

Krzysztof PAWŁOWSKI¹
Sebastian WALCZAK²

ANALIZA PARAMETRÓW FIZYKALNYCH W OCENIE JAKOŚCI CIEPLNEJ ELEMENTÓW BUDYNKÓW NISKOENERGETYCZNYCH

Realizacja obowiązujących wymagań technicznych w zakresie ochrony cieplnej z uwzględnieniem standardu niskoenergetycznego, polega na sprawdzeniu wielu parametrów całego budynku, ale także jego przegród zewnętrznych i ich złączy. Ich określanie wg obowiązujących przepisów prawnych i norm przedmiotowych budzi wiele wątpliwości i niejasności w zakresie procedur obliczeniowych i interpretacji zagadnień fizykalnych. Celem pracy jest analiza w zakresie wpływu uwzględnienia przepływów ciepła w polu (2D) – mostków cieplnych, przy ocenie izolacyjności cieplnej przegród zewnętrznych i ich złączy.

Dla przykładowego budynku określono parametry fizykalne przegród zewnętrznych i ich złączy: współczynnik przenikania ciepła U [$W/(m^2 \cdot K)$] dla przegród zewnętrznych, liniowy współczynnik przenikania ciepła Ψ [$W/(m \cdot K)$] dla mostków cieplnych przy zastosowaniu programu komputerowego TRISCO, rozkład temperatur w analizowanych złączach budowlanych oraz na podstawie temperatury minimalnej na wewnętrznej powierzchni przegrody $\theta_{si,min}$ [$^{\circ}C$] – czynnik temperaturowy f_{Rsi} [-].

Na podstawie przedstawionych obliczeń i analiz zaproponowano wprowadzenie pewnych zmian w zapisach istniejących w „Warunkach Technicznych” oraz kompleksowej metody w zakresie oceny jakości cieplnej elementów obudowy budynków niskoenergetycznych. Dążenie do spełnienia standardu budownictwa niskoenergetycznego powinno opierać się na jasnych, precyzyjnych zasadach wynikających z podstawowych zasad szeroko rozumianej „fizyki budowali” z zastosowaniem nowoczesnych narzędzi numerycznych. Obudowa budynku (przegrody zewnętrzne i ich złącza) powinna stanowić podstawowy aspekt w zakresie oceny jakości cieplnej i energetycznej całego budynku.

Słowa kluczowe: budynek niskoenergetyczny, jakość cieplna, parametry fizykalne

¹ Autor do korespondencji/corresponding author: Krzysztof Pawłowski, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy im. J. i J. Śniadeckich w Bydgoszczy, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, al. Prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz, 600-612-705, krzypaw@utp.edu.pl

² Sebastian Walczak, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy im. J. i J. Śniadeckich w Bydgoszczy

1. Wybrane zagadnienia fizyczne w zakresie oceny jakości cieplnej elementów budynków niskoenergetycznych

W Krajowym planie wsparcia [1] sformułowano rekomendowaną do stosowania w praktyce krajową definicję budynku niskoenergetycznego: „**budynek o niskim zużyciu energii**” to budynek, spełniający wymogi związane z oszczędnością energii i izolacyjnością zawarte w przepisach techniczno-użytkowych, o których mowa w art. 7 ust. 1 pkt 1 ustawy – Prawo budowlane [2], tj. w szczególności dział X oraz załącznik 2 do [3] obowiązujące od 1.01.2021 roku (w przypadku budynków zajmowanych przez władze publiczne oraz będących ich własnością – od 1.01.2019 r.). Zgodnie z [1] i w myśl [3] za energooszczędne można uznać budynki, które charakteryzują się powierzchniowym wskaźnikiem sezonowego zapotrzebowania na ciepło EP_{H+W} poniżej **70 kWh/(m²·rok)** – dla budynku jednorodzinnego oraz poniżej **65 kWh/(m²·rok)** – dla budynku wielorodzinnego. Jednoczesne spełnienie kryterium cieplnego polega na utrzymaniu wysokiej termoizolacyjności wszystkich przegród otaczających ogrzewane wewnątrz: $U_c(U) \leq U_{c(max)}(U_{(max)})$, gdzie U_c , U , $U_{c(max)}$, $U_{(max)}$ – oznaczają odpowiednio: współczynnik przenikania ciepła określonej przegrody w budynku oraz jego dopuszczalną wartość maksymalną, ustaloną dla pewnej grupy przegród (ściany, stropodachy, posadzki na gruncie, okna, itp).

