

Krzysztof Kasperkiewicz*

OKREŚLENIE OPORU CIEPLNEGO ZŁOŻONEGO SYSTEMU IZOLACJI CIEPLNEJ MOCOWANEGO DO PODŁOŻA ZA POMOCĄ ŁĄCZNIKÓW MECHANICZNYCH

Wielkością charakteryzującą izolacyjność cieplną złożonego systemu izolacji cieplnej systemu ocieplenia ściany zewnętrznej jest jego opór cieplny. W artykule przeanalizowano zasady obliczeń oporu cieplnego takiego systemu podane w ETAG 004, ich zastosowanie praktyczne w projektach aprobat europejskich oraz podano nową metodę określania oporu cieplnego systemu w przypadku zastosowania łączników mechanicznych do mocowania płyt izolacyjnych do podłoża.

1. Wprowadzenie

Złożone systemy izolacji cieplnej z wyprawami tynkarskimi [1] nazywane były dotychczas w Polsce bezspoinowymi systemami ocieplania ścian zewnętrznych budynków [2]. Podstawowymi elementami składowymi tych systemów są:

- warstwa izolacyjna z płyt styropianowych lub z wełny mineralnej,
- jedno- lub kilkuwarstwowy tynk zbrojony nakładany na budowie na materiał termoizolacyjny.

Rozróżnia się cztery sposoby mocowania płyt termoizolacyjnych do podłoża:

- klejowe,
- klejowe z dodatkowym zastosowaniem łączników mechanicznych,
- mechaniczne z zastosowaniem łączników mechanicznych,
- mechaniczne z dodatkowym zastosowaniem masy klejowej.

W Polsce najczęściej stosowanym obecnie sposobem mocowania płyt do powierzchni ścian jest przyklejanie ich do podłoża z jednoczesnym mocowaniem mechanicznym za pomocą łączników. Według Instrukcji ITB nr 334/2002 [2] stosowanie łączników jest zawsze wymagane w przypadku izolacji wykonywanych z wełny mineralnej, a w przypadku izolacji ze styropianu

- w budynkach wyższych od 12 m,
- przy grubości warstwy styropianu przekraczającej 15 cm.

* dr inż. – adiunkt w Zakładzie Fizyki Ciepłej ITB

2. Zasady wyrażania izolacyjności cieplnej systemów według ETAG 004 [1]

Izolacyjność cieplna systemów izolacji określana jest przez podanie dodatkowego oporu cieplnego ΔR , jaki ściana uzyskuje przez zainstalowanie systemu ociepleniowego na jej powierzchni. W taki sam sposób, tzn. przez podanie ΔR_{\min} , sformułowane są wymagania odnośnie do minimalnej izolacyjności cieplnej systemu [1], [2].

W przypadku kiedy mocowanie płyt izolacyjnych do podłoża odbywa się bez użycia łączników mechanicznych, dodatkowy opór cieplny systemu ocieplenia ΔR oblicza się z podstawowej zależności

$$\Delta R = \frac{e}{\lambda} + R_t, \quad \text{m}^2 \cdot \text{K/W} \quad (1)$$

gdzie: e – grubość płyty izolacyjnej, m,

λ – obliczeniowa wartość współczynnika przewodzenia ciepła materiału izolacyjnego, W/(m·K),

R_t – opór cieplny warstwy wyprawy tynkarskiej, m²·K/W.

W ETAG 004 [1] przyjęto, że wartość R_t wynosi około 0,02 m²·K/W i ta wartość przyjmowana jest w europejskich aprobatkach technicznych dotyczących systemów izolacji cieplnej [3–8]. Wartość ta jest dolnym oszacowaniem oporu cieplnego wyprawy tynkarskiej, ponieważ odpowiada jej grubości, równej około 2,0 mm.

Obliczenia oporu cieplnego systemu ocieplenia znacznie się komplikują w przypadku zastosowania łączników mechanicznych do mocowania płyt z materiału termoizolacyjnego do podłoża. W miejscach zainstalowania łączników tworzą się punktowe mostki cieplne, których wpływ na izolacyjność cieplną całej przegrody jest uwzględniany w postaci dodatku $\Delta\chi$ do współczynnika przenikania ciepła przegrody U [9]. W ETAG 004 wartość tego dodatku obliczana jest z zależności

$$\Delta\chi = \chi_p n, \quad \text{W/(m}^2 \cdot \text{K)} \quad (2)$$

gdzie: χ_p – współczynnik przenikania ciepła charakteryzujący punktowy mostek cieplny spowodowany łącznikiem, W/K,

n – liczba łączników na 1 m² przegrody, m⁻².

