

na energię do ogrzewania, co bezpośrednio wpływa na koszty poniesione na ogrzewanie.

Bez zainteresowania inwestorów budową standard wykonania budynku jest czasami bardzo niski. Na podstawie przeprowadzonych badań uważamy, że **administracja budowlana nie spełnia swojej roli ochrony inwestora-konsumenta energii** i to zarówno w **fazie akceptowania projektów budowlanych** (zawierających wady projektowe), jak i **nadzoru budowlanego** (w trakcie realizacji). Być może dlatego środowisko budowlane broni się i to dość skutecznie przed zastosowaniem wymagań w zakresie efektywności energetycznej budynków. Warto wspomnieć, że np. we Francji budynki finansowane ze środków publicznych muszą być od 1 stycznia 2019 r. zeroenergetyczne, a od 2020 r. dodatkowo energetyczne [2]. Należy podkreślić, że firmy rekomendujące się jako wyspecjalizowane w budownictwie pasywnym/energooszczędnym z reguły nie zgadzały się na przeprowadzenie badań pomimo deklarowanej gwarancji anonimowości. Odmiały też przekazania kontaktów do swoich klientów. Ankietowani in-

westorzy chcieli otrzymać domy niskoenergetyczne, ale nie byli w stanie samodzielnie zaangażować się w nadzór nad procesem budowlanym zarówno na etapie projektowania, jak i wykonawstwa. Zgodnie z prawem za dyscyplinowanie tego procesu odpowiada państwo. Niestety w Polsce nie wypełnia ono swojej roli.

#### Literatura

- [1] Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z 5 lipca 2013 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie;
- [2] Żmijewski K.: Dom niemal zeroenergetyczny, miesięcznik Materiały Budowlane 1/2013, Warszawa 2013;
- [3] Kaliszuk-Wietecha A., Miszczuk A.: Rozkład zapotrzebowania na energię pierwotną i końcową w budynku wielorodzinnym, miesięcznik Materiały Budowlane 12/2013, Warszawa 2013;
- [4] PN-EN 13829:2002 Właściwości cieplne budynków – Określanie przepuszczalności powietrznej budynków – Metoda pomiaru ciśnieniowego z użyciem wentylatora.

Otrzymano 02.01.2015

dr inż. Bożena Orlik-Koźdon<sup>1)</sup>

dr inż. Paweł Krause<sup>1)</sup>

dr inż. Tomasz Steidl<sup>1),\*</sup>

# Projektowanie docieplenia ścian zewnętrznych od wewnątrz

## *Design of the thermal insulation of external walls from the inside*

DOI: 10.15199/33.2015.01.07

**Streszczenie.** W artykule omówiono zalecenia dotyczące docieplenia murów ceglanych od strony wewnętrznej. Na podstawie badań, doświadczeń własnych oraz literatury, autorzy zaproponowali ogólne zasady projektowania przegród zewnętrznych izolowanych cieplnie od strony wewnętrznej. Przedstawiono procedury niezbędnych analiz przedprojektowych, jakie należy przeprowadzić przed podjęciem decyzji o dociepleniu ściany od wewnątrz oraz programy komputerowe wspomagające takie analizy. Zaprezentowano wybrane materiały do izolacji cieplnej od strony wewnętrznej i zasady, jakie powinny być przestrzegane przy ich stosowaniu.

**Słowa kluczowe:** ocieplenie od wewnątrz, izolacja cieplna, wilgotność materiału, symulacje.

**Abstract.** The article discusses the recommendations for the warming from the inside brick walls. Based on research, personal experience and the literature, the authors have proposed general principles for design of external walls insulated on the inside. Describes the procedures necessary analyzes to be carried out pre-project, before deciding on thermal insulation of walls from the inside and computer programs to support such analysis. Presented were selected thermal insulation on the inside and the principles that should be followed when applying them.