Zagadnienia fizyki cieplnej budowlanej sprowadzają się przede wszystkim do analizy cieplnej przegród zewnętrznych budynków, poddanych oddziaływaniom, zmiennych w czasie, temperatur zewnętrznych i wewnętrznych. W wielu przypadkach rozwiązanie przepływu ciepła sprowadza się do określenia przenikania ciepła przez płaską przegrodę budowlaną w polu jednowymiarowym (1D), bez uwzględnienia przepływu ciepła w polu dwuwymiarowym (2D) i trójwymiarowym (3D). Jednak realnym (rzeczywistym) polem wymiany ciepła jest zazwyczaj przegroda zewnętrzna jako fragment budynku, a więc połączona systemem złączy z przegrodami przylegającymi (stropem, ścianą zewnętrzną lub wewnętrzną lub podłogą na gruncie). Jeżeli powstałe płaskie lub przestrzenne pole temperatur w istotny sposób zmienia ukształtowany w polu jednowymiarowym prostoliniowy przebieg izoterm i adiabat – zakrzywiając je, wówczas można mówić o mostku cieplnym w przegrodzie lub złączy [4].

Należy podkreślić, że obecnie obliczane wartości współczynnika przenikania ciepła U_c oraz wartości graniczne $U_{c(max)}$, $U_{(max)}$ wg rozporządzenia [3], dla pojedynczej przegrody, nie uwzględniają dodatkowych strat ciepła wynikających z występowania mostków cieplnych. Ich udział uwzględnia się przy wyznaczaniu współczynnika strat ciepła przez przenikanie H_{Tr} .

Jakość cieplna elementów budynków jest określana także w postaci czynnika temperaturowego złączy w przegrodach budynku dla potwierdzenia wymagania: $f_{Rsi} \geq f_{Rsi(kryt)}$. Sprawdzenia wymagają wszystkie złącza (w zależności od ich rodzaju), obliczeniem w układzie dwu- lub trójwymiarowym i stanowią o istocie realizacji warunku niedopuszczenia do kondensacji powierzchniowej pary wod-

nej na przegrodach osłaniających budynek. Określenie czynnika temperaturowego f_{Rsi} w analizowanym złączu przegród zewnętrznych wymaga określenia temperatury minimalnej na wewnętrznej powierzchni przegrody oraz w miejscu mostka cieplnego, przy założeniu odpowiednich temperatur powietrza wewnętrznego (θ_i) i zewnętrznego (θ_e) i dla mostków cieplnych zastosowania przestrzennego modelu przegrody wg PN-EN ISO 10211:2008 [5]. Natomiast wymaganą wartość granicznego czynnika temperaturowego $f_{Rsi(kryt)}$ ustala się w funkcji temperatury t_i oraz wilgotności względnej powietrza ϕ_i [%], pomieszczenia, którego dotyczy. Wymienione parametry (temperatura wewnętrzna oraz wilgotność powietrza w pomieszczeniu) przesadzają o wartości czynnika temperaturowego $f_{Rsi(kryt)}$, decydującej granicy w ocenie poprawności rozwiązań konstrukcyjnych złącza. Wg normy PN-EN ISO 13788:2003 [6], czynnik temperaturowy $f_{Rsi(kryt)}$ oblicza się lub przyjmuje w zależności od zastosowanego w budynku rodzaju wentylacji (wentylacja grawitacyjna – dominująca w budownictwie mieszkaniowym lub wentylacja mechaniczna, będąca często składnikiem systemów klimatyzacyjnych, pozwalających w prawie dowolny sposób kształtować właściwości mikroklimatu wnętrza). W rozporządzeniu [1], mimo uznania normy PN-EN ISO 13788 [6] za obowiązującą w projektowaniu, istnieje odstępstwo od jej wymagań, polegające na przyjęciu średniej miesięcznej wilgotności względnej powietrza wewnętrznego w stałej wartości $\phi_i=0,50$ (50 %) (punkt 2.2.2 Załącznika nr 2 [1]) dla pomieszczeń z temperaturą wewnętrzną równą co najmniej 20°C. Równocześnie dopuszczono (bez obliczeń) dla tych pomieszczeń przyjmowanie wartości czynnika $f_{Rsi(kryt)} = 0,72$ co praktycznie oznacza rezygnację z ustalania klas wilgotności pomieszczeń zaopatrzonych w wentylację grawitacyjną.

