

dr inż. Paweł Krause^{1*)}

dr inż. Agnieszka Szymanowska-Gwiżdż¹⁾

prof. dr hab. inż. Jan Ślusarek¹⁾

Konsekwencje użytkowe nieprawidłowego remontu tarasu – badania i symulacje numeryczne

The consequences of an invalid utility repair terrace – research studies and numerical simulations

DOI: 10.15199/33.2019.03.12

Streszczenie. W artykule opisano wpływ uszkodzeń tarasu na zawilgocenie ścian zewnętrznych. Przeprowadzone pomiary zawilgocenia poszczególnych fragmentów ściany zewnętrznej wykonanej z cegły ceramicznej wykazały zróżnicowanie ich wartości w zależności od lokalizacji. Pomierzona wilgotność masowa została wykorzystana do wykonania symulacji obliczeniowych zmiany zawilgocenia ściany w czasie, zrealizowanych w programie WUFI.

Słowa kluczowe: tarasy; zawilgocenie; wilgotność masowa; badanie wilgotności; program WUFI.

Abstract. The article describes problems related to the influence of terrace damage on the moisture dampness of external walls. Conducted measurements of moisture of individual fragments of the external wall made of ceramic bricks showed variation in their value depending on the location. Measured mass moisture were used to perform computational simulations of the moisture change of the wall over time, carried out in the WUFI program.

Keywords: terraces; moisture; water content; humidity test; WUFI software.

Współczesne rozwiązania tarasów bazują w dużym stopniu na najnowszych osiągnięciach technicznych, technologicznych i materiałowych zarówno w odniesieniu do elementów konstrukcyjnych, układu warstw, jak i obróbek blacharskich, systemów odwodnienia i mocowania balustrad. Zagadnienia dotyczące stanu technicznego tarasów związane są zarówno z budynkami o charakterze zabytkowym, jak również nowo wznoszonymi [1, 2, 3, 4]. W przypadku zmiany zawilgocenia konstrukcji ściennych mogą być one diagnozowane metodami nieniszczącymi i niszczącymi. Metody nieniszczące bazują na pomiarze poziomu zawilgocenia materiałów w warstwach zewnętrznych. Natomiast badania niszczące, związane z pobraniem próbek materiałów budowlanych do badań laboratoryjnych, umożliwiają określenie zawartości wody w strukturze badanych materiałów.

W artykule przedstawiono przebieg procesu wysychania ściany zewnętrznej zawilgoconej wskutek uszkodzenia sąsiadującego tarasu w przypadku różnej wilgotności masowej składowych przegród budowlanej. Zróżnicowane wy-

niki pomiarów uzyskane na przykładowym budynku otrzymane metodami niszczącymi i nieniszczącymi umożliwiły określenie przebiegu procesu ich odsychania w czasie.

Opis i wyniki badań

W latach 2013 – 2014 wykonany został remont pomieszczeń i elewacji w budynku użyteczności publicznej zlokalizowanym na terenie Górnego Śląska, wybudowanym przed II wojną światową. Podczas prac zrealizowano także prace remontowe trzech tarasów, które uwzględniały wykonanie nowych nawierzchni wraz z zamontowaniem obróbek blacharskich. W 2017 r., w związku z widocznym zawilgoceniem na wewnętrznej powierzchni ścian zewnętrznych oraz powierzchni stropów, a także występującymi wysoleniami i uszkodzeniami tynków oraz uszkodzeniami powłok zewnętrznych, wykonano oględziny i badania makroskopowe, mające na celu wskazanie przyczyn występowania zaistniałych nieprawidłowości. Dodatkowo zakres badań obejmował pomiary wilgotności masowej elementów ścian zewnętrznych metodami nieniszczącymi oraz pobranie próbek do badań laboratoryjnych. W trakcie badań niszczących, wykonanych wewnątrz budynku, zmierzono

wilgotność cegły ceramicznej pełnej stanowiącej konstrukcję ścian zewnętrznych oraz tynku wapiennego. Pomiary wilgotności masowej przeprowadzone zostały za pomocą przyrządu pomiarowego Testo 635-2 z sondą do pomiaru wilgotności materiałowej. W miejscach występowania objawów zawilgocenia, na fragmencie ściany zewnętrznej w pomieszczeniu użytkowym udostępniono fragment odsłoniętego muru ceglanego. Na powierzchni cegieł wykonano pomiary wilgotności na dwóch poziomach, tj. 20 cm i 50 cm od poziomu posadzki. Podobne pomiary przeprowadzono w innym pomieszczeniu w obrębie przylegającego tarasu, w którym użytkownicy usunęli zawilgocony tynk wewnętrzny, zastępując go nowym tynkiem nieznanego pochodzenia. Na jego powierzchni widoczne były lokalnie wysolenia oraz ślady silnego zawilgocenia.