**Keywords:** warming from the inside, heat insulation, moisture of the material, simulations.

**P**rojektowanie i wykonywanie dociepleń ścian od strony wewnętrznej zalecane jest w przypadku, gdy elewacje lub ich część muszą pozostać w stanie niezmiennym oraz w budynkach zabytkowych. W Polsce takie docieplenie nie jest realizowane na szerszą skalę, natomiast w Niemczech w 2015 r. planuje się wykonanie ok. 7 mln m<sup>2</sup> dociepleń od strony wewnętrznej. Aby upowszechnić ten sposób docieplania, należy spełnić kilka warunków

dotyczących projektowania, doboru materiałów i technologii oraz rzetelnego wykonawstwa.

### Wymagania prawne do projektowania ociepleń od strony wewnętrznej

Docieplenie od strony wewnętrznej niewielkiego fragmentu budynku, np. jednej ściany pokoju, czy kilku ścian w mieszkaniu nie podlega przepisom i praktycznie może być wykonane przez właściciela mieszkania lub obiektu bez jakiegokolwiek projektu. W każdym innym przypadku wymagane jest spełnienie warunków zawartych w rozporządzeniu [1]. Wymagania nie

są rygorystyczne, np. p. 2.2.5. rozporządzenia dopuszcza kondensację pary wodnej, o której mowa w § 321 ust. 2, wewnątrz przegrody w okresie zimowym, o ile struktura przegrody umożliwi wyparowanie kondensatu w okresie letnim i nie nastąpi przy tym degradacja materiałów budowlanych przegrody na skutek tej kondensacji.

Rozporządzenie [1] przywołuje normę PN-EN 13788:2003; pt. *Cieplno-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku – Temperatura powierzchni wewnętrznej konieczna do uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni i kondensacji międzywarstwowej – Metody obliczania* [2], która jest

<sup>1)</sup> Politechnika Śląska w Gliwicach, Wydział Budownictwa

<sup>\*</sup> Autor do korespondencji: tomasz.steidl@polsl.pl

podstawą do obliczeń inżynierskich opartych na prawie Ficka, w przypadku jednowymiarowego przepływu pary wodnej przez przegrodę. Sposób obliczeń zawarty w normie posłużył jako algorytm do stworzenia programów obliczeniowych wspomagających pracę projektanta przy wykonywaniu bardzo uproszczonej analizy ciepłno-wilgotnościowej. Posługując się programami wg normy [2], trzeba bezwzględnie zapoznać się z wieloma ograniczeniami metody. Przy prowadzeniu obliczeń niezbędne jest posiadanie rzetelnych danych opisujących właściwości dyfuzyjne materiałów i komponentów budowlanych. Dla większości materiałów znajdujących się one w PN-EN 12524 [3], a także są publikowane wartości obliczeniowe wg badań ITB [4].

Na podstawie własnych doświadczeń w projektowaniu i prowadzonych podczas eksploatacji dociepleń możemy jednoznacznie stwierdzić, iż wykonując obliczenia przyrostu wilgoci w przegrodach docieplanych od strony wewnętrznej, zgodnie z procedurami obliczeniowymi wg PN-EN 13788, uzyskuje się wyniki znacznie odbiegające zarówno od wartości pomierzonych in situ, jak i obliczonych z zastosowaniem bardziej zaawansowanych metod obliczeniowych (wyniki uzyskiwane w obliczeniach zgodnych z PN-EN 13788 znacznie zawyżają prognozowaną wartość przyrostu wilgoci w typowej ścianie z cegły ceramicznej).

