

CIEPLNO-WILGOTNOŚCIOWA OCENA PRZEGRÓD ZEWNĘTRZNYCH O BUDOWIE NIEJEDNORODNEJ - ZABYTKOWE ŚCIANY CEGLANE

Sebastian KRAWCZYŃSKI*, Dariusz HEIM**, John GRUNEWALD*

* *Syracuse University, Department of Mechanical and Aerospace Engineering
The Building Energy and Environmental Systems Laboratory
151 Link Hall 13244 NY Syracuse, USA, e-mails: skrawczy@syr.edu, jgrunewa@syr.edu*
** *Politechnika Łódzka, Katedra Fizyki Budowli i Materiałów Budowlanych
Al. Politechniki 6,90-924 Łódź, e-mail: dariusz.heim@p.lodz.pl*

Streszczenie: W pracy opisano możliwości zastosowania sprzężonego modelu transportu ciepła i masy w przegrodach budowlanych dla potrzeb oceny cieplno-wilgotnościowej zabytkowych ścian murowanych. Przeanalizowano ściany jednowarstwowe o budowie niejednorodnej (cegła oraz spoina) pozbawionych warstwy tynków wykończeniowych. Rozważono przypadek ściany w stanie pierwotnym (spoiny wykonane z zaprawy cementowo-wapiennej) oraz po modernizacji (z wypełnieniem spoiny od zewnątrz zaprawą cementową). Zamieszczono wyniki analiz numerycznych dla przykładowego pliku danych klimatycznych oraz przy założeniu stałych (ze względu na temperaturę oraz wilgotność względną powietrza) warunków wewnętrznych.

Słowa kluczowe: modelowanie, procesy sprzężone, transport ciepła i masy, mury ceglane, budynki zabytkowe.

1. WPROWADZENIE

Problematyka właściwej ochrony murowanych obiektów zabytkowych [1] jest coraz bardziej aktualna z uwagi na rozwój inicjatyw zmierzających do ich rewitalizacji. Obecnie szczególnie cenne wydają się być dawne zespoły pofabryczne, które ze względu na atrakcyjne położenie, często w ścisłych centrach współczesnych miast, stanowią doskonałą bazę dla nowo powstających form działalności. Jednym z największych poligonów doświadczalnych w zakresie renowacji zabytkowych obszarów i obiektów przemysłowych stała się w ostatnim okresie Łódź, bowiem tereny dawnych zakładów zajmują nadal około 20% centrum miasta. Spektakularnym przykładem rewitalizacji ostatnich lat jest zlokalizowany na 27 hektarach ścisłego centrum Łodzi zespół „Manufaktura”. W ramach prowadzonych prac konserwatorskich odnowiono m.in. 50 000 m² ceglanych elewacji nadając dawnemu „imperium” przemysłu bawełnianego nowe funkcje i nową jakość (rys. 1).



Rys. 1. Manufaktura dzisiaj – widok ogólny.
Fig. 1. Manufaktura today – general view.

Fakt realizowania w mieście Łodzi największej europejskiej rewitalizacji oraz jej niecodzienna skala skłaniają do zwrócenia szczególnej uwagi na problemy fizyko-budowlane w odnawianych obiektach. Są one bowiem istotne zarówno dla inwestora i przyszłych użytkowników (ze względu na ewentualne procesy destrukcyjne oraz koszty utrzymania obiektów) jak i służby konserwatorskie mające na uwadze kulturowe dziedzictwo miasta. Podstawowe problemy pojawiające się w modernizowanych obiektach wynikają z ich nowego sposobu eksploatacji. Przez około 100 lat budynki były wykorzystywane bowiem zgodnie ze swoim produkcyjnym przeznaczeniem. Po roku 1989 zanikała ich pierwotna funkcja, zaś opuszczone i nie ogrzewane obiekty szybko niszczały lub stawały się miejscami ogólnej grabieży. W tym okresie nasiliły się także procesy destrukcyjne wynikające z negatywnego wpływu środowiska zewnętrznego na niezabezpieczone elementy budynków. Pierwszym wyzwaniem stał się więc z czasem w ratowaniu pozostałości niezniszczonej tkanki budowlanej polegającej głównie na pracach konser-

