowanego nad obiektem; wykonanie odpowiednich gzymsów; kapinosów; koron murów itd. oraz odpowiednie zabezpieczenia lica murów sposobami konserwatorskimi.

Fotografie: Autor

Literatura

[1] https://pl.wikipedia.org.

[2] https://visitwroclaw.eu.

[3] Hoła J., J. Sikora i inni. 2010. *New Tomographic method of brickwork damp identification.* Wrocław. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej.

[4] Hoła J., Zygmunt Matkowski. .2003. *Materiały Budowlane* 11: 11.

[5] Hoła J., Zygmunt Matkowski. 2009. Awarie budowlane: zapobieganie, diagnostyka, naprawy, rekonstrukcje: XXIV Konferencja naukowo-techniczna, Szczecin-Międzyzdroje, 2009, Wydawnictwo Uczelniane Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego: 73.

[6] Rokiel M. 2006. *Poradnik. Hydroizolacje w budownictwie*. Warszawa. Dom Wydawniczy Medium.

Przyjęto do druku: 26.02.2021 r.