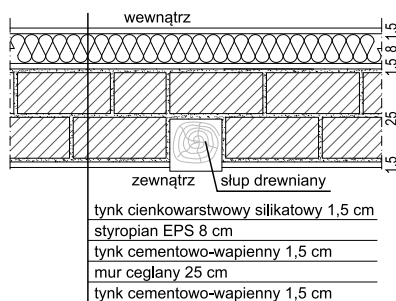
## Obliczenia

**Programy symulacyjne.** Metody symulacyjne korzystają z równań konstytutywnych opisujących bilanse cząstkowe w materiale kapilarno-porowatym z dostosowanymi do konkretnego modelu współczynnikami materiałowymi. Równania opisujące sprzężony transport ciepła i masy można znaleźć w literaturze, np. [5, 6, 7]. Niektóre z modeli znalazły zastosowanie w programach komputerowych do symulacji zjawisk ciepłno-wilgotnościowych. Do najbardziej znanych w Polsce programów symulacyjnych dotyczących przepływu ciepła i masy należą: DELPHIN 5; UMIDUS; BSim2000; AnTherm oraz najbardziej znany WUFI w różnych odmianach, w tym WUFI-PL i WUFI 2D. Z nielicznymi wyjątkami programy te wykorzystują roczne bazy danych klimatycznych krajów, w których zostały wykonane z możliwością implementacji lokalnej bazy klimatycznej. Bazy danych materiałowych są wykonane dla naj-

częściej stosowanych materiałów budowlanych w warunkach lokalnych. Modyfikacja bazy danych przez wprowadzenie do niej materiałów krajowych jest na ogół niemożliwa z uwagi na brak specyficznych danych materiałowych, takich jak np. porowatość lub zależność oporu dyfuzyjnego od temperatury czy współczynnik transportu kapilarnego – sorpcja, redystrybucja itp.

Czynnikami, które nie sprzyjają korzystaniu z oprogramowania przez polskich projektantów, są: wysoka cena, bariera językowa oraz brak przygotowania merytorycznego projektantów.

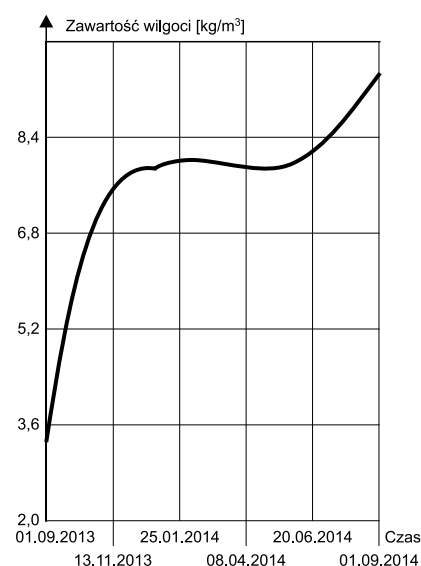
W artykule zaprezentujemy przeprowadzoną symulację przegrody typu „mur pruski” (rysunek 1). W przypadku projektowania docieplenia od wewnątrz podstawą jest wykonanie obliczeń sprzężonego przepływu ciepła i masy, szczególnie w obiektach zabytkowych. Analizy takie powinny być przeprowadzane w programie typu 2D (analizy dwuwymiarowe),



**Rys. 1. Przekrój przegrody typu „mur pruski”, w przypadku której przeprowadzono symulację zmian wilgotności w czasie roku**  
**Fig. 1. Cross section of the partition type of "Prussian wall" for which the simulations were performed humidity changes during one year**

umożliwiającym sprawdzenie przyrostu zawilgocenia w miejscach szczególnych, np. liniowych mostkach cieplnych lub na ścianach o złożonej strukturze. Z naszych doświadczeń wynika, że program symulacyjny powinien umożliwiać projektantowi analizę przyrostu wilgotności każdej warstwy materiału i całej docieplonej ściany (rysunek 2).

**Metody szacunkowe** polegają na wykorzystaniu w obliczeniach zmodyfikowanej metody Fokina-Glasera do oceny możliwości kondensacji międzywarstwowej. Metoda ta znalazła odzwierciedlenie w istniejącej od kilku lat PN-EN ISO 13788 [2], w której podano metody obliczania temperatury powierzchni wewnętrznej komponentu budowlanego lub elementu oraz oszacowania ryzyka kondensacji wewnętrznej wskutek dyfuzji pary wodnej.