wacyjnych i zabezpieczających. Ważne decyzje dotyczyły także zmiany charakterystyki cieplno-wilgotnościowej przegrody w tym rozważenie jej docieplenia od strony wewnętrznej, zabezpieczenie zewnętrznych powierzchni przed wnikaniem wody opadowej oraz uzupełnienie ubytków a często nawet całych, brakujących elementów. Warto w tym miejscu zaznaczyć, że istotnie zmienił się kontekst środowiskowy, zarówno ten wewnętrzny jak i zewnętrzny. Wraz z wprowadzeniem do budynków nowych funkcji zmieniły się zarówno temperatury wewnętrzne, strumienie wewnętrznych zysków ciepła oraz wilgoci jak i ilość i sposób wymiany powietrza. Jednak zmiany nie dotyczą jedynie środowiska wewnętrznego lecz także zewnętrznego. Prowadzone prace wiążą się bowiem ze zmianami w układzie urbanistycznym a tym samym ze zmianami w klimacie lokalnym, dostępem promieniowania słonecznego, przewietrzaniem itp. Wielkość zaburzeń w przepływie powietrza jakie mogą zostać wywołane zmianami w układzie zabudowy przeanalizowano i opisano na przykładzie projektu „Manufaktura” m.in. w pracy [2].

2. MODERNIZACJA ŚCIAN CEGLANYCH

Zewnętrzne ściany nośne budynków fabrycznych wznoszone były z cegieł ceramicznych pełnych o wymiarach 27×13×6 cm ze spoiną grubości 1 cm. Co jedną lub dwie kondygnacje zwiększano grubość ściany o ½ cegły tak, że w poziomie parteru ściany miały nawet 83 cm grubości (trzy cegły). Przekrój przez przykładowe ściany przed i po przeprowadzeniu modernizacji pokazano na rysunku 2. Wszystkie ściany bez względu na grubość nie spełniają obecnych wymagań izolacyjności cieplnej. Z uwagi na wymagania konserwatorskie nie możliwe było docieplenie ich od strony zewnętrznej. Ze względu na oryginalny charakter projektowanych wnętrz, częstym życzeniem architektów było pozostawienie ich naturalnej ceglanej struktury. W związku z tym zabiegi modernizacyjne zostały ograniczone do następujących działań:

- oczyszczenia zewnętrznego lica ściany poprzez mechaniczne usunięcie warstwy zewnętrznej o grubości pozwalającej uzyskać gładką powierzchnię,
- uzupełnienie brakujących cegieł oraz brakujących fragmentów lub całości spoin od strony zewnętrznej,
- zabezpieczenia zewnętrznej powierzchni muru środkami impregnującymi.



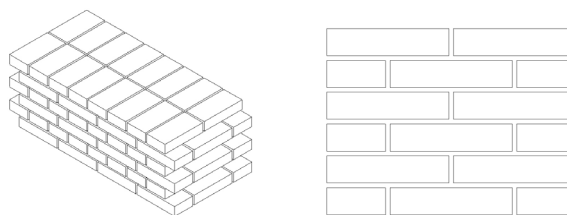
Rys. 2. Ściany ceglane przed (lewa) i po (prawa) modernizacji.
Fig. 2. Brick walls before (left) and after (right) modernization.

Jednym z istotnych błędów popełnianych podczas renowacji tego typu obiektów, o których wspomniano także w pracy [1] jest „zamknięcie” od strony wewnętrznej tradycyjnych, paroprzepuszczalnych spoin cementowo-wapiennych przez wypełnienie ich zaprawą cementową. Niemalże znaczenia ma także nowa funkcja zmodernizowanych obiektów i okres ich użytkowania. Są to obiekty użytkowane zarówno w ciągu dnia jak i w nocy jednak często, w przeciwieństwie do dawnej funkcji przemysłowej o zmiennych w ciągu doby parametrach powietrza wewnętrznego – wyposażone np. w systemy sterowania temperaturą wewnętrzną. Znajdują się w nich pomieszczenia o dużych zyskach ciepła jawnego ale też takie, w których pojawiają się okresowo znaczne zyski w postaci ciepła utajonego.