W ETAG 004 przyjęto następujące założenia do obliczania wartości $\Delta\chi$:

1) $\chi_p = 0,004$ W/K w przypadku łączników ze śrubami wykonanymi z galwanizowanej stali z główką pokrytą tworzywem sztucznym,

2) $\chi_p = 0,002$ W/K w przypadku łączników ze śrubami wykonanymi ze stali nierdzewnej z główką jw.,

3) wpływ punktowych mostków cieplnych należy uwzględniać w obliczeniach cieplnych przegrody jedynie wtedy, gdy $\Delta\chi > 0,04$ W/(m²·K), tzn. jeżeli liczba łączników na 1 m² przegrody jest większa od 10 – w przypadku śrub z galwanizowanej stali, lub 20 – w przypadku śrub ze stali nierdzewnej.

Założenia te, a szczególnie ostatnie z nich, są dyskusyjne. Współczynnik przenikania ciepła ścian w budynkach obecnie wznoszonych kształtuje się na poziomie 0,3 W/(m²·K).

W związku z tym pominięciem w obliczeniach dodatku do tego współczynnika, wynoszącego na przykład 0,035 W/(m²·K), co według ETAG 004 jest dopuszczalne, powoduje zaniżenie wartości współczynnika o około 10%.

W zmianie do EN ISO 6946 [9], przyjętej na posiedzeniu CEN/TC 89 w lutym 2004 r., podano nową metodę obliczania dodatku do współczynnika przenikania ciepła ze względu na łączniki mechaniczne, według której dodatek ten oblicza się ze wzoru

$$\Delta U_f = \alpha \frac{\lambda_f A_f n_f}{d_i} \left(\frac{R_i}{R_T} \right)^2, \quad \text{W/(m}^2 \cdot \text{K)} \quad (3)$$

gdzie: α – współczynnik, $\alpha = 0,8$,

λ_f – współczynnik przewodzenia ciepła materiału łącznika, W/(m·K),

A_f – pole przekroju poprzecznego łącznika, m²,

n – liczba łączników na metr kwadratowy powierzchni ściany, 1/m²,

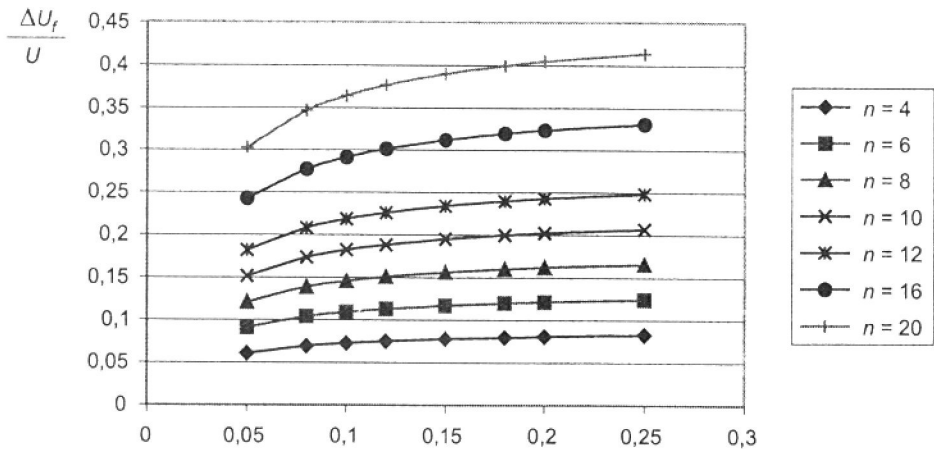
d_i – długość łącznika w warstwie izolacyjnej, m,

R_i – opór cieplny warstwy izolacyjnej, przez którą przechodzą łączniki, m²·K/W,

R_T – opór cieplny wszystkich warstw przegrody, m²·K/W.

Przekształcając wzór (3), można łatwo obliczyć stosunek dodatku ΔU_f do współczynnika przenikania ciepła obliczonego bez uwzględnienia punktowych mostków cieplnych:

$$\frac{\Delta U_f}{U} = \alpha \frac{\lambda_f A_f n_f R_i^2}{d_i R_T} \quad (4)$$



Rys. 1. Zależność $\frac{\Delta U_f}{U}$ od liczby łączników i grubości warstwy ocieplającej

Fig. 1. $\frac{\Delta U_f}{U}$ in function of number of fasteners and thickness of the insulation layer

Na rysunku 1 pokazano zależność $\frac{\Delta U_f}{U} = f(d_i, n)$ obliczoną przy następujących założeniach:

• łącznik mechaniczny przechodzi przez całą grubość warstwy izolacji, tzn. $d_i = e$,

• łączniki wykonano ze zwykłej skali $\lambda_f = 58 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$,

• średnica pojedynczego łącznika $\Phi = 0,005 \text{ m}$,

• opór cieplny ściany łącznie z oporami przejmowania ciepła wynosi $0,63 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ (ściana z cegły kratówki o grubości 25 cm),

• izolację cieplną wykonano ze styropianu o przewodności cieplnej $\lambda_{st} = 0,04 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$.

