

dr inż. Ewa Sudoł^{1)*}

ORCID: 0000-0003-2902-0497

mgr inż. Renata Zamorowska¹⁾

ORCID: 0000-0003-3424-257X

Odporność na uderzenie ETICS z wełną mineralną i okładziną nieciągłą

Impact resistance of mineral wool-based ETICS with discontinuous cladding

DOI: 10.15199/33.2021.09.03

Streszczenie. W artykule zaprezentowano wyniki badania odporności na uderzenie systemu ociepleń ETICS z wełną mineralną lamelową (TR80) oraz zwykłą (TR10). Okładzinę stanowiły płytki klinkierowe oraz płytki cięte z cegieł ceramicznych. Badania przeprowadzono po cyklach hydrotermicznych oraz zamrażania-rozmrażania. Zastosowano nowe podejście do badania odporności na uderzenie z użyciem ciał twardych i miękkich. Na podstawie uzyskanych wyników testowane rozwiązania sklasyfikowano w najwyższej I kategorii użytkowania. Nie zaobserwowano wpływu rodzaju materiału termoizolacyjnego ani rodzaju płytek okładzinowych na rozpatrywaną właściwość. **Słowa kluczowe:** ETICS; odporność na uderzenie; wełna mineralna; okładzina z płytek; klasy użytkowania.

Abstract. The paper presents the results of the impact resistance tests of ETICS made with the use of lamella (TR80) and regular (TR10) mineral wool. The cladding was made of clinker tiles and tiles cut from ceramic bricks. The tests were carried out after hydro-thermal and freeze-thaw cycles. A new approach was used to test the impact resistance with the use of hard and soft bodies. Based on the results, the tested solutions were classified in the highest category I of use. No influence of the type of thermal insulation material or the type of cladding tiles on the considered property was observed.

Keywords: ETICS; impact resistance; mineral wool; tile cladding; category of use.

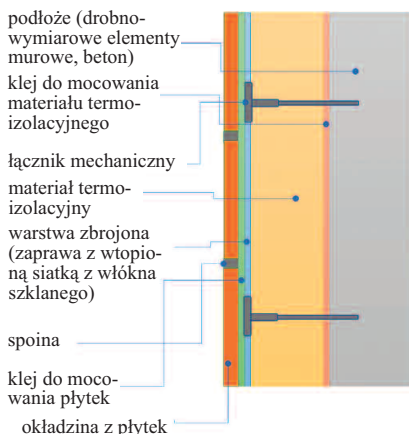
Złożone systemy ociepleniowe (*External Thermal Insulation Composite Systems – ETICS*) są od 60 lat jedną z najbardziej popularnych w Europie metod zwiększenia efektywności energetycznej budynków i odnawiania elewacji [3, 7].

Coraz większą popularnością cieszą się ETICS, w których **warstwa wierzchnia** wykonana jest z **płytek** (rysunek) mocowanych do warstwy zbrojonej za pomocą kleju cementowego, tworząc okładzinę nieciągłą [8].

W ETICS z okładziną nieciągłą stosowane są różne materiały termoizolacyjne, najczęściej ekspandowany polistyren (EPS) lub wełna mineralna (MW), choć możliwe jest użycie XPS czy PUR. Zgodnie z EAD 040287-00-0404 [1] wymaga się, aby materiał termoizolacyjny cechowała wytrzymałość na rozciąganie przostopadłe powyżej 80 kPa.

Okładzina nieciągła może być wykonana z płytek ceramicznych:

- prasowanych lub ciągnionych, objętych PN-EN 14411 [4];

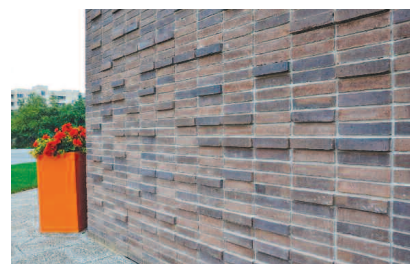


Schemat ETICS z okładziną nieciągłą [8]
Scheme of ETICS with discontinuous cladding [8]

- innych, wykraczających poza tę specyfikację, np. płytek ciętych z pełnych cegieł ceramicznych (fotografia), objętych PN-EN 771-1 [5], których nasiąkliwość kształtuje się zwykle na poziomie 15 – 20%;

- płytek kamiennych czy konglomeratów.