3. SFORMUŁOWANIE PROBLEMU

Przeprowadzane obecnie renowacje obiektów ceglanych z uzupełnieniem i wypełnieniem od zewnątrz spoin zaprawą cementową zmienia rozkład „ścieżek” transportu wilgoci w przegrodzie co może prowadzić do destrukcji elementów murowych. Celem niniejszej pracy jest przeanalizowanie od strony cieplno-wilgotnościowej wybranej ściany ceglanej poddawanej oddziaływaniu środowiska zewnętrznego. Otrzymane wyniki określą wpływ wybranych sposobów modernizacji zabytkowych ścian ceglanych na zmianę ich stanu wilgotnościowego oraz w przyszłości pozwolą ocenić możliwe zagrożenia.

Do analizy wybrano ścianę zewnętrzną o tradycyjnym wiązaniu pospolitym z dwiema wzajemnie przeplatającymi się warstwami grubości 55 cm. Widok 3D oraz przekrój pionowy przedstawiono na rysunku 3. Grubość spoiny przyjęto równą 1 cm.



Rys. 3. Ściana przyjęta do obliczeń.
Fig. 3. The analysed wall.

Przeanalizowano jeden przypadek cegły historycznej (*historic brick* [3]) oraz dwa warianty rozwiązania spoiny:

- na całości spoina cementowo-wapienna oraz
- od zewnątrz na głębokości 2cm spoina cementowa, zaś na pozostałej części cementowo-wapienna.

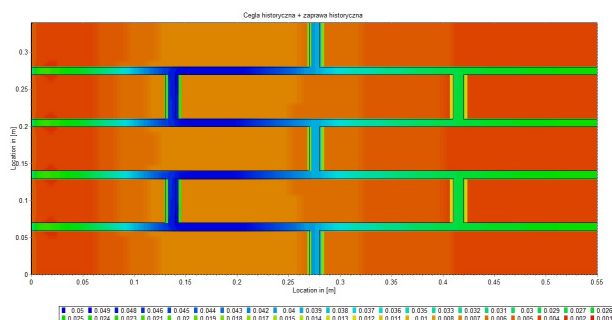
Przez cały okres analiz założono stałe warunki wewnętrzne z temperaturą na poziomie 20°C oraz wilgotnością względną 55%. Do analizy przyjęto mur wstępnie zawil-

gocony, co w sposób realny oddaje jego stan wilgotnościowy w danym dniu roku przyjętym za początek analizy.

4. WYNIKI ANALIZ

W analizie wykorzystano sprzężony model ciepło-wilgotnościowy transportu masy i energii w niejednorodnych przegrodach budowlanych. Model i oparty na nim program symulacyjny został sprawdzony i zweryfikowany dla podobnego przypadku, masywnej ściany ceglanej, w Rijksmuseum w Amsterdamie [3]. Przyjęty model przegrody pozwolił przeanalizować zarówno zachowanie się istniejącej ściany (przed modernizacją) pod wpływem zmiennych parametrów środowiska zewnętrznego jak i porównać tradycyjne rozwiązanie ze ścianą poddaną modernizacji z zastosowaniem cementowej fugi na zewnętrznej stronie spoiny.

Przykładowy rozkład wilgotności 2D (cegła oraz zaprawa tradycyjna) pokazano na rysunku 4 dla przekroju pionowego muru. Ciemny kolor spoin w 1/3 grubości muru patrząc od strony zewnętrznej oznacza koncentrację wilgotności pochodzącą z opadów atmosferycznych. Zawartość wilgotności w elementach ceramicznych znajdujących się na podobnej głębokości jest w tym okresie około pięciokrotnie niższa niż w spoinie. Świadczy to o istotnym udziale spoiny w transporcie wilgotności w głąb muru poddanego okresowemu oddziaływaniu deszczu.