Z rysunku wynikają następujące wnioski:

• Zasadniczy wpływ na wielkość dodatku do współczynnika przenikania ciepła ma liczba zastosowanych łączników mechanicznych.

• Nieuwzględnienie tego wpływu już przy 6 łącznikach przypadających na 1 m^2 ściany powoduje niedoszacowanie wartości współczynnika przenikania ciepła przegrody przekraczające 10%, a zatem wykonywanie obliczeń cieplnych zgodnie z założeniami podanymi w ETAG 004 obarcza ich wyniki dużymi błędami.

W związku z powyższym celowe jest opracowanie metody obliczeniowej dotyczącej uwzględniania wpływu łączników mechanicznych na wartość oporu cieplnego systemu ocieplenia, zwłaszcza że zależności podane w dotychczas przesłanych do ITB w celu uzgodnień projektach Europejskich Aprobatach Technicznych (*External Thermal Insulation with Composite System – ETICS*) są błędne, a metodę można uogólnić na inne przypadki zewnętrznego ocieplenia przegród, na przykład płytami warstwowymi jednostronnymi.

W projektach tych podano następujące wzory na dodatkowy opór cieplny systemu izolacji cieplnej [3–8]:

$$R' = R_{ins} + R_{render} + \frac{1}{\chi_p n} \quad (5a)$$

lub

$$R'' = R_{ins} + R_{render} - \frac{1}{\chi_p n} \quad (5b)$$

gdzie: R_{ins} – opór cieplny warstwy izolacyjnej, $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$,

R_{render} – opór cieplny warstwy tynku, $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$,

χ_p, n – według oznaczeń w poprzednich wzorach.

W projektach aprobat [3], [4] opór cieplny systemu obliczony był z zależności (5a), a w projektach aprobat [5], [6] z zależności (5b).

Obydwie postacie wzoru są błędne, co można łatwo wykazać, przyjmując do obliczeń wartość $\chi_p n = 0,05 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$. Odwrotność tej liczby jest równa $20 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$, a jej dodanie do pozostałych składników równania (6) sprawia, że otrzymana wartość oporu cieplnego jest bardzo duża i to właśnie dzięki zastosowaniu łączników, które w rzeczywistości pogarszają izolacyjność cieplną ocieplenia. W przypadku zastosowania 10 cm styropianu o przewodności cieplnej $0,040 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ opór cieplny systemu izolacji osiąga $22,52 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$, przy czym prawie 90% tego oporu jest wynikiem zastosowania łączników mechanicznych, co jest oczywistym absurdem. Odjęcie $20 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ od pozostałych składników

wzoru (6) sprawia, że wartość oporu cieplnego staje się ujemna, co nie ma sensu fizycznego.

W aprobach europejskich można spotkać także zależność [7], [8]

$$U = \frac{1}{\left(\frac{1}{R_{ins}} + \frac{1}{R_{render}}\right) + \chi_p^n} \quad (6)$$

Wzór ten, tak samo jak poprzednie (5a) i (5b), jest nieprawidłowy, o czym się można łatwo przekonać, podstawiając do niego dane liczbowe, a ponadto jest niepoprawny formalnie – współczynnik przenikania ciepła można określać tylko w odniesieniu do całej przegrody, a nie do wybranych jej warstw.