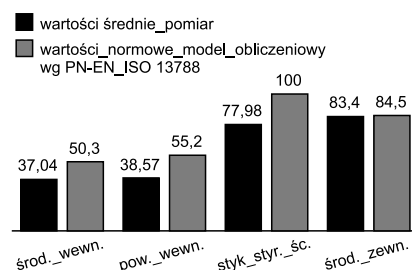
**Rys. 2. Przyrost zawilgocenia przegrody typu „mur pruski”, docieplonej od strony wewnętrznej, w okresie jednego roku meteorologicznego**

**Fig. 2. A graphical representation of the partition moisture increment of "Prussian wall", insulated on the inside, within one year of meteorological**

Procedura obliczeń wg metody Fokina-Glasera stosowana w cytowanej normie nie obejmuje wielu zjawisk fizycznych zachodzących w warstwach przegrody budowlanej, mających wpływ na uzyskanie poprawnego wyniku obliczeń. Inną niedogodnością jest przyjęta klasyfikacja wilgotności wewnętrznej powietrza bazująca na danych pochodzących z budynków w Europie Zachodniej.

Opisana w normie procedura obliczeń budzi wiele wątpliwości zarówno dotyczących jakości uzyskiwanych wyników obliczeń, jak i sposobu ich interpretacji. Pomimo takich zastrzeżeń jest podstawą do wykonywania większości obliczeń ciepłno-wilgotnościowych na potrzeby projektowania w warunkach polskich. Na podstawie normy [2] opracowano kilka darmowych programów komputerowych, które są dostępne na stronach producentów materiałów izolacyjnych, materiałów wchodzących w skład systemów dociepleń lub kompletnych systemów typu ETICS. Próba walidacji uzyskiwanych wyników różnymi programami, metodami symulacyjnymi i pomiarami nie dała jednak pomyślnych rezultatów. Można założyć, że **na etapie projektowania docieplenia od strony wewnętrznej wykonanie obliczeń ciepłno-wilgotnościowych, zgodnie z PN-EN ISO 13788, jest konieczne, ale na ogół niewystar-**

czające. Uzyskiwane wyniki odbiegają bowiem w znaczny sposób od prowadzonych badań. Zależność pomiędzy badaniami ściany z cegły ceramicznej docieplonej od wewnątrz uzyskanymi z obliczeń a wartościami mierzonymi na jednym ze stanowisk badawczych pokazano na rysunku 3.



Rys. 3. Obliczenia wilgotności [%] zgodnie z PN-EN ISO 13788 oraz na podstawie pomiaru

Fig. 3. Calculations according to PN-EN ISO 13788, for monthly average outdoor air temperature and humidity and the corresponding measurements of the moisture content of the layer

Przy projektowaniu uwzględniającym tylko metody szacunkowe należy bezwzględnie wykonać obliczenia wartości  $f_{Rsi}$  w miejscach szczególnych związane z ryzykiem wystąpienia kondensacji powierzchniowej. Przez miejsca szczególne, w przypadku dociepleń projektowanych od strony wewnętrznej, rozumie się wszystkie połączenia izolacji z sąsiednimi prostopadłymi przegrodami poziomymi oraz miejsca występowania stolarki okiennej i drzwi w ścianach zewnętrznych. Obliczenia takie należy wykonać w programie uwzględniającym dwuwymiarowy przepływ ciepła i posiadającym możliwości dowolnego kształtowania wytypowanych detali budowlanych. Zaleca się stosowanie programu THERM 7.3.