Na podstawie przeprowadzonych analiz zaproponowano kompleksowy algorytm (schemat) określania parametrów fizykalnych w ocenie jakości cieplnej elementów budynku niskoenergetycznego (rysunek 1).

2. Obliczenia wybranych parametrów fizykalnych przegród zewnętrznych i złączy budynku

Kompleksowa ocena jakości cieplnej elementów budynków niskoenergetycznych obejmuje analizę szeregu parametrów fizykalnych.

W ramach pracy na wstępie określono parametry fizykalne wybranych złączy budowlanych ściany zewnętrznej trójwarstwowej (z ociepleniem w postaci płyty z pianki PIR gr. 12 cm o $\lambda=0,022$ W/(m·K), płyty z pianki PUR gr. 12 cm o $\lambda=0,035$ W/(m·K)), płyty styropianowej gr. 12 cm o $\lambda=0,040$ W/(m·K), przy zastosowaniu programu komputerowego TRISCO, zgodnie z zasadami opisanymi w PN-EN ISO 10211:2008 [5]. Wyniki obliczeń zestawiono w tabeli 1.

Wykonanie szczegółowych obliczeń, przy zastosowaniu programu komputerowego, pozwala na uzyskanie miarodajnych wyników parametrów fizykalnych. Ich wartości zależą od zastosowanego materiału budowlanego (konstrukcyjnego)

OCENA JAKOŚCI CIEPLNEJ ELEMENTÓW BUDYNKÓW NISKOENERGETYCZNYCH	
I. Określenie wartości współczynnika przenikania ciepła U/U_c (U_{1D}) [$W/(m^2 \cdot K)$] dla zewnętrznych przegród budowlanych: ściana zewnętrzna, stropodach, stolarka okienna, podłoga na gruncie wg obowiązujących metod obliczeniowych	
II. Określenie wartości liniowego współczynnika przenikania ciepła Ψ [$W/(m \cdot K)$] dla złączy budowlanych (mostków cieplnych) przy zastosowaniu programu komputerowego lub na podstawie profesjonalnych katalogów mostków cieplnych	
III. Określenie strat ciepła przez przenikanie przez przegrodę zewnętrzną: $H_D = U_c \cdot A_i + \sum \Psi_i \cdot l_i$ [W/K] / $H_g = A \cdot U + P \cdot (\Psi + \Psi_{g,e})$ [W/K]	III. Określenie strat ciepła przez przenikanie przez obudowę budynku (przegrody zewnętrzne): $H = H_D + H_g$ [W/K]
IV. Określenie współczynnika przenikania ciepła z uwzględnieniem mostków cieplnych: U_k (U_{2D}) = H_D/A [$W/(m^2 \cdot K)$]	IV. Określenie średniego współczynnika przenikania ciepła z uwzględnieniem mostków cieplnych: U_{sr} (U_{2D}) = H/A [$W/(m^2 \cdot K)$]
V. Określenie czynnika temperaturowego f_{Rsi} [-] na podstawie temperatury minimalnej na wewnętrznej powierzchni przegrody przy zastosowaniu programu komputerowego lub na podstawie katalogu mostków cieplnych	

Rys. 1. Algorytm oceny jakości cieplnej elementów budynków niskoenergetycznych

Fig. 1. Algorithm for thermal quality evaluation of low-energy building elements

Tabela 1. Wyniki obliczeń parametrów fizycznych złączy budowlanych – opracowanie własne na podstawie [8]

Table 1. Calculation results of building joint physical parameters – own research based on [8]