3. Metoda uwzględniania wpływu punktowych mostków cieplnych na opór cieplny warstwy izolacji termicznej

Zmniejszenie oporu cieplnego przegrody na skutek jej mocowania przy zastosowaniu łączników mechanicznych ΔR_{mp} oblicza się z równania

$$R' + R_{ins} + R_{render} - \Delta R_{mp} = \frac{1}{U + \Delta\chi} \quad (7)$$

gdzie: R' – opór cieplny ściany przed zainstalowaniem systemu izolacji obliczony łącznie z oporami przejmowania ciepła, $m^2 \cdot K/W$,

$$U = \frac{1}{R' + R_{ins} + R_{render}}$$

Rozwijając prawą stronę równania (7) względem zmiennej wartości $\Delta\chi$ w szereg potęgowy McLaurina i przyjmując do obliczeń tylko dwa pierwsze wyrazy rozwinięcia, po przekształceniach otrzymuje się

$$\Delta R_{mp} \cong \left(R' + R_{ins} + R_{render}\right)^2 \Delta\chi, \quad m^2 \cdot K/W \quad (8)$$

Podstawiając do równania (8) prawą stronę zależności (3) w miejsce $\Delta\chi$, otrzymuje się

$$\Delta R_{mp} \cong \left(R' + R_{ins} + R_{render}\right)^2 \alpha \frac{\lambda_f A_f n_f}{d_i} \left(\frac{R_i}{R_T}\right)^2 \quad (9)$$

Uwzględniając, że

$$\left(R' + R_{ins} + R_{render}\right) = R_T \quad (10)$$

zależność (9) przekształca się do postaci nie będącej funkcją oporu cieplnego ściany przed zainstalowaniem systemu izolacji:

$$\Delta R_{mp} = \alpha \frac{\lambda_f A_f n_f}{d_i} R_i^2, \quad m^2 \cdot K/W \quad (11)$$

Stosując tę zależność, dodatkowy opór cieplny systemu izolacji oblicza się za pomocą wzoru

$$\Delta R = R_{ins} + R_{render} - \alpha \frac{\lambda_f A_f n_f}{d_i} (R_{ins} + R_{render})^2, \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \quad (12)$$

4. Obliczenia sprawdzające poprawność metody

W celu oceny dokładności zaproponowanej przybliżonej metody obliczeń oporu cieplnego warstwy ocieplającej ścianę zewnętrzną rozpatrzono zastosowanie systemu ocieplenia na dwu ścianach zewnętrznych budynku:

- na ścianie z betonu zbrojonego o grubości 20 cm, otynkowanej od wewnątrz warstwą tynku cementowo-wapiennego o grubości 1,5 cm,
- na ścianie z bloczków z betonu komórkowego odmiany 07 o grubości 32 cm, tak samo otynkowanej od wewnątrz.

W przypadku każdej ze ścian do obliczeń przyjęto graniczne wartości grubości płyty izolacyjnej równe 5 i 25 cm oraz liczbę łączników mechanicznych równą 6 szt./m². Obliczenia przeprowadzono przy założeniu, że łączniki są wykonane ze stali zwykłej, a ich średnica jest równa 5 mm. W odniesieniu do płyty izolacyjnej o grubości 25 cm wykonano dodatkowe obliczenia, przy założeniu liczby łączników równej 16 szt./m².

Dokładne wartości dodatkowego oporu cieplnego systemu izolacji ΔR_d w każdym rozpatrywanym przypadku obliczono z zależności

$$\Delta R_d = R_c - R', \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \quad (13)$$

gdzie: R_c – całkowity opór cieplny ściany ocieplonej przy zastosowaniu przedmiotowego systemu, obliczony z uwzględnieniem wpływu łączników mechanicznych:

$$R_c = \frac{1}{U + \Delta \chi}, \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \quad (14)$$

R' – opór cieplny ściany przed ociepleniem, m²·K/W, a wartości przybliżone tego oporu ΔR z zależności (12).

Wyniki obliczeń zestawiono w tabelicy 1. W przypadku niewielkiej liczby łączników mechanicznych proponowana metoda przybliżona obliczania dodatkowego oporu cieplnego systemu ocieplenia zapewnia dobrą zgodność wyników z wynikami otrzymanymi metodą dokładną, niezależnie od grubości warstwy materiału izolacyjnego i rodzaju ocieplanej ściany. Dokładność metody przybliżonej jest tym mniejsza, im większa jest liczba łączników mechanicznych. Przypadki, w których stosuje się dużą liczbę łączników, są rzadkie w praktyce, ponieważ zaleca się stosowanie [2]:

- od 4 do 5 łączników na 1 m² w przypadku ocieplenia wykonanego ze styropianu,
- od 4 do 6 łączników na 1 m² w przypadku ocieplenia wykonanego z wełny mineralnej.