### Materiały i stosowane technologie

Wśród stosowanych materiałów można wyróżnić rozwiązania tradycyjne, w których wykorzystane są klasyczne materiały termoizolacyjne oraz rozwiązania na bazie nowoczesnych materiałów ociepleniowych. Technologie tradycyjne wykorzystują m.in. styropian i wełnę szklaną, skalną lub drzewną układane na ruszcie z wykończeniem w postaci płyt g-k lub wykończeniem jak w metodzie ETICS. Ocieplenie tego rodzaju powinno być szczelnie osłonięte warstwą skutecznej paroizolacji. W rozwiązaniach z zastosowaniem nowoczesnych materiałów można wyróżnić dwie metody [10]:

- dodatkowe ocieplenie ze szczelną barierą paroizolacyjną od strony wnętrza;
- systemy, które gwarantują swobodną dyfuzję pary wodnej przez przegrodę.

Systemy z paroizolacją od strony wnętrza sprawdzają się najlepiej w obiektach o podwyższonej wilgotności powietrza wewnętrznego. W związku z całkowitą blokadą dyfuzji pary wodnej przez powierzchnię należy zapewnić odpowiednią efektywność instalacji regulującej wilgotność powietrza. Systemy te wymagają stosowania, oprócz odpowiedniej paroizolacji, dodatkowych uszczelnień obwodowych w postaci taśm.

Systemy, które gwarantują swobodną dyfuzję pary wodnej, wymagają, aby wszystkie warstwy przegrody charakteryzowały się wysoką paroprzepuszczalnością. W przypadku pomieszczeń mieszkalnych lub przeznaczonych na długotrwały pobyt ludzi, ze względu na naturalną regulację wilgotności wnętrza wynikającą ze swobodnego przepływu pary przez warstwy ocieplenia, jest to rozwiązanie korzystniejsze niż ocieplenie z paroizolacją (tabela).

### Ocieplenie ścian od wewnątrz. Proponowane rozwiązania materiałowo-technologiczne

#### Warming inner walls. The proposed material and technological solutions

	Materiał izolacyjny	Montaż na ścianie	Wykończenie powierzchni wewnętrznej
Izolacja termiczna o niewielkim oporze dyfuzyjnym, brak możliwości dyfuzji wilgoci	wełna mineralna, wełna drzewna	ruszt drewniany lub profile aluminiowe, płyty z wełny drzewnej klejone całopowierzchniowo	tynk cienkowarstwowy (ETICS), płyty gipsowo-kartonowe
Izolacja termiczna o wysokim oporze dyfuzyjnym, brak możliwości dyfuzji wilgoci	XPS, EPS + paroizolacja, szkło spienione, płyty poliuretanowe	profile stalowe-ruszt, klejone całopowierzchniowo do podłoża, lub metoda pasmowo-punktowa	szpachla systemowa, tynki cienkowarstwowe, płytki ceramiczne, tapety izolacyjne
Izolacja termiczna o niewielkim oporze dyfuzyjnym, możliwość dyfuzji wilgoci	płyty klimatyczne, płyty hydroaktywne	klejone całopowierzchniowo	tynk cienkowarstwowy (system ETICS), szpachle systemowe

### Wytyczne dotyczące docieplania od strony wewnętrznej

Wytyczne zostały opracowane na podstawie niemieckich doświadczeń zawartych w publikacji: Klaus Arbeiter. Innendaemung. Wyd. Rudolf Mueller. Koeln 2014. Wymagania podzielono, w zależności od rodzaju materiałów do izolacji cieplnej i rodzaju docieplanej ściany, w następujący sposób:

- w przypadku ścian wzniesionych z cegły ceramicznej bez rozróżniania rodzaju muru ceglanego oraz ścian betonowych zaleca się dobór grubości materiału do izolacji cieplnej, tak aby przy ocieplaniu materiałem w postaci płyt sztywnych

ze styropianu EPS, pianki PUR (PIR) lub innych, np. płyt Multisor lub płyt Calsi-therm, całkowita wartość oporu cieplnego  $R \leq 1,00 \text{ m}^2\text{K/W}$ . Należy jednocześnie zapewnić opór dyfuzyjny  $S_d > 0,5 \text{ m}$  dla nowo projektowanych warstw dociepleniowych;

- płyty powinny być łączone ze ścianą zewnętrzną na całej powierzchni;

- należy stosować folię szczelną jako jedną z warstw systemu docieplenia, a na obrzeżach rozprzędne taśmy uszczelniające.