Ocena użyteczności budowlanej ETICS z okładziną nieciągłą prowadzona jest przez pryzmat wpływu na spełnienie przez obiekt wymagań podstawowych [6]. Jednym z ocenianych parametrów jest od-



Przykład ETICS z okładziną nieciągłą z płytek ciętych z cegieł ceramicznych
Example of ETICS with a discontinuous cladding made of cut ceramic brick tiles

porność na uderzenie, decydująca o spełnieniu wymagania nr 4 *Bezpieczeństwo użytkowania i dostępność obiektów* [1].

Jak wspomniano, w ETICS z okładziną nieciągłą, w myśl założeń EAD 040287-00-0404 [1], mogą być stosowane materiały termoizolacyjne o TR80, co w przypadku wełny mineralnej oznacza płyty lamelowe. Na rynku dostępne są jednak rozwiązania z wełną zwykłą, o TR7,5 ÷ 15.

W Instytucie Techniki Budowlanej podjęto pracę badawczą, której celem było porównanie wybranych właściwości użytkowych systemu ETICS z okładziną nieciągłą, wykonanego z użyciem wełny mineralnej lamelowej oraz zwykłej. W analizach uwzględniono dwa rodzaje

¹⁾ Instytut Techniki Budowlanej; Zakład Inżynierii Materiałów Budowlanych

^{*} Adres do korespondencji: e.sudol@itb.pl

popularnych okładzin ceramicznych. W artykule omówiono wyniki badania odporności na uderzenie, które realizowano nie tylko ciałem twardym, jak w przypadku ETICS z wyprawami tynkarskimi wg EAD 040083-00-0404 [2], ale też ciałami miękkimi. Uzyskane wyniki pozwalają na pełniejszą klasyfikację rozwiązania, z ustaleniem **kategorii użytkowania** (tabela 1).

Skłasyfikowanie ETICS w danej kategorii warunkowane jest odpowiednim zachowaniem okładziny po uderzeniu. Dopuszczalne uszkodzenia w poszczególnych kategoriach, przy danym poziomie uderzenia opisano w tabeli 2. W przypadku, gdy wyniki uderzenia H1 lub S1 nie są zadowalające, ETICS nie może być klasyfikowany.

Badania przeprowadzono na modelu badawczym o szerokości 3,6 m i wysokości 2,8 m. Model wykonano na ścianie z drobnowymiarowych elementów murowych, osadzonej w ramie dostosowanej do zamocowania w komorze ciepłno-wilgotnościowej. Na modelu

Tabela 1. Kategorie użytkowania ETICS ze względu na odporność na uderzenie

Table 1. ETICS use categories in terms of impact resistance

Kategoria użytkowania	Opis strefy
I	strefa łatwo dostępna z poziomu gruntu, narażona na uderzenie ciałem twardym (lecz niepoddawana celowej dewastacji), np. podstawy elewacji w budynkach usytuowanych w miejscach publicznych (placze szkolne, parki)
II	strefa narażona na uderzenie od rzucanych lub kopanych przedmiotów, na elewacjach budynków użytku publicznego, gdzie użytkownicy dbają o mienie
III	strefa, w której nie występuje prawdopodobieństwo uszkodzenia elewacji przez działanie ludzi. Może zdarzyć się okazjonalne uderzenie np. kamieniem lub piłką
IV	strefa niedostępna z poziomu ziemi

zastosowano cztery warianty ETICS z wełną mineralną i okładziną nieciąglą. W wariantach 1 i 2 zastosowano wełnę mineralną lamelową, zaś w wariantach 3 i 4 wełnę mineralną zwykłą. Wytrzymałość na rozciąganie prostopadłe wełny mineralnej wynosiła odpowiednio ≥ 80 kPa (TR80) i ≥ 10 kPa (TR10). W wariantach 1 i 4 okładzinę wykonano z płytek linkierowych o małej nasiąkliwości, a w wariantach 2 i 3 z płytek ciętych z cegieł ceramicznych „ręcznie formowanych” o dużej nasiąkliwości. We wszystkich wariantach zastosowano analogiczne pozostałe komponenty ETICS, przy czym wełnę lamelową mocowano do podłoża za pomocą kleju cementowego, a wełnę zwykłą dodatkowo przy użyciu łączników mechanicz-

