

dr inż. Bożena Orlik-Koźdoń¹⁾

ORCID: 0000-0002-4905-3037

dr inż. Agnieszka Szymanowska-Gwiżdż¹⁾

ORCID: 0000-0001-6157-1964

dr inż. Tomasz Steidl^{1)*}

ORCID: 0000-0002-9277-1392

Remont ścian w konstrukcji muru pruskiego budynków zabytkowych z dociepleniem od strony wewnętrznej

Repair of the pruser wall of historic buildings with insulation from inside side

DOI: 10.15199/33.2020.05.03

Streszczenie. W artykule przedstawiono wybrane zagadnienia docieplania ceglanych ścian zewnętrznych i muru pruskiego od strony wewnętrznej. Zewnętrzne ściany ceglane budynków o charakterze zabytkowym, podobnie jak ściany budynków wzniesione w konstrukcji tzw. muru pruskiego, wymagają zachowania dekoracyjnych walorów fasady. Projektowanie remontu takich przegród wymaga wiedzy z dziedziny budowy takich przegród, ich stanu wilgotnościowego, wpływu stosowanych materiałów i warunków eksploatacji na prognozowane zmiany ilości wody w poszczególnych częściach ściany.

Słowa kluczowe: ściana ceglana; ściana szachulcowa; mur pruski; docieplenie od wewnątrz; prognozowanie przyrostu wody w elementach przegrody historycznej.

Abstract. The article presents some of the issues related to the thermal insulation of external brick walls and the Prussian wall from the inside. The external brick walls of historic buildings, like the walls of buildings erected in the so-called technology half-timbered buildings require the decorative qualities of the façade. Designing insulation from the inside of such walls, requires knowledge of the construction of such partitions of their moisture status of the existing part, the impact of thermal insulation material and operating conditions on the projected changes in the amount of water in individual parts of the wall.

Keywords: brick wall; Prussian wall; half-timbered brick wall; insulation from the inside; forecasting water increase in elements of the historical barrier.

Prowadzenie zabiegów remontowych i modernizacyjnych, przeprowadzanych w budynkach zabytkowych lub będących pod ochroną konserwatora zabytków, uzależnione jest od wielu czynników. W typowym projekcie remontu obiektów zabytkowych, w których remontowana jest elewacja oraz wymieniane są uszkodzone elementy konstrukcji stropu i/lub dachu, konieczne jest wykonanie:

- inwentaryzacji obiektu i sporządzenie dokumentacji cyfrowej elewacji budynku;
- projektu kolorystyki i remontu elewacji wraz z wymianą stolarki okiennno-drzwiowej;
- projektu dotyczącego wymiany pokrycia dachowego;
- projektu konstrukcji zawierającego opinie techniczną o stanie elewacji i konstrukcji dachu z możliwością remontu, wraz z niezbędnymi rozwiązaniami, wynikającymi z technologii remontu elewacji;

- ekspertyzy mykologicznej, w przypadku widocznego zawilgocenia lub zgodnie z wymaganiami konserwatora zabytków;

- badań stratygraficznych, wymaganych przez konserwatora zabytków;

- projektu architektonicznego detalu reklam dla kamienicy, wymaganego przez konserwatora zabytków w przypadku, gdy inwestor takową przewiduje;

- badań zasolenia murów;

- badań zawilgocenia, szczególnie podziemnej części budynku, których konsekwencją jest zapis o konieczności ich osuszenia i wykonaniu nowej izolacji pionowej;

- wyceny przedmiaru robót i kosztorysu inwestorskiego.

W budynkach z elewacją o charakterze zabytkowym, w przypadku których projektuje się zmianę sposobu użytkowania po wykonanym remoncie, inwestor lub architekt decyduje się na poprawę izolacyjności cieplnej ścian zewnętrznych w postaci docieplenia od strony wewnętrznej. Naszym zdaniem wszystkie działania projektowe polegające na zamianie materiałów budowlanych,

np. wymianie belek stropowych drewnianych na stalowe, zmianie budowy przegrody zewnętrznej (np. przez dołożenie warstwy termoizolacyjnej), a także zmiana sposobu użytkowania, powinny zawierać uzasadnienie dotyczące wprowadzenia takich zamian oraz wykazanie, iż nie doprowadzą one w przyszłości do niekorzystnych zmian wilgotnościowych w pozostawionej zabytkowej części obiektu.