Rys. 4. Przykładowy wynik 2D dla ściany ceglanej wykonanej z cegły historycznej na zaprawie cementowo-wapiennej.

Fig. 4. Exemplar 2D result for historical brick wall and lime-cement plaster.

Na rysunkach 8÷11 pokazano historie zmian zawartości wody w 1 m^3 dla wybranych fragmentów cegły i zaprawy. Wybrano punkty na głębokościach odpowiednio 1 cm oraz 5,5 cm licząc od strony zewnętrznej. Analizę przeprowadzono dla pełnego roku kalendarzowego jednak ze względu na ograniczoną liczbę miejsca zamieszczono jedynie wyniki dla okresu styczeń-sierpień. Na szczególną uwagę zasługuje porównanie zawartości wilgotności w cegle i spoinie w głębszych partiach muru (rys. 9 i 11)

oraz różnice pomiędzy rodzajem użytej zaprawy w strefie brzegowej muru (rys. 10 i 12).

5. WNIOSKI I PODSUMOWANIE

Niniejsze opracowanie jest pierwszą, podjętą przez autorów próbą wykorzystania sprzężonego modelu transportu ciepła i wilgoci w analizie istniejących murów ceglanych obiektów zabytkowych. Przedstawione wyniki dotyczą pewnego szczególnego przypadku, w którym założono stabilne warunki wewnętrzne (ze względu na temperaturę i wilgotność względną powietrza). Pozwalają one ocenić poszczególne rozwiązania materiałowe pod kątem ciepło-wilgotnościowego zachowania się przegrody oraz określić ścieżki przepływu wilgoci.

W przyszłości planowane są dalsze analizy przy założeniu różnego sposobu sterowania parametrami wewnętrznymi oraz różnymi sposobami użytkowania budynku. Analizy te mają posłużyć ocenie zagrożenia przez zmienne warunki klimatu lokalnego na zachowanie się przegród poddanych renowacji. Dla potrzeb szczegółowych analiz opracowany zostanie też odpowiednich zestaw danych klimatycznych opracowany na podstawie wieloletnich danych meteorologicznych.