Tabela 2. Uszkodzenia ETICS po uderzeniach dopuszczalne w poszczególnych kategoriach użytkowania

Table 2. Damage of ETICS after impacts allowed in individual categories of use

Poziom	Dopuszczalne zmiany po uderzeniu			
	Kategoria IV	Kategoria III	Kategoria II	Kategoria I
H1	brak przenikania zniszczeń przez okładzinę (1) brak perforacji okładziny (2)			
H2		brak przenikania zniszczeń przez okładzinę (1) brak perforacji okładziny (2)	okładzina w stanie nie pogorszonym (3)	okładzina w stanie nie pogorszonym (3)
H3			brak przenikania zniszczeń przez okładzinę (1) brak perforacji okładziny (2)	okładzina w stanie nie pogorszonym (3)
S1	okładzina w stanie nie pogorszonym (3)	okładzina w stanie nie pogorszonym (3)		
S2			okładzina w stanie nie pogorszonym (3)	okładzina w stanie nie pogorszonym (3)
S3			okładzina w stanie nie pogorszonym (3)	
S4				okładzina w stanie nie pogorszonym (3)

(1) Za przenikanie zniszczenia należy przyjąć pęknięcie okładziny uwidaczniające warstwy wewnętrzne w efekcie co najmniej 2 z 3 uderzeń; drobne pęknięcia powierzchniowe są dozwolone; (2) Za perforację należy przyjąć zniszczenie okładziny w efekcie co najmniej 2 z 3 uderzeń; (3) Za stan nie pogorszony należy przyjąć brak zniszczeń przenikających przez okładzinę i brak perforacji; dopuszcza się drobne uszkodzenia powierzchniowe

nych. Szczegółowe dane dotyczące materiałów użytych do wykonania modelu zamieszczono w tabeli 3. Z każdego z wariantów wytworzono odrębne pole badawcze, o szerokości 0,9 m.

Po czterech tygodniach sezonowania w warunkach laboratoryjnych model badawczy poddano oddziaływaniom symulującym czynniki środowiskowe, wg EAD 040287-00-0404 [1], obejmującym cykle hydrotermiczne, a następnie zamrażania-rozmrażania. Cykle hydrotermiczne składały się z etapu grzania – deszczowania oraz grzania – chłodzenia. Etap grzania – deszczowania to 80 cykli, każdy obejmujący:

- ogrzewanie w tempie właściwym do uzyskania na powierzchni okładziny temperatury $T70 \pm 5^\circ\text{C}$ w ciągu 1 h (mo-

nitring temperatury przy użyciu termopar zamontowanych na płytkach), a następnie utrzymanie $T70 \pm 5^\circ\text{C}$ przez 2 h, przy wilgotności względnej w komorze 10 – 30%,

- zraszanie wodą o $T15 \pm 5^\circ\text{C}$ przez 1 h (strumień wody o natężeniu $1 \text{ l/m}^2\text{min}$), po którym następowało odsychanie przez 2 h.

Etap grzania – chłodzenia obejmował 5 cykli, z których każdy polegał na:

- ogrzewaniu w tempie właściwym do uzyskania na powierzchni okładziny $T50 \pm 5^\circ\text{C}$ w ciągu 1 h, a następnie utrzymaniu $T50 \pm 5^\circ\text{C}$ przez 7 h, przy wilgotności względnej w komorze na poziomie 10 – 30%;

- chłodzeniu w tempie właściwym do uzyskania na powierzchni okładziny $T20 \pm 5^\circ\text{C}$ w ciągu 2 h, a następnie utrzymaniu $T20 \pm 5^\circ\text{C}$ przez 14 h.