Historyczne rozwiązania konstrukcji szkieletowych

Wśród obecnie zachowanych historycznych budynków szkieletowych dominują powstałe na przełomie XIX i XX w. Ich konstrukcja szkieletowa wykonana jest w układzie poziomych (rygiel, podwalina, oczep), pionowych (słupy) i ukośnych (zastrzały, miecze) elementów drewnianych, stanowiącym szkielet w płaszczyźnie budynku. Szkielet w połączeniu z więźbą dachową przenosi obciążenia stałe i zmienne (użytkowe). Wczesne konstrukcje szkieletowe charakteryzowało zagłębianie słupów w gruncie, co miało przeciw-

¹⁾ Politechnika Śląska; Wydział Budownictwa
*) Adres do korespondencji: tomasz.steidl@polsl.pl

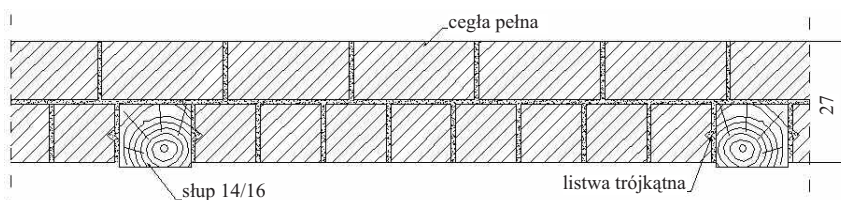
działać deformacjom pod obciążeniem wiatrem. Wraz z zastosowaniem podwaliny, jako elementu usztywniającego słupy, pojawić się musiały dodatkowe usztywnienia przyoczpowe w postaci mieczy i zastrzałów. Różne sposoby usztywnienia węzłów tworzyły często misterne kratownice, świadczące o wyczuciu cieśli i znajomości pracy statycznej konstrukcji.

Wypełnienie szkieletu ścian cegłą tworzy tzw. mur pruski. W Polsce technologia ta zdobyła popularność głównie w XIX w. na terenach ówczesznie należących do Prus. Obecnie takie budynki występują przede wszystkim na Pomorzu, Warmii i Mazurach, a także dość powszechnie na Śląsku i pochodzą głównie z przełomu XIX i XX w. (fotografia 1).

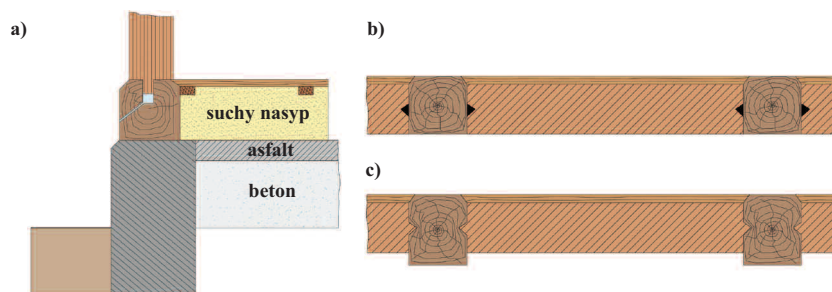


Fot. 1. Odremontowany budynek mieszkalny wykonany w technologii szkieletowej (szachulec)
Fot. A. Gwiżdż
Photo 1. A residential building made in framework technology (half-timbered house)

W literaturze dotyczącej historycznego budownictwa szkieletowego [7] zwraca się uwagę na konieczność zamocowania słupów w podwalinie, w sposób zapewniający odprowadzenie zawilgocenia poza obręb połączenia ciesielskiego (rysunek 1), zabezpieczając węzeł przed rozwojem korozji biologicznej. Sposoby utwierdzenia słupów w murze pokazano na rysunkach 1 i 2.



Rys. 1. Typowy mur pruski grubości 25 cm
Fig. 1. Typical half-timbered wall of 25 cm thick



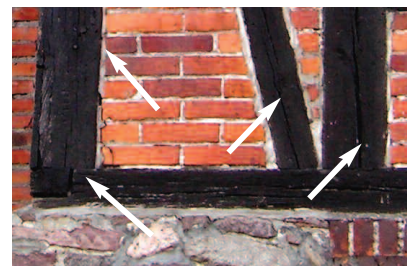
Rys. 2. Zabezpieczenie podwaliny oraz podłogi budynku przed wilgocią za pomocą warstwy asfaltu (a); zabezpieczenie czopów przed gniciem (b); sposoby utwierdzenia cegieł przy murowaniu „ścian pruskich” (c) [7]