Parametry fizyczne przegród zewnętrznych i ich złączy						
wariant	I	II	III	I	II	III
U_c [$W/(m^2 \cdot K)$]	0,134	0,184	0,199	$t_{min.} [^{\circ}C] / f_{Rsi} [-]$		
Złącze	Ψ_i [$W/(m \cdot K)$]					
Z 1	0,057	0,070	0,074	16,48 / 0,912	15,43 / 0,886	15,12 / 0,875
Z 2	0,035	0,048	0,051	18,46 / 0,961	17,90 / 0,948	17,73 / 0,943
Z 3	0,043	0,059	0,065	18,37 / 0,959	17,69 / 0,942	17,47 / 0,937
Z 4	0,039	0,056	0,063	17,37 / 0,934	16,80 / 0,920	16,60 / 0,915
Z 5	0,017	0,022	0,024	13,64 / 0,841	13,08 / 0,827	12,84 / 0,821
Z 6	0,032	0,034	0,035	16,01 / 0,900	15,43 / 0,886	15,24 / 0,881
Z 7	0,137	0,159	0,168	15,89 / 0,897	14,78 / 0,869	14,41 / 0,860
Z 8	0,071	0,087	0,095	17,91 / 0,948	17,32 / 0,933	17,12 / 0,928
Z 9	0,265	0,327	0,349	14,34 / 0,858	13,99 / 0,850	13,87 / 0,847

Z1 – Połączenie ścian zewnętrznych w narożniku, Z2 – Połączenie ściany zewnętrznej z wewnętrzną, Z3 – Połączenie ściany zewnętrznej ze stropem w przekroju przez wieniec, Z4 – Połączenie ściany zewnętrznej z oknem w przekroju przez nadproże, Z5 – Połączenie ściany zewnętrznej z oknem w przekroju przez podokiennik, Z6 – Połączenie ściany zewnętrznej z oknem w przekroju przez ościeżnicę, Z7 – Połączenie ściany zewnętrznej ze stropodachem, Z8 – Połączenie ściany zewnętrznej z płytą balkonową (przy zastosowaniu łącznika izotermicznego), Z9 – Połączenie ściany zewnętrznej z podłogą na gruncie

go), rodzaju i grubości izolacji cieplnej oraz ukształtowania struktury materiałowej analizowanego złącza. Posługiwanie się wartościami przybliżonymi i orientacyjnymi, np. w oparciu o PN-EN ISO 14683:2008 [7], staje się nieuzasadnione, ponieważ nie uwzględniają zmiany układów materiałowych oraz rodzaju i grubości izolacji cieplnej.

Uwzględnienie realnie występujących w przegrodach dwu- i trójwymiarowych przepływów ciepła może prowadzić do znaczących różnic wartości parametrów cieplnych (U , H), charakteryzujących przegrody tego samego budynku. Przegrody (np. ściany zewnętrzne) z dużą powierzchnią otworów okiennych lub z niektórymi, trudnymi w ograniczeniu mostkami cieplnymi (balkony, nadproża, narożniki), mogą posiadać wysokie wartości współczynnika U i stwarzać zagrożenie kondensacji wilgoci na wewnętrznej powierzchni przegród.

W drugim etapie obliczeń określono straty ciepła przez ścianę parteru budynku (z oknem różnej wielkości) z uwzględnieniem liniowych mostków cieplnych. Do obliczeń zastosowano wartości Ψ_i [$W/(m \cdot K)$], określone w pierwszym etapie obliczeń – tabela 1. Wyniki parametrów cieplnych określonych wg kompleksowego algorytmu (rysunek 1) zestawiono w tabeli 2.

W trzecim etapie obliczeń określono parametry cieplne dla całego budynku jednorodzinne z uwzględnieniem strat ciepła przez pojedyncze przegrody i przepływu ciepła w polu 2D (w postaci liniowych mostków cieplnych). Wyniki obliczeń zestawiono w tabeli 3.

Udział mostków cieplnych w całkowitych stratach ciepła przez zewnętrzne przegrody zewnętrzne jest znaczący. Metodyka ich uwzględniania wg rozporządzenia [9] jest dyskusyjna, jej stosowanie może skutkować znaczną rozbieżnością wyników obliczeń w odniesieniu do danego budynku, w zależności od podejścia projektanta (certyfikatora).

