

Klasyfikacja imperfekcji cieplnych systemu ETICS

Classification of thermal imperfection of ETICS systems

DOI: 10.15199/33.2022.06.05

Streszczenie. W artykule przedstawiono problematykę występowania imperfekcji strukturalnych złożonych systemów ociepleń ścian zewnętrznych. Analiza ilościowa nieprawidłowości, bazująca na badaniach in situ, którą przeprowadziłem, umożliwiła zaproponowanie klasyfikacji imperfekcji cieplnych systemu ETICS w postaci defektów i dyslokacji cieplnych, także z niekontrolowaną infiltracją powietrza. Znajomość charakterystycznych wielkości, które je opisują, pozwala na powiązanie ich z rzeczywistą izolacyjnością termiczną ścian zewnętrznych.

Słowa kluczowe: system ETICS; imperfekcje cieplne; defekt cieplny; dyslokacja cieplna.

Abstract. The article deals with the issues related to the occurrence of structural imperfections of complex wall insulation systems. The aim of the work is to determine the influence of ETICS imperfections on the thermal protection condition of external walls. Additionally, a classification of thermal defects and dislocations, which constitute an irregularity in the implementation of ETICS systems, along with uncontrolled air infiltration occurring in selected cases, was proposed. The knowledge of the characteristic quantities describing them allows to correlate them with the actual thermal insulation of external walls.

Keywords: ETICS System; thermal imperfection; thermal defect; thermal dislocation.

ETICS stanowi złożony system zewnętrznej izolacji termicznej ścian, w skład którego wchodzi komponenty o zróżnicowanych właściwościach fizycznych. Termoizolacja wraz z warstwą zbrojoną i tynkiem jest składową obudowy budynku, narażonej na oddziaływanie zmiennych warunków środowiska po obu stronach przegrody. Skutkiem tego są niekorzystne zmiany właściwości fizycznych, mechanicznych i chemicznych poszczególnych komponentów systemu ociepleń oraz wzajemnych ich połączeń.

W artykule przedstawiono wyniki badań in situ imperfekcji złożonych systemów ociepleń ETICS wraz z propozycją autorskiej klasyfikacji nieprawidłowości wpływających na izolacyjność termiczną ścian zewnętrznych.

Nieprawidłowości systemu ETICS

Wykonywanie ociepleń ścian zewnętrznych skutkuje występowaniem nieprawidłowości. Wiele z nich powoduje zwiększenie ilości zużywanej energii do celów ogrzewania [1]. Dodatkowo ich obecność wpływa na pogorszenie warunków komfortu cieplnego w budynku [2] oraz zmniejszenie trwałości systemów ociepleń [3]. Ważną kwestią są

nadmierne straty ciepła związane z błędami wykonawczymi. Znaczna ich liczba dotyczy wykonania termoizolacji [4]. Jakość przytwierdzenia termoizolacji do konstrukcji oraz wzajemne ich połączenie wpływają na stan ochrony cieplnej ścian zewnętrznych [5]. Najczęstszą przyczyną nieprawidłowości w systemie ETICS są błędy powstające na etapie wykonawczym [6]. Ma to związek z bezspoinowym charakterem układu, utrudniającym jego diagnostykę cieplną.

Wiele zespołów badawczych analizowało imperfekcje wraz z określeniem przyczyn ich powstawania. Duży wkład w tym zakresie miały badania 146 fasad budynków zlokalizowanych w Portugalii [7]. Dokonano klasyfikacji 51 rodzajów nieprawidłowości powstałych w różnym okresie użytkowania budynków. Scharakteryzowano wady występujące we wszystkich komponentach ociepleń. W [4] Liisma z zespołem stwierdził, że większość wad związana była ze spękaniem warstw elewacyjnych.

Ważnym problemem wpływającym na izolacyjność cieplną ścian zewnętrznych są nieciągłości występujące pomiędzy poszczególnymi elementami termoizolacji. Pojawienie się pionowych lub poziomych szczelin w izolacji cieplnej jest w wielu przypadkach nieuniknione. Ma to związek m.in. z tolerancjami wymiarowymi materiałów. W przypadku

polistyrenu spienionego dopuszczalne tolerancje wynoszą $\pm \delta = 2$ mm [8]. W skrajnych sytuacjach w przypadku sąsiadujących płyt EPS mogą pojawić się nieciągłości o szerokości $\delta = 4$ mm. Często przyczyną ich występowania są niedokładności powstałe na etapie realizacji, w tym związane z docięciem płyt, objawiające się krzywoliniowymi ich krawędziami [9].