Zawilgocenie ścian zewnętrznych zlokalizowanych w bezpośrednim sąsiedztwie tarasów spowodowane było przede wszystkim nieprawidłowościami związanymi z ich nawierzchnią. Uszkodzenia płytek ceramicznych, brak skutecznej hydroizolacji oraz nieprawidłowości w wykonaniu obróbek blacharskich, a także nieszczelności ścian na styku z posadzką gresową i obróbką-

¹⁾ Politechnika Śląska; Wydział Budownictwa

^{*)} Adres do korespondencji: pawel.krause@polsl.pl

mi blacharskimi spowodowały przenikanie wody opadowej do wnętrza budynku, skutkując postępującym zawilgoceniem ścian zewnętrznych i destrukcją elementów wykończeniowych (fotografie 1, 2). Dodatkowym problemem na powierzchni tarasu był brak prawidłowych spadków, powodujących zastoiny wody.



Fot. 1. Uszkodzenie tynku w narożu ściennym w obrębie tarasu

Photo 1. Damage to the plaster wall in the corner in the terrace

Wilgotność masowa tynku zmierzona w miejscu silnego przebarwienia i zawilgocenia ściany zewnętrznej wynosiła 14,3 – 18,6%. Po odkuciu warstwy tynku wykonano pomiary wilgotności masowej muru ceglanego, które wykazały wartość od 13,9% do 17,5%. W miejscach oddalonych o ok. 1,5 m od fragmentu zawilgoconej ściany wykonano kolejne pomiary kontrolne metodą nieniszczącą. Wilgotność masowa tynku wahała się od 3,1% do 3,9%, a wilgotność masowa ściany z cegły pełnej na zaprawie wapiennej wynosiła 4,3 – 5,2%. Pomiary wilgotności masowej za pomocą przyrządu pomiarowego Testo 635-2 z sondą do pomiaru wilgotności materiałowej wykazały średnie zawilgocenie



Fot. 2. Pęknięte płytki na tarasie w miejscu mocowania balustrady

Photo 2. Cracked tiles terrace-location fixing railings

murów z cegły ceramicznej pełnej na poziomie 15,8%, zaś tynku wapiennego 14,7%. W miejscach poza obszarem zwiększonego zawilgocenia średnia wilgotność masowa muru wynosiła 4,9%, a tynku wapiennego 3,4%. Oprócz pomiarów nieniszczących pobrano próbki materiałów do badań laboratoryjnych, które przeprowadzono metodą suszarkowo-wagową. Średnia wilgotność masowa muru z cegły ceramicznej w miejscach zawilgocenia wynosiła 9,9%, a w odległości ok. 1,5 m od zawilgoconego fragmentu 3,4%.

W celu określenia wpływu warunków początkowych wilgotności poszczególnych składowych ściany zewnętrznej na proces jej odsychania wykonano obliczenia symulacyjne za pomocą programu WUFI 2D. Program ten jest uznanym narzędziem do oceny stanu wilgotnościowego przegród oraz rozwinięciem programu WUFI Pro do obliczeń przegród płaskich w elementach 1D. Zawilgocenie poszczególnych warstw przegród określa się, uwzględniając dyfuzyjny przepływ pary wodnej, akumulację sorpcyjną wilgoci oraz ruch kapilarny. W programie WUFI 2D dyfuzja strumienia pary wodnej opisana jest zwykłym równaniem transportu w układzie współrzędnych kartezjańskich X; Y w postaci:

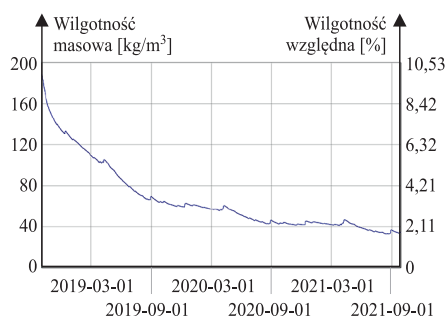
$$\frac{\partial u}{\partial \tau} = \frac{1}{\partial x} (D_w(u) \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{1}{\partial y} (D_w(u) \frac{\partial u}{\partial y}) \quad (1)$$

gdzie: D_w – współczynnik transportu cieczy zależny od rodzaju materiału oraz warunków cieplno-wilgotnościowych.