Zalecane metody obliczeń dostosowane są do typowej budowy przegrody i nie precyzują ściśle warunków prowadzenia obliczeń służących ocenie ciepłno-wilgotnościowej przegrody przy nietypowym rozwiązaniu projektowym, jakim jest docieplenie istniejącej przegrody od strony wewnętrznej. Proponujemy następującą metodykę oceny takiego docieplenia z uwagi na możliwość zawilgocenia i za-grzybienia:

- ocena budowy materiałowej przegrody z wykonaniem odkrywek, pomiar grubości warstw istniejących;

- pomiar wilgotności powierzchniowej metodami nieinwazyjnymi, a w przypadku murów ceramicznych grubości powyżej 51 cm, badanie wilgotności próbek pobieranych z odkrywek;

- ustalenie rodzaju materiału warstw ściany i dopasowanie właściwości fizycznych przy wykorzystaniu dostępnych danych [3, 4]; w przypadku murów obiektów zabytkowych zalecane są badania właściwości, w tym paroprzepuszczalności materiału ceramicznego;

- inwentaryzacja miejsc wrażliwych – liniowych mostków cieplnych [8];

- wybór materiału i technologii docieplenia;

- zalecane jest wykonanie obliczeń w programach symulacyjnych 2D, prowa-



## CANASTOL - Woda pod kontrolą

- środki hydrofobizujące do układów cementowych (tynki, zaprawy klejowe, szpachle)



**RETTENMAIER POLSKA**  
SP. z o.o.  
ul. Bitwy Warszawskiej 1920 r. 7b  
02-366 Warszawa  
Tel. +48 (22) 608 51 09  
Fax +48 (22) 608 51 51

dzonych z uwzględnieniem klimatu lokalnego. W programach tych zaleca się przyjęcie sinusoidalnych zmian w mikroklimacie wewnętrznym w warunkach o początkowej temperaturze  $t_i = 21 + 2 \text{ }^\circ\text{C}$  oraz wilgotności powietrza wewnętrznego  $\phi = 50 + 10\%$ ;

- ustalenie programu użytkowania pomieszczenia, z określeniem możliwości zapewnienia regulacji temperatury i wilgotności powietrza wewnętrznego lub wyznaczenie eksploatacyjnej wilgotności powietrza, która powinna spełniać warunek  $M \leq 0$ , gdzie  $M$  [ $\text{kG/m}^2\text{a}$ ] to obliczeniowa ilość kondensatu w warunkach klimatu zewnętrznego jak dla najbliższej stacji meteorologicznej. Jeśli przyjmujemy metodę szacunkową, wówczas jako obligatoryjne należałoby uznać: obliczenie wartości  $f_{Rsi}$  we wszystkich miejscach połączeń docieplanej przegrody z przegrodami do niej przylegającymi oraz obliczenie przyrostu wilgotności warstw przegrody zgodnie z PN-EN ISO 13877. Należy przyjąć zasadę wykonywania obliczeń dla trzech średnich wartości miesięcznych temperatury powietrza zewnętrznego z bazy danych meteorologicznych ( $t_{sr}$ ,  $t_{max}$  i  $t_{min}$ );

- obliczenie temperatury na styku warstw: ściana istniejąca – materiał izolacji cieplnej z uwzględnieniem dwuwymiarowego przepływu ciepła;

- dobór grubości docieplenia z warunku  $M_{min}$ , gdzie  $M$  jest całkowitą obliczeniową ilością kondensatu [ $\text{kG/m}^2\text{a}$ ], obliczoną zgodnie z [2], sposób wykończenia powierzchni, w tym powłoki malarskie, powinny zostać uwzględniony w obliczeniach.