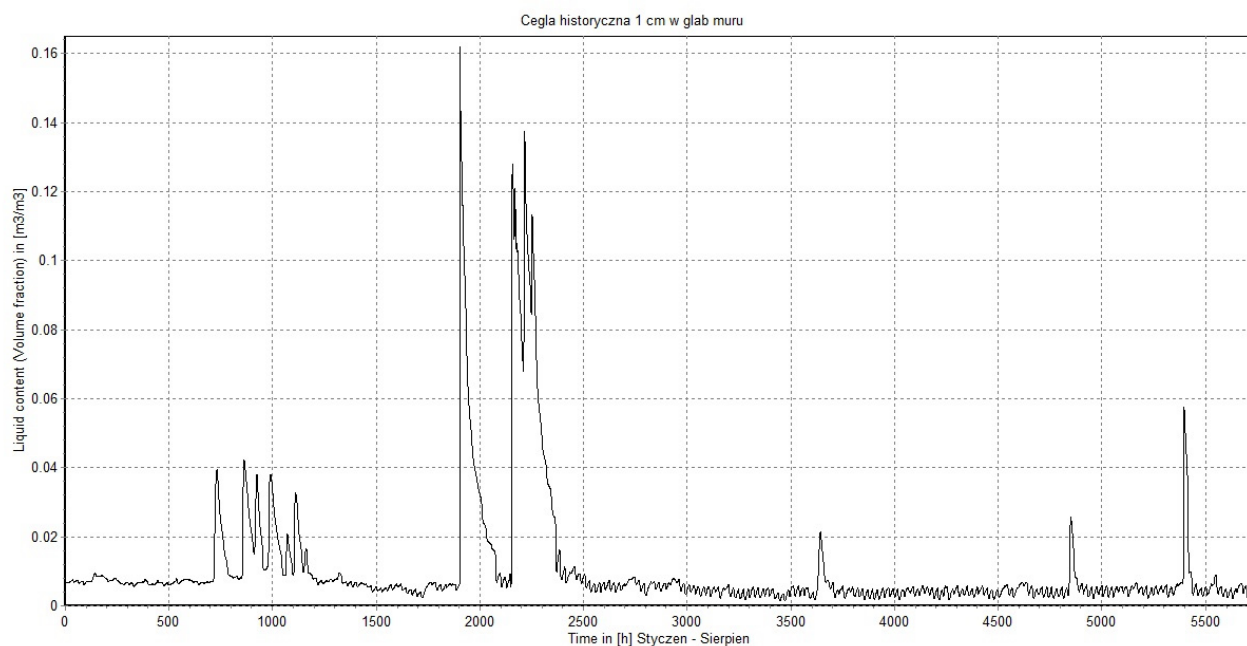
HYGROTHERMAL EVALUATION OF COMPOSITE, EXTERNAL PARTITION – HISTORIC BRICK WALLS

Summary: The Building Physics problems in some parts and elements of revitalized historical buildings plays the significant role in their future energy-efficiency and maintenance. The results presented here show the hygrothermal processes happened in renovated brick masonry walls. Presented method will be useful in prediction of possible damages processes and estimation of rainwater transport inside the wall.