Fig. 2. Securing the foundation and building floors against moisture with an asphalt layer (a); protection of rotting plugs (b); ways of fixing bricks at laying in "Prussian walls" (c) [7]

Diagnostyka cieplno-wilgotnościowa historycznych budynków szkieletowych

Do podstawowych zagadnień związanych z utrzymaniem właściwego stanu technicznego takich obiektów należą (nie uwzględniając problemów własnościowych): odpowiednie zachowanie drewna, jako materiału konstrukcyjnego; stan cieplno-wilgotnościowy przegród budowlanych (związany także z adaptacją i przystosowaniem do nowych funkcji użytkowych), a także ich trwałość. Przegrody z muru pruskiego, z powodu swojej budowy, stanowią przypadek szczególny wśród przegród budowlanych, ponieważ występuje w nim połączenie elementów drewnianych i ceglanych oraz zaprawy murarskiej i czasami tynku. Są to materiały o różnych współczynnikach przewodzenia ciepła, rozszerzalności cieplnej oraz o odmiennym oporze dyfuzyjnym, absorpcji wilgoci i promieniowania słonecznego. Charakterystyczną cechą takiej przegrody jest występowanie szczelin pomiędzy szkieletem a przylegającymi elementami, umożliwiające wnikanie wody opadowej w głąb muru. Przebieg zmian w czasie zależy m.in. od gatunku drewna, rodzaju cegły i zaprawy oraz klasy użytkowania [6]. Przy silnym narażeniu na działanie czynników

atmosferycznych zachodzi proces stopniowej degradacji warstw przypowierzchniowych drewna. Szacuje się, że grubość warstwy przekroju poprzecznego, która ulega rozkładowi (zanika) w wyniku starzenia w warunkach naturalnych, sięga 6 mm w ciągu stu lat [6]. Typowe uszkodzenia związane z degradacją muru, drewna i okładziny z płytek ceramicznych w murze pruskim pokazano na fotografiach 2 i 3. Przyczyny istniejących uszkodzeń, to naturalne starzenie materiałów w zanieczyszczono-



Fot. 2. Typowe uszkodzenia elementów drewnianych muru pruskiego
Fot. T. Steidl
Photo 2. Typical damage to timber elements of the half-timbered wall



Fot. 3. Typowe uszkodzenia elementów li-cowych z płytek szklonych i elementów drewnianych muru pruskiego oraz ubytki muru
Fot. T. Steidl
Photo 3. Typical damage to facing elements made of glazed tiles and timber elements of the half-timbered wall as well as wall defects

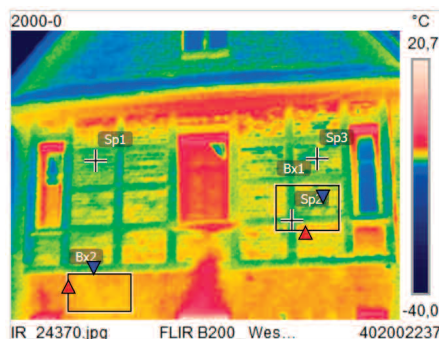
nym środowisku zewnętrznym oraz brak prawidłowo prowadzonych remontów i zwykłej konserwacji. Występujące uszkodzenia powodują pogorszenie izolacyjności cieplnej przegród. Szczególny wpływ mają nieszczelności na połączeniach drewna i muru, które ułatwiają wnikanie wody opadowej (zacinający deszcz i śnieg) i dalszą degradację tego typu murów, a miejscami, pod wpływem wiatru, powodują lokalne wychładzanie przegród. Izolacyjność zachowanych przegród drewniano-ceramicznych, w zależności od struktury ściany, kształtuje się na poziomie $U = 1,90 \div 2,70 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Obliczony współczynnik przenikania ciepła U ściany zewnętrznej może różnić się w zależności od przyjętej przewodności cieplnej materiałów. W tabeli zestawiono dostępne wartości przewodności cieplnej cegły w zależności od gęstości materiału. Nazwę materiału budowlanego pozostawiono zgodną z zamieszczoną w materiale źródłowym [1, 3, 8, 11, 17, 18]. Przewodność cieplną podano w ujednoczonej jednostce $\text{W}/(\text{mK})$, zgodnie z aktualnymi normami dotyczącymi właściwości cieplnych materiałów.