Po cyklach hydrotermicznych model sezonowano 48 h w $T20 \pm 10^\circ\text{C}$ i $\text{RH} > 50\%$, po czym poddano go zraszaniu wodą o $T15 \pm 5^\circ\text{C}$ i natężeniu strumienia $1,5 \pm 0,5 \text{ l/m}^2\text{min}$ przez 8 h, po którym przeprowadzono 30 cykli zamrażania – rozmrażania, obejmujących następujące fazy:

- mrożenie w tempie właściwym do uzyskania na powierzchni okładziny,

Tabela 3. Materiały zastosowane do wykonania modelu badawczego

Table 3. Materials used to make the test model

Warstwa ETICS	Materiały zastosowane w modelu badawczym			
	wariant 1	wariant 2	wariant 3	wariant 4
Materiał termoizolacyjny	wełna mineralna (lamelowa) wg EN 13162 o kodzie WM EN 13162 T5 DS(70,-) DS(70,90) TR80 WS WL(P) MU1, grubość 100 mm, mocowana do podłoża przy użyciu kleju cementowego		wełna mineralna (zwykła) wg EN 13162 o kodzie WM EN 13162 T5 DS(70,-) DS(70,90) CS(10)20 TR10 PL(5)250 WS WL(P) MU1, grubość 100 mm, mocowana do podłoża przy użyciu kleju cementowego oraz łączników mechanicznych	
Warstwa zbrojona	klej cementowy + siatka z włókna szklanego o gramaturze 160 g/m ² (jedna warstwa)			
Klej do mocowania okładziny	klej cementowy wg EN 12004 klasy C2TE			
Okładzina	płytki klinkierowe wg EN 14411, klasa AIIa (nasiąkliwość 3 ÷ 6%), o wymiarach 250×60×8 mm	płytki cięte z cegieł ceramicznych wg PN-EN 771-1, o wymiarach 215×65×22 mm, cechujące się m.in. absorpcją wody ≤ 19% i mrozoodpornością F2	płytki klinkierowe wg EN 14411, klasa AIIa (nasiąkliwość 3 ÷ 6%), o wymiarach 250×60×8 mm	
Spoiny	zaprawa do spoinowania wg EN 1388 klasa CG2WA, szerokość spoin 10 mm			

T20 ± 5°C w ciągu 2 h, a następnie utrzymanie T20 ± 5°C przez 4 h;

■ rozmrażanie przez 1 h w T20 ± 5°C;

■ zraszanie wodą o T15 ± 5°C w ilości 1,5 ± 0,5 l/m² min przez 8 h.

Po zakończeniu badań przeprowadzono ocenę wizualną warstwy wierzchniej. Nie zaobserwowano powstania nierówności, odspojenia oraz pęknięć płytek i spoin, wykruszenia spoin ani innych uszkodzeń dostrzegalnych okiem nieuzbrojonym z odległości 0,5 m. Następnie wykonano badania właściwości użytkowych, w tym odporności na uderzenie wg EAD 040287-00-0404 [1] metodą wahadła, z użyciem ciał twardych w postaci kul stalowych i ciał miękkich w formie worków z uwzględnieniem różnych poziomów energii uderzenia (tabela 4).

Badanie przeprowadzono odrębnie dla każdego z czterech pól badawczych. Każdy z punktów pomiarowych podda-

Tabela 4. Warunki uzyskania poszczególnych poziomów energii uderzenia

Table 4. Conditions for obtaining individual impact energy levels

Poziom	Energia uderzenia [J]	Masa ciała [kg]	Wysokość uderzenia [m]	Liczba punktów pomiarowych
ciało twarde (kula stalowa)				
H1	1	0,5	0,20	3
H2	3	0,5	0,61	3
H3	10	1	1,02	3
ciało miękkie (worek)				
S1	10	3	0,34	3
S2	60	3	2,04	3
S3	300	50	0,61	1
S4	400	50	0,82	1

no po uderzeniu ocenie wizualnej w kontekście powstania uszkodzeń zdefiniowanych w tabeli 2.