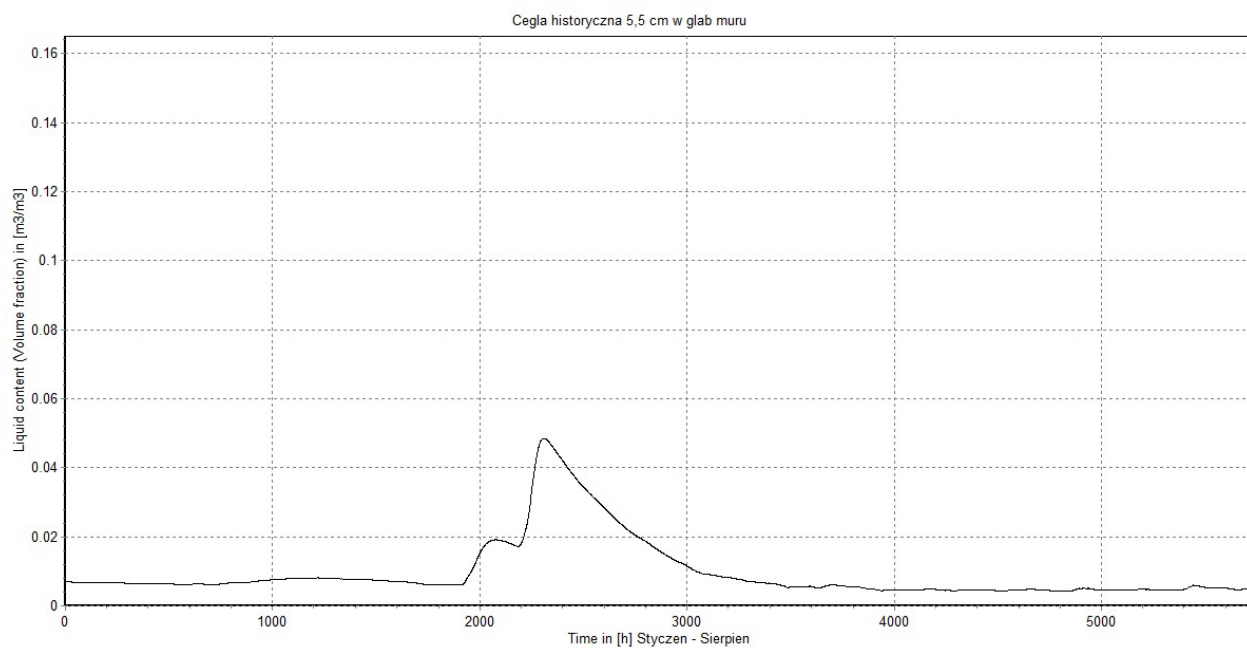
Literatura

- [1] Kubik J. *Trwałość zabytków. Studia z zakresu Fizyki Budowli*. Sekcja Fizyki Budowli KILiW PAN, Łódź 2006.
- [2] Klemm K., Heim D. Wind flow aspects in the renovated, post-industrial urban area. *Abstracts of World Sustainable Building Conference SB05*, Tokyo 2005, s.273
- [3] Grunewald J., Ruisinger U., Häupl P. The Rijksmuseum Amsterdam – hygrothermal analysis and dimensioning of thermal insulation. *Research in Building Physics and Building Engineering 2006*, Taylor and Francis Group, London, pp. 345-352.

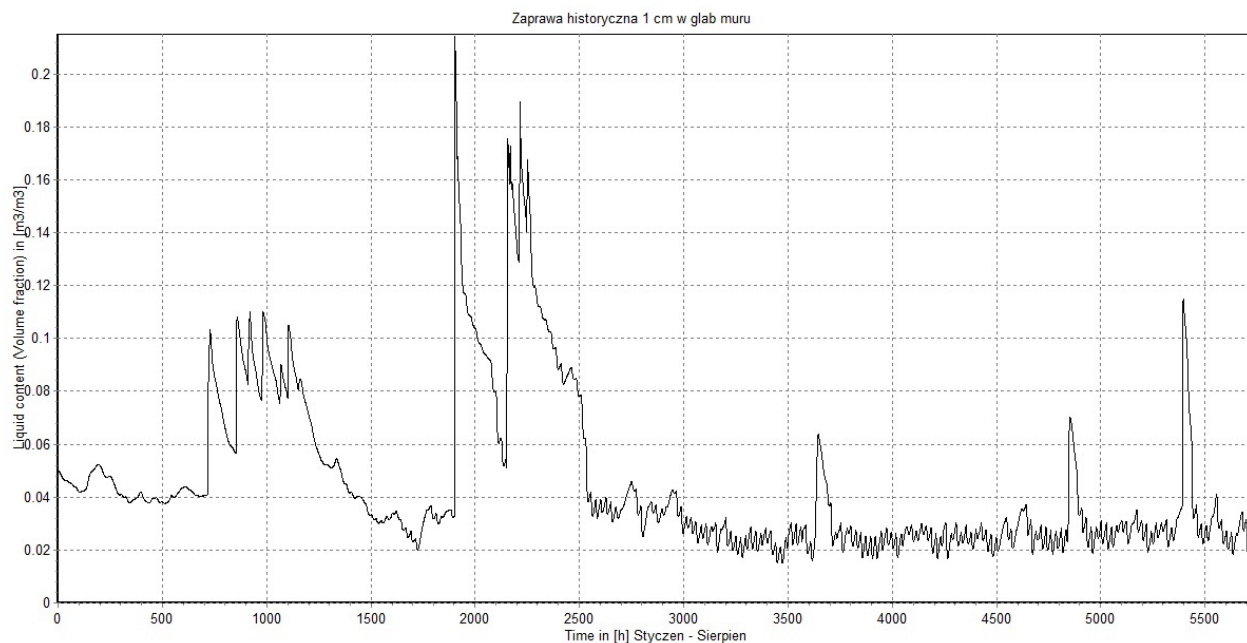
Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2006-09, jako projekt badawczy rozwojowy.



Rys. 8. Historia zmian zawartości wody [m³/m³] w cegle na głębokości 1 cm od strony zewnętrznej od stycznia do sierpnia.
Fig. 8. Liquid content history [m³/m³] in brick 1 cm from external surface from January to August.