Tablica 1. Porównanie dokładnych i przybliżonych wartości dodatkowego oporu cieplnego systemu ocieplenia

Table 1. Comparison of exact and approximate values of the additional thermal resistance of the external thermal insulation system

Ocieplana ściana	Grubość izolacji cieplnej	Liczba łączników mechanicznych	Dodatkowy opór cieplny systemu izolacji		Błąd metody przybliżonej
			wartość dokładna ΔR_d	wartość przybliżona ΔR	
	cm	szt./m ²	m ² K/W		%
Ściana żelbetowa o grubości 20 cm	5	6	1,111	1,094	1,6
	25	6	5,508	5,410	1,8
		16	4,570	3,980	13,0
Ściana z betonu komórkowego o grubości 32 cm	5	6	1,106	1,094	1,1
	25	6	5,499	5,410	1,6
		16	4,522	3,980	12,0

Pominięcie wpływu łączników mechanicznych – co według założeń do obliczeń cieplnych podanych w ETAG 004 w przypadku liczby łączników mechanicznych zalecanych w instrukcji [2] jest możliwe – powoduje znaczne zawyżenie wartości oporu cieplnego warstwy ocieplającej. Procentowy błąd obliczeń wykonanych tą metodą, przy liczbie łączników równej 6 szt./m², podano w tablicy 2.

Tablica 2. Zawyżenie wartości dodatkowego oporu cieplnego systemu ocieplenia spowodowane pominięciem wpływu 6 łączników mechanicznych przypadających na m²

Table 2. Overestimation of values for the additional thermal resistance of the external thermal insulation system due to neglecting the influence of 6 mechanical fasteners per m²

Grubość izolacji cieplnej	Dodatkowy opór cieplny systemu izolacji		Błąd metody
	wartość bez uwzględnienia wpływu łączników	wartość przybliżona ΔR	
cm	m ² K/W		%
5	1,270	1,094	16,1
25	6,270	5,410	15,9

5. Podsumowanie

Analitycznie wykazano, że w celu zapewnienia dokładności obliczeń dodatkowego oporu cieplnego systemów izolacji cieplnej mocowanych na zewnętrznych powierzch-

niach ścian budynków niezbędne jest w każdym przypadku – niezależnie od liczby zastosowanych łączników mechanicznych, uwzględnianie ich wpływu na wartość tego oporu. Nieuwzględnienie wpływu tych łączników powoduje zawyżenie wartości oporu cieplnego warstwy ocieplającej aż o około 20 %, czego nie powinno się dopuszczać w obliczeniach technicznych.

Opracowana metoda pozwala w łatwy sposób uwzględnić wpływ łączników mechanicznych na opór cieplny systemu ociepleniowego niezależnie od rodzaju podłoża, na którym mocuje się ocieplenie. Metoda ta powinna być wprowadzona do ETAG 004 podczas jego nowelizacji.

Bibliografia

- [1] ETAG nr 004 – Guidelines for European Technical Approval of External Thermal Insulation Composite Systems with Rendering – Edition March 2000 – tłumaczenie na język polski z października 2003 r.
- [2] Rydz. Z., Pogorzelski J. A., Wójtowicz M.: Bezspoinowy system ocieplania ścian zewnętrznych budynków. Instrukcja ITB nr 334/2002. ITB, Warszawa 2002
- [3] Projekt Europejskiej Aprobaty Technicznej na system ETICS: JUBIZOL S, OIB 2003
- [4] Projekt Europejskiej Aprobaty Technicznej na system ETICS: JUBIZOL MP/JUBIZOL ML, OIB 2003
- [5] Projekt Europejskiej Aprobaty Technicznej na system ETICS: editherm motex 2/terrat-herm motex 2, CSTB 2003
- [6] Projekt Europejskiej Aprobaty Technicznej na system ETICS: ISOFARGE, CSTB
- [7] Projekt Europejskiej Aprobaty Technicznej na system ETICS: AMATERM, CSTB 2003
- [8] Projekt Europejskiej Aprobaty Technicznej na system ETICS: AMATERM 100, CSTB 2003
- [9] PN-EN ISO 6946:1999 Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania
- [10] CEN/TC 89 N 902 E: EN ISO 6946:1996, Draft amendment 2: Annex D.3, Correction for mechanical fasteners, December 2003

DETERMINATION OF THERMAL RESISTANCE FOR AN EXTERNAL THERMAL COMPOSED INSULATION SYSTEM USING MECHANICAL FIXING DEVICES

Summary

Thermal insulation of an external thermal composed insulation system is qualified by its thermal resistance. In paper, the principles of thermal calculations for such a system given in the ETAG 004 and their practical applications in drafts of European Technical Approvals are discussed. The paper gives a proposal of method for calculation of thermal resistance for an external insulation system which allows for taking into consideration of the influence of mechanical fixing devices.

Praca wpłynęła do Redakcji 4 III 2004