Tabela 2. Wyniki obliczeń parametrów cieplnych ścian zewnętrznych budynku – opracowanie własne

Table 2. Calculation results of physical parameters of building external walls – own research

Analizowane parametry ścian	ściana I			ściana II		
	współczynnik przenikania ciepła ściany zewnętrznej U_c (U_{1D})	0,134	0,184	0,199	0,134	0,184
straty ciepła wynikające z występowania liniowych mostków cieplnych: $\sum \Psi_i \cdot l_i$ [W/K]	1,30	1,41	1,47	1,13	1,19	1,23
całkowite straty ciepła przez ścianę zewnętrzną: $H_{D1} = U_c \cdot A_{o1} + \sum \Psi_i \cdot l_i$ [W/K]	2,60	3,19	3,40	3,35	4,24	4,53
pole powierzchni ściany zewnętrznej z uwzględnieniem złączy budowlanych: A_{o1}	14,65			21,55		
współczynnik przenikania ciepła ściany zewnętrznej z uwzględnieniem liniowych mostków cieplnych: $U_{2D} = H_{D1} / A_{o1}$	0,18	0,22	0,23	0,16	0,20	0,21

Tabela 3. Wyniki obliczeń parametrów cieplnych przegród zewnętrznych budynku – opracowanie własne

Table 3. Calculation results of thermal parameters of external building partitions – own research

Parametry cieplne elementów budynku	wariant I	wariant II	wariant III
U_{ID}^{**} [W/(m ² ·K)]			
- ściany zewnętrznej:	0,134	0,184	0,199
- przegrody przezroczystej:	0,90	0,90	0,90
- stropodachu:	0,102	0,165	0,187
- podłogi na gruncie:	0,13	0,20	0,21
H_D^{**} [W/K] / U_{2D}^{***} [W/(m ² ·K)]			
- pojedyncze ściany zewnętrzne:	10,34 / 0,22	12,22 / 0,26	12,84 / 0,27
	15,90 / 0,33	17,52 / 0,37	18,05 / 0,38
	11,00 / 0,22	12,74 / 0,25	13,37 / 0,27
	8,81 / 0,17	10,89 / 0,22	11,56 / 0,23
- wszystkie ściany zewnętrzne:	46,05 / 0,23	53,37 / 0,27	55,82 / 0,28
- stropodach:	9,45 / 0,12	13,80 / 0,18	15,33 / 0,20
- podłoga na gruncie:	16,79 / 0,22	24,21 / 0,32	26,20 / 0,34
- cała obudowa budynku:	72,29 / 0,21	91,38 / 0,26	97,35 / 0,28
^{*)} U_{ID} – wartość współczynnika przenikania ciepła przegród zewnętrznych w polu jednowymiarowym [W/(m ² ·K)] ^{**)} H_D – współczynnik strat ciepła przez przenikanie z uwzględnieniem liniowych mostków cieplnych [W/K] ^{***)} U_{2D} – wartość współczynnika przenikania ciepła przegród zewnętrznych z uwzględnieniem przepływu ciepła w polu dwuwymiarowym [W/(m ² ·K)]			

3. Podsumowanie i wnioski

Ocena jakości cieplnej elementów budynku niskoenergetycznego powinna obejmować kompleksową analizę parametrów fizykalnych przegród zewnętrznych z uwzględnieniem wpływu mostków cieplnych (rysunek 1).

Przedstawione powyżej oraz w pracach [4, 10] przykłady obliczeniowe potwierdzają potrzebę prowadzenia dokładnych obliczeń przy zastosowaniu programów komputerowych z uwzględnieniem parametrów powietrza wewnętrznego i zewnętrznego. Obniżanie wartości granicznych współczynników przenikania ciepła U_{max} bez uwzględniania przepływów ciepła w polu (2D) i (3D) czyli mostków cieplnych, powoduje rzeczywiste dopuszczenie większych strat ciepła przez przegrody budowlane i ich złącza. Ponadto zasadne staje się określenie wartości granicznych liniowego współczynnika przenikania ciepła Ψ_{max} na poziomie 0,10÷0,20 W/(m·K) w zależności od specyfiki analizowanego złącza, podobnie jak wg wytycznych NFOŚiGW [11] w zakresie projektowania budynków w standardzie NF15 i NF40. Sformułowanie wartości granicznych wskaźnika zapotrzebowania na energię użytkową EU ograniczy także negatywny wpływ strat w miejscu występowania mostków cieplnych.