Do obliczenia zmian zawilgocenia przyjęto murowaną ścianę zewnętrzną wykonaną z cegły pełnej, grubości 38 cm, wraz z obustronnym tynkiem wapiennym. W przeprowadzonej analizie wykorzystano praktycznie tylko rodzaje materiałów, które występują w bazie danych programu. W obliczeniach cieplno-wilgotnościowych uwzględniono zależność przewodności cieplnej materiału oraz współczynnika transportu kapilarnego od jego wilgotności. Ma to szczególne znaczenie w przypadku materiałów przegród zewnętrznych, w których opór cieplny stanowi istotną część całego oporu cieplnego przegrody. Tak jest w przykładowej ścianie jednowarstwowej z cegły pełnej. Przed rozpoczę-

ciem symulacji określono dane potrzebne do obliczeń. Początkową wilgotność masową ściany z cegły pełnej określono na podstawie wyników badań metodą wagosuszarkową. Duża początkowa zawartość wody w materiale wpływa na zwiększenie jego przewodności cieplnej. Inne właściwości, w tym porowatość, gęstość, ciepło właściwe, przyjęto na podstawie danych zawartych w bazie programu WUFI 2D. Obliczenie wykonano w przypadku lokalizacji przegrody od strony zachodniej budynku, ze względu na dużą niekorzystną ilość opadów atmosferycznych. W przypadku klimatu wewnętrznego warianty obliczeń ograniczono do pomieszczeń suchych o normalnym sposobie eksploatacji i warunkach zbliżonych do typowych warunków obliczeniowych, tj. temperaturę zmieniającą się w sposób sinusoidalny od 18°C w zimie do 24°C w lecie oraz wilgotność względną powietrza zmieniającą się od 55% w okresie zimowym do 65% w okresie letnim. Wykonano badania zmiany zawartości wilgoci w przypadku dwóch wariantów. Pierwsze obliczenia dotyczyły ściany w miejscu występującego zawilgocenia, a kolejne, jako obliczenia porównawcze, wykonano dla ściany w miejscu niezawilgoconym.

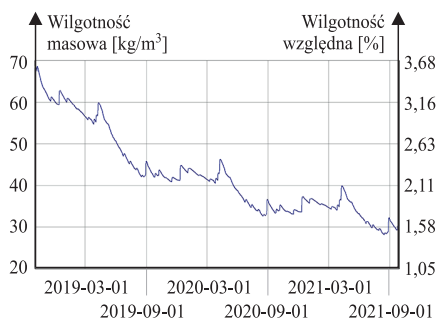
Wszystkie obliczenia dotyczyły trzech lat eksploatacji przegrody, tj. 26280 h, dla następujących warunków początkowych: start obliczeń w dniu początkowym 01.03.2019, mikroklimat początkowy $t_i = +20^\circ\text{C}$, $\phi_i = 55\%$. Wilgotność masową cegły w ścianie zawilgoconej przyjęto na poziomie 188,1 kg/m³ ($w_m = 9,9\%$), a wilgotność masową cegły w ścianie suchej – 64,6 kg/m³ ($w_m = 3,4\%$). Wyniki obliczeń modelowania jednowymiarowego uzyskane w programie WUFI przedstawiono na rysunku 1. Wilgotność masowa cegły w analizowanym okresie zmniejszyła się z 188,1 kg/m³ do 34,4 kg/m³. Największy spadek do wartości ok. 3,6% (obniżenie wilgotności o ok. 6,3%) odnotowano w okresie pierwszych 365 dni. W kolejnym roku stwierdzono obniżenie wilgotności o kolejne 1,3% do poziomu 2,3%, a trzecim roku spadek zawilgocenia cegły nie przekroczył 0,5%. Wilgotność masowa wynosiła 1,8%.