Zestawienie współczynników przewodności cieplnej λ cegieł ceramicznych

Establishment of thermal conductivity coefficients λ of ceramic bricks

Nazwa	Gęstość [kg/m ³]	λ [W/(mK)]	Źródło (literatura)
Cegła	800	0,279	[8]
	1000	0,326	
	1200	0,384	
	1400	0,442	
	1600	0,523	
	1800	0,733	
	2000	1,233	
Stary mur z cegły klinkierowej	2010	1,045	[3]
Stary mur ceglany /cegła zwykła/	1640	0,590	
	1810	0,705	
	1720	0,842	
Mur z cegły pełnej	1950	0,960	[11]
Typowy mur ceglany	1792	0,555	
Mur z cegły ceramicznej pełnej	1800	0,77	[11]
Mur z cegły klinkierowej	1900	1,05	
Cegła półklinkierowa	1800	0,81	[4]
Cegła pełna historyczna	1850	0,60	[17]
Cegła historyczna otworowa/dziurawka/	1670	0,40	
Cegła zwykła	1680	0,76	

W diagnostyce budynków pomocna jest metoda termowizyjna. Pozwala ona m.in. na wstępną ocenę ich stanu oraz wykrycie różnic w budowie przegród lub lokalnych niedoskonałości termicznych, w tym nieszczelności między murem a elementami drewnianymi (fotografia 4).



Fot. 4. Termogram wykonany od strony zewnętrznej budynku w miejscowości Czerwionka-Leszczyzny

Fot. T. Steidl

Photo 4. Thermogram made from the outside of the building in the village Czerwionka-Leszczyzny

Zawilgocenie poszczególnych elementów przegrody, w zależności od stanu technicznego wybranego fragmentu, bada się na ogół metodami nieinwazyjnymi, a w przypadku murów grubości większej niż 38 cm, metodą wagowo-suszarkową na pobranych próbkach materiałów. Pobieranie próbek w obiektach historycznych należy uzgodnić z konserwatorem zabytków.

Dodatkowym badaniem ułatwiającym późniejsze analizy numeryczne jest pomiar chłonności kapilarnej powierzchni wykonywany prostym urządzeniem typu tuba Karstena [4, 5]. O pomiarach wodochłonności muru można przeczytać w [9]. Wykonane pomiary pomogą podjąć decyzję o umieszczeniu w projekcie robót remontowych, m.in. naprawy ubytków w elementach drewnianych, lokalnego porażenia przez owady, rozszczelnienia połączenia pomiędzy drewnem a murem, ubytków cegieł i zaprawy, a także usunięcia lokalnego zawilgocenia (wysolenia) muru ceglano-ubytków okładzin elewacyjnych oraz dużej wodochłonności powierzchni cegieł lub tynku zewnętrznego [17].

Dobór materiałów do ocieplania od wewnątrz

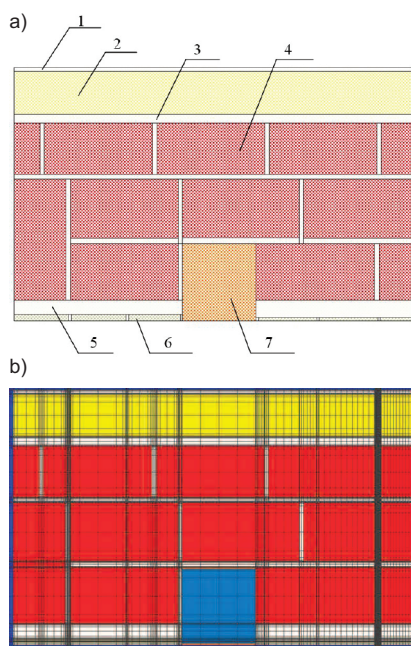
Polskie przepisy dotyczące ochrony cieplnej, zawarte w rozporządzeniu [12], zwalniają budynki będące zabytkami

lub o elewacjach podlegających ochronie konserwatora zabytków z konieczności spełnienia wymagań dotyczących izolacyjności cieplnej, wyrażonej współczynnikiem przenikania ciepła U oraz wskaźnika EP budynku. Projektanci zapominają też często o innych obowiązujących wymaganiach, związa-