Analizując złącza ścian zewnętrznych (tabela 1) można stwierdzić, że nie występuje ryzyko kondensacji powierzchniowej pary wodnej, ponieważ obliczone wartości czynników temperaturowych f_{Rsi} [-] są większe od wartości granicznej czynnika temperaturowego $f_{Rsi, (kryt.)}$ [-]. Wartość graniczna (krytyczna) czynnika temperaturowego, przy uwzględnieniu parametrów powietrza wewnętrznego i zewnętrznego, analizowanych wariantów obliczeniowych wynosi $f_{Rsi, (kryt.)} = 0,778$.

Literatura

- [1] Uchwała Rady Ministrów z dnia 22 czerwca 2015 r. w sprawie przyjęcia „Krajowego planu mającego na celu zwiększenie liczby budynków o niskim zużyciu energii”.
- [2] Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. – Prawo budowlane (DzU z 2013 r. poz. 1409, z późn. zm.).
- [3] Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowania (DzU z 2013 r., poz. 926).
- [4] Dylla A., Praktyczna fizyka ciepła budowli. Szkoła projektowania złączy budowlanych. Wydawnictwo Uczelniane UTP w Bydgoszczy, Bydgoszcz 2009.
- [5] PN-EN ISO 10211:2008 Mostki cieplne w budynkach. Strumienie ciepła i temperatury powierzchni. Obliczenia szczegółowe.
- [6] PN-EN ISO 13788: 2003 Ciepłno-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku. Temperatura powierzchni wewnętrznej umożliwiająca uniknięcie krytycznej wilgotności powierzchni wewnętrznej kondensacji. Metody obliczania.
- [7] PN-EN ISO 14683:2008 Mostki cieplne w budynkach. Liniowy współczynnik przenikania ciepła. Metody uproszczone i wartości orientacyjne.
- [8] Walczak S., Analiza numeryczna złączy ścian zewnętrznych trójwarstwowych w świetle nowych wymagań cieplnych, Praca magisterska napisana pod kierunkiem dr. inż. Krzysztofa Pawłowskiego. Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszcz, Bydgoszcz 2015.
- [9] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw charakterystyki energetycznej. (Dz.U. z 2015 r., poz. 376).
- [10] Pawłowski K., Projektowanie przegród zewnętrznych w świetle aktualnych warunków technicznych dotyczących budynków. Obliczenia ciepłno-wilgotnościowe przegród zewnętrznych i ich złączy, Wydawnictwo Grupa Medium, Warszawa 2016.
- [11] Wymagania określające podstawowe wymogi niezbędne do osiągnięcia oczekiwanych standardów energetycznych dla budynków mieszkalnych oraz sposób weryfikacji projektów i sprawdzania wykonywanych domów energooszczędnych, www.nfosigw.gov.pl.

THE ANALYSIS OF PHYSICAL PARAMETERS IN THE QUALITY ASSESSMENT OF THERMAL ELEMENTS LOW-ENERGY BUILDINGS

Summary

Fulfillment of obligatory technical requirements for thermal protection within the low-energy standard consists in checking a number of parameters of the entire building, but also its external walls and their joints. Their definition according to the legal regulations and subject standards raises many doubts and ambiguities about calculation procedures and interpretations of physical issues. The basic goal of this work is the analysis of heat flow influence in the area of thermal bridges (2D) with evaluation of thermal insulation of external walls and their joints.

For some building physical parameters external walls and joints were determined: heat-transfer coefficient U [$W/(m^2 \cdot K)$] for external walls, linear heat-transfer coefficient Ψ [$W/(m \cdot K)$] of thermal bridges using a TRISCO software, temperature distribution in the analyzed joints of construction and on the basis on a minimum temperature on the internal surface of the wall $\theta_{si,min}$ [$^{\circ}C$] (temperature factor f_{Rsi} [-]).

On the basis of calculations and analyses it has been proposed changes to the existing notation in the "Specifications" and complex method in the evaluation of the thermal quality of low-energy buildings insulation. The aspiration to fulfillment the low-energy buildings standards should be based on clear, precise rules and should be determined on the basic principles of the broadly defined "Construction Physics" with use of modern numerical tools. Building insulation (external walls and their joints) should be an essential aspect in the assessment of the heat and energy quality of the whole building.

Keywords: low-energy building, thermal quality, physical parameters

Przesłano do redakcji: 07.06.2016 r.

Przyjęto do druku: 30.06.2016 r.

DOI: 10.7862/rb.2016.6