Kolejnym czynnikiem mogącym wpływać na występowanie nieciągłości warstwy ocieplenia są jej deformacje. Taka sytuacja może występować w przypadku zastosowania polistyrenu z dodatkami atermicznymi, obniżającymi przewodność cieplną [10]. Bezpośredni wpływ na odkształcenie tego typu izolacji termicznej mają promieniowanie słoneczne o dużym natężeniu i wysoka temperatura otoczenia [11]. Inną przyczyną wpływającą na zmianę geometrii termoizolacji są procesy starzeniowe. W konsekwencji ich oddziaływania może nastąpić zmiana wymiarów płyt EPS dochodząca do 1,5 mm/m [12].

W celu rozpoznania tej tematyki w warunkach krajowych zrealizowałem badania diagnostyczne systemów ETICS na 140 budynkach. Ich celem była ocena rzeczywistej skali występowania imperfekcji cieplnych wraz z propozycją ich usystematyzowania na podstawie charakterystyk geometrycznych zaproponowanych w [13].

¹⁾ Politechnika Śląska; Wydział Budownictwa; pawel.krause@polsl.pl

Wśród imperfekcji strukturalnych można wyodrębnić takie, które wpływają na stan ochrony cieplnej ścian zewnętrznych, określone jako imperfekcje cieplne ETICS. Zalicza się do nich (fotografia):

- pionowe lub poziome nieciągłości warstwy termoizolacyjnej;
- fragmentaryczne ubytki elementów izolacji termicznej;
- nieszczelności systemu ociepleń, powodujące występowanie niekontrolowanej infiltracji powietrza w przestrzeni pomiędzy warstwą nośną i termoizolacyjną;
- pionowe warstwy powietrza na połączeniu izolacji cieplnej i warstwy nośnej, występujące wskutek wyłącznie punktowego klejenia termoizolacji do podłoża,
- zwiększoną szerokość pionowej warstwy powietrza na styku konstrukcji nośnej i termoizolacji, związaną z zastosowaniem nadmiernej grubości zaprawy klejącej;
- zwiększoną średnicę otworów na łączniki mechaniczne przebijającą warstwę termoizolacyjną.

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono w realizacji systemów ociepleń ETICS zróżnicowany sposób



Przykłady imperfekcji cieplnych ETICS

Fot. Autor
Examples of thermal imperfection of ETICS systems

nanoszenia zaprawy klejącej na warstwę izolacji cieplnej przytwierdzonej do podłoża (tabela 1). Przeważająca ich liczba dotyczyła wyłącznie punktowego nanoszenia zaprawy klejącej. W wielu przypadkach jej grubość skutkowała nadmiernym zwiększeniem szerokości pionowej warstwy powietrza znajdującej się pomiędzy termoizolacją a podłożem, dochodzącej w skrajnym przypadku do $\delta = 80$ mm (tabela 2). Dodatkowo w sytuacji punktowego nanoszenia zaprawy klejącej i braku zamknięcia przestrzeni powietrznej w obrębie dolnej krawędzi ocieplenia w wybranych przypadkach stwierdzono występowanie nieszczelności na krawędziach systemu ociepleń, skutkujących niekontrolowaną infiltracją powietrza. Często spotykaną imperfekcją cieplną było nieprawidłowe wykonanie wzajemnego połączenia płyt termoizolacyjnych. Zrealizowane odkrytki pozwoliły na stwierdzenie występowania zarówno pionowych, jak i poziomych nieciągłości pomiędzy poszczególnymi elementami izolacji termicznej o szerokości przekraczającej $\delta = 2$ mm (tabela 3). W wybranych przypadkach zostały one wypełnione zaprawą klejącą.

Tabela 1. Sposób nanoszenia zaprawy klejącej na warstwę termoizolacyjną [13]

Table 1. The method of applying the mortar on the thermal insulation layer [13]

Sposób nanoszenia zaprawy	Udział procentowy [%]
Pasmowo-punktowy	35
Punktowy	65

Tabela 2. Grubość zaprawy klejącej mocującej termoizolację do warstwy nośnej [13]

Table 2. Thickness of the mortar fixing the thermal insulation to the bearing layer [13]

Grubość zaprawy klejącej [mm]	Udział procentowy [%]
1 – 10	38
11 – 20	32
21 – 30	22
> 30	8

Tabela 3. Szerokość nieciągłości pomiędzy elementami termoizolacji [13]

Table 3. Width of discontinuities between elements of thermal insulation [13]

Szerokość nieciągłości [mm]	Udział procentowy [%]
1 – 2	86
3 – 5	30
6 – 10	18
11 – 20	6