Rys. 1. Zmiana wilgotności masywnej cegły pełnej o wilgotności początkowej 9,9% w okresie 3 lat, na podstawie programu WUFI [4]

Fig. 1. Simulation results involving the changes of water content over the time of 3 years, on the basis of WUFI software. Moisture initial 9,9% [4]

Wyniki obliczeń zmiany zawartości wody w cegle pełnej zlokalizowanej poza obszarem zawilgocenia ściany zewnętrznej przedstawiono na rysunku 2. Wilgotność masowa cegły w analizowanym okresie zmniejszyła się



Rys. 2. Zmiana wilgotności masywnej cegły pełnej o wilgotności początkowej 3,4% w okresie 3 lat, na podstawie programu WUFI [4]

Fig. 3. Simulation results involving the changes of water content over the time of 3 years, on the basis of WUFI software. Moisture initial 3,4% [4]

z wartości początkowej wynoszącej 64,6 kg/m³ do 30,1 kg/m³. Największy spadek, podobnie jak w przypadku ściany zawilgoczonej o ok. 1,0% do wartości 2,4% odnotowano w okresie pierwszych 365 dni. W kolejnym roku nastąpiło obniżenie wilgotności o kolejne 0,5% do wilgotności masywnej wynoszącej 1,9%. W ostatnim roku spadek zawilgoczenia cegły nie przekroczył 0,3% (do wartości 1,68%).

Podsumowanie

Przedstawione w artykule wyniki badań wskazują na zróżnicowanie wyników pomiarów zawilgoczonej i niezawilgoczonej fragmentów ścian metodami nieniszczącymi i metodami niszczącymi. Badania zawilgoczonej cegły pełnej wykonane za pomocą miernika z sondą do pomiaru wilgotności powierzchniowej wykazały średnią wilgotność masową na poziomie 15,8%, a ściany niezawilgoczonej na poziomie 4,9%. Przeprowadzenie pomiarów laboratoryjnych na pobranych do badań próbkach cegły umożliwiły określenie jej rzeczywistej wilgotności masywnej wynoszącej odpowiednio 9,9% w przypadku ściany zawilgoczonej i 3,4% w obszarze bez oddziaływania wody wskutek uszkodzeń tarasu. Otrzymane wyniki badań wskazują na znaczne różnice pomiędzy wilgotnością badaną w obszarze przypowierzchniowym a wilgotnością materiału znajdującego się wewnątrz ściany. Na występowanie różnicy pomiarów dochodzącej do 6% ma wpływ także dokładność poszczególnych metod pomiarowych.

Przeprowadzone obliczenia numeryczne w programie WUFI 2D umożli-

wiły prognozowanie procesu odsychania ściany w okresie trzech lat. Jako dane wielkości wilgotności początkowej przyjęto wyniki uzyskane z badań laboratoryjnych metodą suszarkowo-wagową. Pomimo znacznej różnicy zawilgoczenia poszczególnych fragmentów ściany po okresie jednego roku różnica wilgotności masywnej pomiędzy zawilgoczonej i niezawilgoczonej fragmentem ściany zewnętrznej wynosi jedynie 1,2%. Po kolejnym roku różnica wynosi 0,4%, by praktycznie zaniknąć po okresie trzech lat.

Na podstawie przeprowadzonych badań i wykonanych obliczeń numerycznych stwierdzono, że pomimo dużej różnicy wilgotności masywnej fragmentów ścian w obszarach zawilgoczonej i niezawilgoczonej po okresie trzech lat stan wilgotnościowy obu analizowanych fragmentów jest zbliżony, a występujące różnice na poziomie 0,1% są praktycznie pomijalne.

Fotografie: P. Krause

Literatura

- [1] Błaszczyński Tomasz, Aldona Łowińska-Kluge. 2006. „Korrosionserscheinungen an Balkonen und Loggien – Ursachen und Vermeidung”. *Bau-technik* (10): 715 – 720.
- [2] Rokieli Maciej. 2012. *Taras i balkony. Projektowanie i warunki techniczne wykonania i odbioru robót*. Warszawa. Grupa Medium.
- [3] Ślusarek Jan. 2006. *Rozwiązania strukturalno-materiałowe balkonów, tarasów i dachów zielonych*. Gliwice. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej.
- [4] Ślusarek Jan, Paweł Krause, Agnieszka Szymanowska-Gwiżdż. „Moistening of walls caused by damage to terraces – research studies and numerical simulations”. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*; vol. 471: 1757 – 8981.

Przyjęto do druku: 04.03.2019 r.

Serdecznie dziękujemy
dr. inż. Mariuszowi Jackiewiczowi,
Prezesowi firmy VISBUD-Projekt Sp. z o.o.,
za koordynację merytoryczną bloku tematycznego
„Renowacja i modernizacja obiektów”.

Redakcja