Wyniki badania odporności na uderzenie, zrealizowanego po cyklach hydrotermicznych oraz cyklach zamrażania-rozmrażania, zestawiono w tabeli 5. Ich analiza wskazuje, że wszystkie testowane warianty ETICS nie wykazały zniszczeń przenikających przez okładzinę, perforacji okładziny ani pogorszenia stanu

Tabela 5. Wyniki badania odporności na uderzenie wraz z klasyfikacją

Table 5. The results of the impact resistance test together with the classification

Poziom	Rodzaj uszkodzeń ETICS			
	wariant 1	wariant 2	wariant 3	wariant 4
H1	nie badano	nie badano	nie badano	nie badano
H2	brak uszkodzeń ¹⁾	brak uszkodzeń	brak uszkodzeń	brak uszkodzeń
H3	brak uszkodzeń	brak uszkodzeń	brak uszkodzeń	brak uszkodzeń
S1	nie badano	nie badano	nie badano	nie badano
S2	brak uszkodzeń	brak uszkodzeń	brak uszkodzeń	brak uszkodzeń
S3	brak uszkodzeń	brak uszkodzeń	brak uszkodzeń	brak uszkodzeń
S4	brak uszkodzeń	brak uszkodzeń	brak uszkodzeń	brak uszkodzeń
Klasyfikacja	kategoria I	kategoria I	kategoria I	kategoria I

¹⁾ zgodnie z definicją uszkodzeń przedstawioną w tabeli 2

okładziny w postaci pęknięć powierzchniowych w całej sekwencji uderzeń. Wszystkie cztery testowane warianty ETICS sklasyfikowano do kategorii I użytkowania. Oznacza to, że można je, w ujęciu odporności na uderzenie, uznać za odpowiednie do stosowania w strefie łatwo dostępnej z poziomu gruntu, narażonej na uderzenie ciałem twardym (z wyłączeniem celowej dewastacji), jak np. niskie partie elewacji w budynkach usytuowanych w miejscach publicznych, takich jak place szkolne czy parki.

Analiza wyników badań wskazuje ponadto, iż zastosowanie w ETICS z okła-

dziną nieciągłą wełny mineralnej zwykłej nie skutkuje obniżeniem jego odporności na uderzenie w stosunku do rozwiązania z wełną lamelową. Nie zaobserwowano także wpływu rodzaju płytek ceramicznych na rozpatrywaną właściwość. Okładzina z płytek klasy AIIa o grubości 8 mm i nasiąkliwości 3 ÷ 6% wykazała po oddziaływaniach klimatycznych analogiczną odporność na uderzenia jak z płytek ciętych z cegieł ceramicznych o grubości 22 mm i nasiąkliwości < 19%.

Literatura

[1] European Organization for Technical Assessment (EOTA). EAD 040287-00-0404 Kits for External Thermal Insulation Composite System (ETICS) with Panels as Thermal Insulation Product and Discontinuous Claddings as Exterior Skin; 2017.

[2] European Organization for Technical Assessment (EOTA). EAD 040083-00-0404 European Assessment Document External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS) with Renderings; 2020.

[3] Michalak J., S. Czernik, M. Marcinek, B. Michałowski. 2020. „Environmental burdens of External Thermal Insulation Systems”. *Expanded Polystyrene vs. Mineral Wool: Case Study from Poland. Sustainability* 12: 4532. DOI: 10.3390/su12114532.

[4] PN-EN 14411:2013 Płytki ceramiczne. Definicja, klasyfikacja, właściwości, ocena zgodności i znakowanie.

[5] PN-EN 771-1+A1:2015 Wymagania dotyczące elementów murowych. Część 1: Elementy murowe ceramiczne.

[6] Regulation (EU) No 305/2011 of the European Parliament and of the Council.

[7] Sudoł E., D. Dębski, R. Zamorowska, B. Franck. 2018. Impact resistance of external thermal insulation systems, MATBUD’2018 8th Scientific-Technical Conference on Material Problems in Civil Engineering, Cracow, Poland.

[8] Sudoł E. 2021. „Złożone systemy ociepleniowe z okładziną z płytek ceramicznych”. *Wokół Płytek Ceramicznych* 2: 23 – 25.

Przyjęto do druku: 26.08.2021 r.