nych z oszczędnością energii, w tym o unikaniu ryzyka kondensacji powierzchniowej zarówno na ścianie płaskiej, jak i w węzłach konstrukcyjnych oraz o konieczności wykazania, iż wilgoć powstająca w warstwach przegrody odparuje w okresie letnim. Metoda szacunkowa Fokina-Glasera opisana w normie PN-EN ISO 13877 [10] jest zdecydowanie niewystarczająca do oceny przyrostu wilgoci w przypadku budynków o znaczeniu historycznym. W pkt. 6.1. przywołanej normy można przeczytać: *niniejszą metodę należy uważać raczej za sposób oszacowania, niż za narzędzie służące do dokładnego przewidywania. Jest ona przydatna przy porównywaniu różnych budynków i oceny skutków modyfikacji. Nie dostarcza dokładnych prognoz warunków wilgotnościowych wewnątrz budowli w warunkach eksploatacji, nie jest także właściwa do obliczeń związanych z wysychaniem wilgoci budowlanej.*

Procedura obliczeń zawarta w normie [10] nie nadaje się do badania przyrostu zawilgocenia w ścianach o złożonej strukturze, takich jak mur pruski, a szczególnie jest nieprzydatna do prognozowania zmian w narożach, połączeniu stropu ze ścianą, połączeniu ściany zewnętrznej ze ścianą wewnętrzną itp., czyli w miejscach, gdzie wystę-

puje dwuwymiarowy przepływ ciepła i pary wodnej. Do wykonywania symulacji zjawisk cieplno-wilgotnościowych służy program WUFI 2D-3, w którym zastosowano sprzężony model zjawisk transportu ciepła i wilgoci. Przeprowadziliśmy symulacje w tym programie dotyczące muru pruskiego budynku położonego w Czerwoncu-Leszczynach (rysunek 3), ocieplonego od wewnątrz płytami z wełny mineralnej lub styropianu, grubości ok. 10 cm, za pomocą klejenia. W obu przypadkach technologia montażu nie przewidywała zastosowania bariery paroszczelnej (folii paroszczelnej) od strony wewnętrznej. Uzyskane wyniki i ich analiza pozwolą na dobór materiału termoizolacyjnego i rozwiązania technologicznego zapewniającego zmniejszenie strat ciepła przy jednoczesnym zachowaniu stanu technicznego przegrody [15].

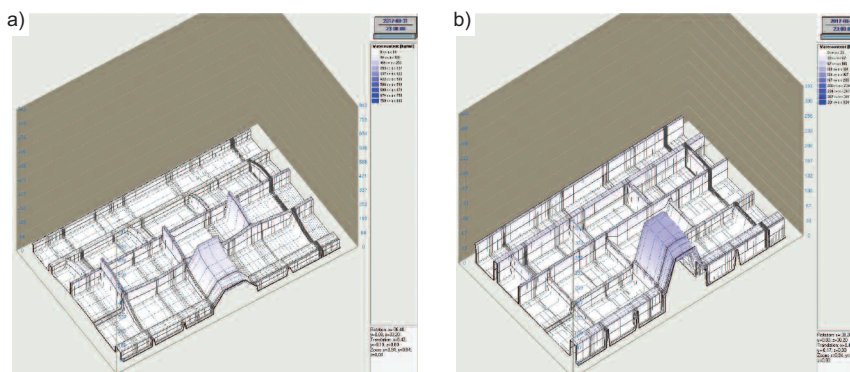


Rys. 3. Fragment muru pruskiego (a); model obliczeniowy z widoczną siatką MES (b); 1 – tynk wewnętrzny; 2 – materiał termoizolacyjny; 3 – warstwa klejąca na podkładzie cementowo-wapiennym; 4 – mur ceglany (cegła historyczna); 5 – tynk cementowo-wapienny; 6 – okładzina z białych płytek glazurowanych; 7 – słupek drewniany
Fig. 3. Excerpt of the half-timbered wall (a); computational model with visible FEM grid (b); 1 – internal plaster; 2 – thermal insulation material; 3 – adhesive layer on a cement-lime base; 4 – brick wall (historical brick); 5 – cement-lime plaster; 6 – cladding of white glazed tiles; 7 – wooden post