Defekty i dyslokacje cieplne ETICS

Imperfekcje w postaci pionowych lub poziomych nieciągłości występujących na styku poszczególnych elementów termoizolacyjnych lub fragmentaryczne ich ubytki można określić jako **defekty cieplne ETICS**. Stanowią one miarę odchylenia temperatury na powierzchni ściany, w miejscu zmiany wielkości strumienia ciepła, w stosunku do temperatury na powierzchni przegrody poza obszarem zaburzenia jego przepływu. Pojęcie defektu cieplnego w zagadnieniach fizyki budowlanej jest tożsame z wadą dotyczącą stanu ochrony cieplnej elementu obudowy. Występowanie fragmentów zdefektowanych skutkuje zaburzeniem nieustalonego przepływu ciepła, powodując lokalną zmianę izolacyjności cieplnej ściany.

Uwzględniając przeprowadzone badania in situ, zaproponowałem **podział defektów cieplnych ETICS na trzy grupy** (tabela 4) [13]:

1) **defekty liniowe ETICS (LDE)** – w przypadku występowania na powierzchni warstwy termoizolacyjnej jednego liniowego wymiaru nieciągłości o jednolitym przekroju poprzecznym znacznie większego w porównaniu z drugim jego wymiarem (1). Wartość graniczną przyjęto na podstawie obserwacji i badań własnych. Defekty liniowe można podzielić na **defekty poziome** (ang. *linear horizontal defect*), oznaczone jako L_hDE i **defekty pionowe** L_vDE (ang. *linear vertical defect*). Występują one najczęściej w miejscach wzajemnych połączeń poszczególnych izolacji cieplnych

$$l_{def} / \delta_{def} \geq 10 \quad (1)$$

gdzie:

l_{def} – długość defektu [m];
 δ_{def} – szerokość defektu [m];

2) **defekty łamane ETICS (BDE)** – są one klasyfikowane przy założeniu występowania połączonych ze sobą dwóch sąsiadujących defektów liniowych;

3) **defekty powierzchniowe ETICS (SDE)** – stanowią dwuwymiarowy defekt struktury materiałowej w sytuacji występowania fragmentarycznych ubytków izolacji termicznej o wymiarach poprzecznych i podłużnych spełniających warunek (2).

$$l_{def} / \delta_{def} < 10 \quad (2)$$

Tabela 4. Klasyfikacja defektów cieplnych systemu ETICS [13]

Table 4. Classification of thermal defects of ETICS systems [13]

Rodzaj defektu	Schemat	Stopień zdefektowania				
		I	II	III	IV	V
Defekt liniowy, pionowy, poziomy [mm]						
Defekt łamany [mm]		$\delta_{def} \leq 2$	$2 < \delta_{def} \leq 5$	$5 < \delta_{def} \leq 10$	$10 < \delta_{def} \leq 20$	$\delta_{def} > 20$
Defekt powierzchniowy [mm]						

Poszczególne rodzaje defektów cieplnych można odnieść do ich ilościowej charakterystyki, zgodnie z zaproponowaną klasyfikacją tzw. stopnia zdefektowania. W przypadku występowania defektów liniowych i łamanych, w których dominuje jeden z wymiarów tzw. długość defektu l_{def} , stopień zdefektowania wyznacza się na podstawie szerokości nieciągłości δ_{def} . Natomiast w przypadku defektów powierzchniowych nieciągłość o konturze zamkniętym charakteryzuje mniejszy z występujących wymiarów.

Nieprawidłowe klejenie izolacji termicznej do podłoża skutkuje występowaniem **imperfekcji cieplnych**. W zależności od sposobu nanoszenia zaprawy klejącej i jej grubości ma miejsce nieprawidłowość struktury ocieplenia, polegająca na nadmiernym przesunięciu wewnętrznej płaszczyzny termoizolacji względem podłoża ściennego. Tego typu imperfekcję określa się jako **dyslokację cieplną ETICS** i można ją sklasyfikować w zależności od grubości zaprawy klejącej oraz sposobu nanoszenia jej na izolację termiczną (tabela 5).

Dyslokacja cieplna ETICS może występować łącznie z niekontrolowaną infiltracją powietrza w strukturze systemu ociepleń. Jest to związane z istnieniem kolejnej imperfekcji systemu ETICS w postaci nieszczelności, umożliwiającej wnikanie powietrza zewnętrznego w pionową szczelinę pomiędzy izolacją termiczną a podłożem ściennym. W ta-

beli 6 zaproponowano klasyfikację tego typu imperfekcji w zależności od pola powierzchni otworów wlotowych pozwalających na przepływ powietrza zewnętrznego wewnątrz systemu ociepleń.