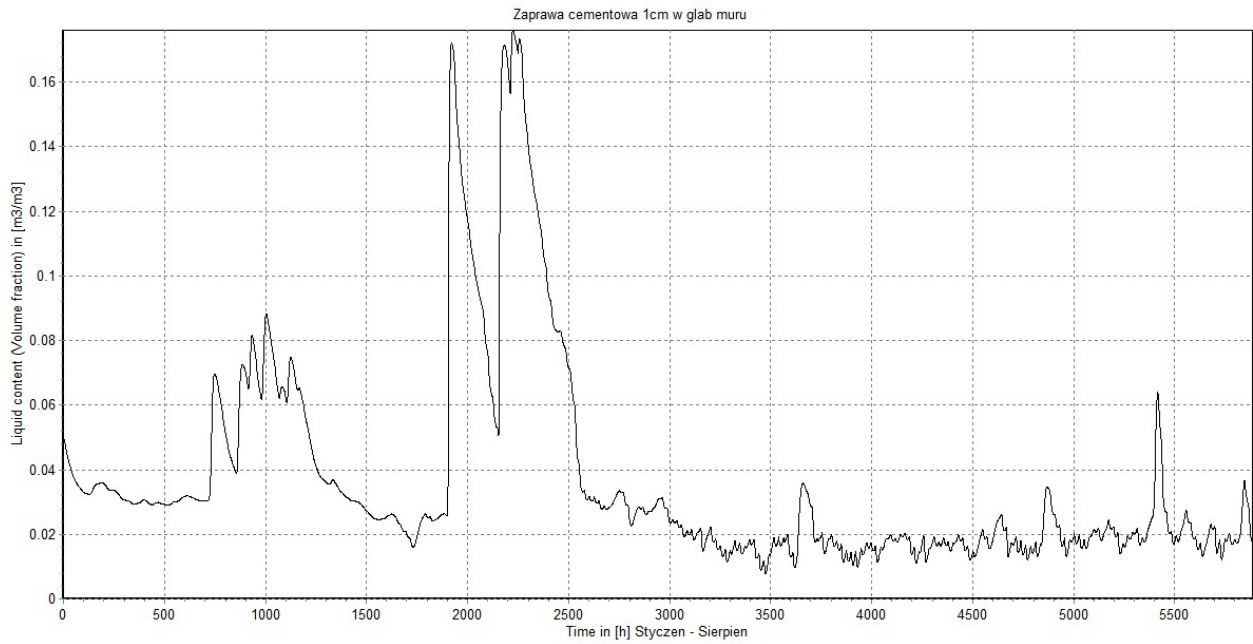
Rys. 9. Historia zmian zawartości wody [m³/m³] w cegle na głębokości 5,5 cm od strony zewnętrznej od stycznia do sierpnia.
Fig. 9. Liquid content history [m³/m³] in brick 5,5 cm from external surface from January to August.



Rys. 10. Historia zmian zawartości wody [m³/m³] w spoinie cem-wap. na głębokości 1 cm od strony zew. od stycznia do sierpnia.
 Fig. 10. Liquid content history [m³/m³] in lime-cement plaster 1 cm from external surface, from January to August.



Rys. 11. Historia zmian zawartości wody [m³/m³] w spoinie cem-wap. na głębokości 5,5 cm od strony zew. od stycznia do sierpnia.
 Fig. 11. Liquid content history [m³/m³] in lime-cement plaster 5,5 cm from external surface, from January to August.



Rys. 12. Historia zmian zawartości wody [m³/m³] w spoinie cementowej na głębokości 1 cm od strony zew. od stycznia do sierpnia.
Fig. 12. Liquid content history [m³/m³] in cement plaster 1 cm from external surface, from January to August.



Rys. 13. Historia zmian zawartości wody [m³/m³] w spoinie cementowej na głębokości 5,5 cm od strony zew. od stycznia do sierpnia.
Fig. 13. Liquid content history [m³/m³] in cement plaster 1 cm from external surface, from January to August.