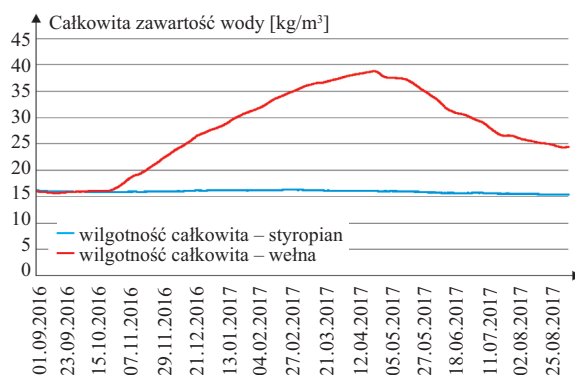
Wyniki symulacji i ich analiza

Wyniki symulacji pokazano na rysunku 4. Szczegółowa analiza przyrostu ilości wody w poszczególnych warstwach muru oraz w poszczególnych materiałach wykracza poza zakres tego opracowania. Na podstawie otrzyma-

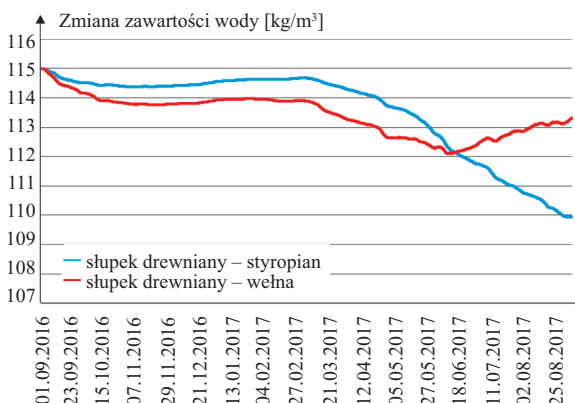
nych wyników można jednak zaproponować rozwiązanie materiałowe badanej przegrody lub zbadać wpływ wprowadzanych zmian na przyrost zawilgocenia wybranych elementów. Na rysunku 4 pokazano graficznie zawartość wody w całym analizowanym



Rys. 4. Graficzna prezentacja ilości wody w modelu muru pruskiego: a) na początku symulacji; b) po roku
Fig. 4. Graphic presentation of the amount of water in the model of the half-timbered wall: a) beginning of the simulation; b) after 1 year



Rys. 5. Porównanie zmiany zawartości wody w murze pruskim ocieplonym od wewnątrz wełną mineralną i styropianem
Fig. 5. Comparison of changes for water values in a half-insulated half-timbered wall from inside with mineral wool and polystyrene



Rys. 6. Porównanie zawartości wody w słupku drewnianym ocieplonym od wewnątrz wełną mineralną i styropianem
Fig. 6. Comparison of changes for water values in a wooden insulated post from inside with mineral wool and polystyrene

fragmencie muru pruskiego na początku symulacji i po roku. Widoczne jest zmniejszenie ilości wody w poszczególnych elementach muru. Jako przykład pokazano wyniki analizy przyrostu wilgoci w murze ceglany i słupku drewnianym z zastosowaniem dwóch materiałów termoizolacyjnych – styropianu i wełny mineralnej (rysunek 5 i 6). Na potrzeby obliczeń założono, że materiały te idealnie przylegają do ściany od strony wewnętrznej, a mieszkanie eksploatowane jest w sposób normalny, tj. średnia temperatura wewnętrzna $t_i = 20^\circ\text{C}$, a wilgotność powietrza nie przekracza 50%.

Wybrane wyniki pozwoliły na określenie tendencji zmian zachodzących w ocieplanej przegrodzie w przypadku obu wariantów. Zawartość wody w warstwie izolacji ściany północno-zachodniej, po rocznym okresie



ARBOCEL – The Power of Progress

– włókna na bazie celulozy o charakterze mikrobrojającym, zagęszczającym oraz strukturotwórczym w produktach chemii budowlanej



Rettenmaier Polska
Sp. z o.o.
Bitwy Warszawskiej 1920 r. 7B
02-366 Warszawa
mobile +48 600 423 423
Tel + 48 22 608 51 00
e-mail: arbocel@rjs.pl

symulacji, nie odbiegała znacznie od siebie. Analiza nie wykazała niepokojącej kumulacji wilgoci w warstwach przegrody ani na jej wewnętrznej powierzchni w przypadku prezentowanego docieplenia od strony wewnętrznej.