Tabela 6. Klasyfikacja niekontrolowanej infiltracji powietrza w systemie ETICS [13]

Table 6. Classification of uncontrolled air infiltration of ETICS systems [13]

Niekontrolowana infiltracja powietrza	Schemat	Powierzchnia otworów na 1 m długości ocieplenia ETICS [mm ²]
Mała		$A_{inf} < 500$
Umiarkowana		$500 \leq A_{inf} < 1500$
Duża		$1500 \leq A_{inf} < 5000$
Bardzo duża		$5000 \leq A_{inf} < 10000$
Skrajnie duża		$A_{inf} \geq 10000$

Podsumowanie

Nieprawidłowości w systemach ociepleń mogą wywierać niekorzystny wpływ na stan ochrony cieplnej ścian zewnętrznych. Imperfekcje wpływające na ich izolacyjność termiczną są związane najczęściej z nieprawidłowym klejeniem warstwy termoizolacji do podłoża, powodując występowanie **dyslokacji cieplnych ETICS**. Mogą one

współistnieć **wraz z nieszczelnościami** powodującymi niekontrolowaną infiltrację powietrza zewnętrznego za warstwę izolacji termicznej. Ponadto licznie występują nieciągłości termoizolacji zdefiniowane jako **defekty cieplne ETICS**.

Przedstawiona klasyfikacja pozwala na jej wykorzystanie do określenia rzeczywistej izolacyjności termicznej ścian zewnętrznych zawierających imperfekcje cieplne, w warunkach zarówno laboratoryjnych, jak i rzeczywistych.

Literatura

- [1] Fouad NA. Bauphysik Kalender 2017. Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin 2017.
- [2] Kleber K. Bauphysik. VEB Verlag, Berlin 1963.
- [3] Amaro B, Saraiva D, de Brito J, Flores-Colen I. Inspection and diagnosis system of ETICS on walls. Construction and Building. Materials. 2013; 47: 1257 – 1267.
- [4] Liismaa E, Sepria R, Raadob L-M, Lille I, Wittd EDQ, Sulakatkoc V, Pöldarua M. Defect analysis of renovated facade walls with ETICS solutions in cold climate conditions. Conference Central Europe Towards Sustainable Building, Prague 2016.
- [5] Aïssani A, Chateaneuf A, Fontaine J-P, Audibert Ph. Quantification of workmanship insulation defects and their impact on the thermal performance of building facades. Applied Energy. 2016; 165: 272 – 284.
- [6] Gertis K, Nannen D. Thermische Spannungen in Wärmedämmverbund-systemen. Bauphysik. 1984; 6, H. 4.
- [7] Amaro B, Saraiva D, de Brito J, Flores-Colen I. Statistical Survey of the Pathology, Diagnosis and Rehabilitation of ETICS in Walls. Journal of Civil Engineering and Management. 2014; 20: 511 – 526.
- [8] PN-EN 13163+A1:2015-03. Wyroby do izolacji cieplnej w budownictwie – Wyroby ze styropianu (EPS) produkowane fabrycznie – Specyfikacja.
- [9] Krause P. Defekty termiczne ścian pełnych z ociepleniem ETICS. Materiały Budowlane. 2018; 9: 66 – 68.
- [10] Krause P, Wojewódka D, Kożuch K, Kosobucki Ł. Destrukcja polistyrenu spionego z dodatkami atermicznymi. Materiały Budowlane. 2019; 2: 44 – 45.
- [11] Krause P, Nowoświat A. Experimental studies involving the impact of solar radiation on the properties of expanded graphite polystyrene. Energies. 2020; 13: 1 – 17.
- [12] Krause P, Steidl T. Uszkodzenia i naprawy przegród budowlanych w aspekcie izolacyjności termicznej. Wydawnictwo PWN, Warszawa 2017.
- [13] Krause P. Analiza imperfekcji cieplnych systemów ETICS z uwzględnieniem konwekcji wewnątrz ściany. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2021.

Przyjęto do druku: 19.05.2022 r.

Tabela 5. Klasyfikacja dyslokacji cieplnych systemu ETICS [13]

Table 5. Classification of thermal dislocations of ETICS systems [13]

Dyslokacja cieplna	Schemat	Stopień dyslokacji				
		I	II	III	IV	V
Zwiększona konwekcja (klejenie punktowe) [mm]		$10 < \delta_{dys} \leq 20$	$20 < \delta_{dys} \leq 30$	$30 < \delta_{dys} \leq 40$	$40 < \delta_{dys} \leq 50$	$\delta_{dys} > 50$
Ograniczona konwekcja (klejenie pasmowo-punktowe) [mm]						