We wszystkich obliczeniach prowadzonych zgodnie z [2] zaleca się pominięcie obliczenia wilgotności wewnętrznej w zależności od warunków zewnętrznych, a zastosowanie własnych parametrów mikroklimatu wewnętrznego popartych doświadczeniem lub pomiarami. Jako ostatni etap projektowania należy przewidzieć zastosowanie metody podgrzewania [9] miejsc szczególnie narażonych na kondensację, w których z przeprowadzonych obliczeń wynika wartość  $f_{Rsi} < f_{Rsimax}$ , wraz z zapewnieniem dużego oporu dyfuzyjnego warstwy zewnętrznej nowo projektowanego docieplenia. Duży opór dyfuzyjny gwarantuje zastosowanie odpowiednich folii lub odpowiednich zestawów powłok malarskich dobranych do rodzaju tynku wewnętrznego.

### Podsumowanie

Metody uproszczone, stosowane zazwyczaj przez projektantów, mogą okazać się przydatne pod warunkiem zachowa-

nia proponowanej procedury, doświadczenia i zdrowego rozsądku projektanta, wykonawcy, a przede wszystkim właściciela docieplanego pomieszczenia. Analizując przegrodę docieploną od strony wewnętrznej wg podanych procedur oraz stosując zalecenia, w tym dogrzewanie miejsc szczególnych z użyciem kabli grzewczych w metodzie „IN” [9], można zapewnić bezpieczne użytkowanie tak docieplonej ściany, minimalizując ryzyko wystąpienia kondensacji i zagrzybienia. Do projektowania i analizy zachowania się ściany docieplanej od strony wewnętrznej polecamy stosowanie metod symulacyjnych z wykorzystaniem programów typu 2D. Ponadto niezbędnym elementem projektu docieplenia od wewnątrz jest opracowanie przez projektanta warunków eksploatacji pomieszczeń, które powinny być bezwzględnie przestrzegane przez użytkowników.

### Literatura

- [1] 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.
- [2] PN-EN ISO 13788:2003 Ciepno-wilgotnościowe właściwości komponentów i materiałów budowlanych i elementów budynku – Temperatura powierzchni wewnętrznej dla uniknięcia krytycznej wilgotności i kondensacji międzywarstwowej – Metody obliczania.
- [3] PN-EN 12524:2002 Właściwości ciepno-wilgotnościowe materiałów. Stabelaryzowane wartości obliczeniowe.
- [4] Pogorzelski J. A.: Fizyka Budowli część X. Wartości obliczeniowe właściwości fizycznych. Materiały Budowlane 3/2005, str. 79–81.
- [5] Klemm P., Heim D., Jabłoński M., Klemm K., Krawczyński S., Narowski P.: Metoda wskaźnikowa oceny oddziaływania klimatu na obiekty zabytkowe. Politechnika Łódzka, KFBiMB. Fizyka Budowli – Ochrona zabytków. Monografia. Łódź 2009.
- [6] Pel L., Kopinga K.: Moisture transport in porous building materials. Eindhoven University of Technology – 1995.
- [7] Kuenzel H. M., and Kiessl K. 1997. Calculation of Heat and Moisture Transfer in Exposed Building.
- [8] PN-EN ISO 10211:2008 Mostki cieplne w budynkach. Strumienie ciepła i temperatury powierzchni. Obliczenia szczegółowe.
- [9] Wójcik R.; Docieplanie od wewnątrz. Inżynier budownictwa. [http://www.inzynierbudownictwa.pl/technika,materiały\\_i\\_tehnologie,artykul,docieplanie\\_od\\_wewnatrz,4608](http://www.inzynierbudownictwa.pl/technika,materiały_i_tehnologie,artykul,docieplanie_od_wewnatrz,4608).
- [10] Orlik B., Steidl T.: Docieplanie przegród zewnętrznych od wewnątrz. Materiały, technologie, projektowanie; Izolacje 4/2013, str. 43–50.