Podsumowanie

W projektach analiz ciepłno-wilgotnościowych obiektów historycznych i zabytkowych zaleca się badanie wpływu zastosowanych materiałów i rozwiązań technologicznych na pozostałe istniejące elementy budynku. Zalecenie to dotyczy przede wszystkim projektu remontu uwzględniającego możliwość docieplenia od strony wewnętrznej. Wykonane analizy ściany płaskiej są jedynie wstępem do dalszych analiz ciepłno-wilgotnościowych, które należy wykonać w tego typu obiektach. Szczegółowa analiza powinna objąć przede wszystkim miejsca węzłów konstrukcyjnych, takich jak połączenie ściany: ze stropem; ze ścianą wewnętrzną; ze strefą przyokołową; z narożem; z oknem i innymi węzłami uznanymi przez projektanta za szczególnie narażone na niekontrolowany wpływ wilgoci. Dopiero wówczas można decydować o wyborze materiałów i technologii remontu.

Literatura

- [1] DIN 4108 Warmeschutz im Hochbau Beuth-Verlag, Berlin. Teil 4 Wärme und feuchteschutz-technische Kennwerte (V 1998).
- [2] Dobrowolska E., A. Jankowska, A. Laskowska. 2017. *Wytrzymałość i wybrane właściwości fizyczne drewna poddanego różnym metodom sztucznego starzenia*. Ochrona budynków przed wilgocią, korozją biologiczną i ogniem, seria Monografia nr 13, Wrocław.
- [3] Häuptl P. 2008. BAUPHYSIK: Klima Wärme Feuchte Schall. Berlin, Ernst&Sohn.
- [4] Karsten R. 1992. Bauchemie: für stadium und praxis. 9. Aufl. Karlsruhe: Muller.
- [5] Karsten R. 1963. Schlagregendichte Klinkerfassenden Das Baugewerbe 43 Nr 18. s. 1192.41192.7.

[6] Kozakiewicz Paweł, Mieczysław Matejak. 2013. *Klimat a drewno zabytkowe. Dawna i współczesna wiedza o drewnie*. Warszawa. Wydawnictwo SGGW.

[7] Krzyczkowski D. 1932. *Wykład popularny zasad konstrukcji budowlanych dla budowniczych, majstrów, przedsiębiorców budowlanych i samouków*. Księgarnia Polska, Bernard Polownicki.

[8] Kuzman R. 1966. *Tablicie cieplne z wykresami. Dane liczbowe w układzie technicznym i międzynarodowym*. Warszawa, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne.

[9] Orlik-Koźdon Bożena, Tomasz Steidl. 2018. „Projektowanie izolacji cieplnej od wewnątrz z uwagi na wodochłonność elewacji”. *Materiały Budowlane* (1): 44 – 48.

[10] PN-EN 13788 – Ciepłno-wilgotnościowe właściwości komponentów i materiałów budowlanych i elementów budynku – Temperatura powierzchni wewnętrznej dla uniknięcia krytycznej wilgotności i kondensacji międzywarstwowej – Metody obliczania.

[11] PN-EN 12524 Materiały i wyroby budowlane. Właściwości ciepłno wilgotnościowe.

[12] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie; Dz.U. nr 75, poz. 690 z późniejszymi zmianami.

[13] Szymanowska-Gwizdź Agnieszka, Tomasz Steidl. 2016. „Impact of building walls of historic objects from half-timbered wall in their state of thermal protection”. *Civil and Environmental Engineering Reports* 20 (1): 171 – 178.

[14] Szymanowska-Gwizdź Agnieszka, Tomasz Steidl. 2015. „Rozkłady temperatur w ścianach z muru pruskiego – badania teoretyczne i in situ”, XV Polska konferencja naukowo-techniczna, Fizyka budowli w teorii i praktyce, Łódź.

[15] Szymanowska-Gwizdź Agnieszka, Bożena Orlik-Koźdon, Tomasz Steidl. 2019. „Selected problems involving the preservation of historical frame buildings in Silesia in the context of their future thermo-renewal”. *Architecture civil engineering environment* 4: 73 – 85 DOI: 10.21307/ACEE-2019-053.

[16] Ustawa z 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane z późniejszymi zmianami. Dz. U. 1994 nr 89 poz. 414.

[17] WUFI – Baza materiałowa programu komputerowego.

[18] Żenczykowski W. 1956. *Budownictwo ogólne, Materiały i wyroby budowlane*. Warszawa. Wydawnictwo Budownictwo i Architektura.

Przyjęto do druku: 17.04.2020 r.

**Artykuły sponsorowane i reklamy
publikowane w miesięczniku
„Materiały Budowlane”
znajdują się**

**w otwartym dostępie na stronie
www.materiałybudowlane.info.pl**