

# Detekcja defektów cieplnych systemu ETICS w warunkach quasi-stacjonarnych

## *Detection of heat defects of the ETICS system in quasi-stationary conditions*

DOI: 10.15199/33.2022.06.03

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono wstępne wyniki badań rozkładu temperatury na powierzchni ściany zewnętrznej z imperfekcjami systemu ETICS, prowadzonych w quasi-stacjonarnych warunkach pomiarowych. Badania wykazały zmianę rozkładu temperatury w obrębie defektów cieplnych o zróżnicowanych szerokościach oraz nieznaczny wpływ występującej dyslokacji cieplnej. Uzyskane wyniki wskazują na konieczność prowadzenia dalszych pomiarów w warunkach rzeczywistych.

**Słowa kluczowe:** system ETICS; imperfekcje cieplne; badania termowizyjne; warunki quasi-stacjonarne.

**Abstract.** The article presents preliminary results of tests of temperature distribution on the surface of an external wall with imperfections of the ETICS system, carried out in quasi-stationary measurement conditions. The research showed a change in the temperature distribution within thermal defects of different widths and a slight influence of the occurring thermal dislocation. The obtained results indicate the necessity to conduct further measurements in real conditions.

**Keywords:** ETICS system; thermal imperfection; thermovision research; quasi-stationary conditions.

Obecnie nie można przecenić znaczenia ograniczania zużycia energii. Jej zapotrzebowanie rośnie na całym świecie [1]. Wzrost kosztów wytwarzania energii oraz konieczność ochrony środowiska spowodowały, że UE dąży do neutralności klimatycznej. W tej strategii istotną rolę odgrywa ograniczenie zużycia paliw kopalnych, zmierzając do osiągnięcia standardów niemal zerowego zużycia energii przez budynki [2]. Największy potencjał bazuje na minimalizacji zużycia energii na ogrzewanie i chłodzenie [3]. W tym przypadku ważne jest zmniejszenie strat ciepła przez przenikanie przez przegrody zewnętrzne, spośród których znaczny ich udział przypada na ściany [4]. Ich wielkość zależy od oporu cieplnego poszczególnych komponentów, a także od sposobu ich wykonania i wzajemnego połączenia [5]. Niewielka liczba badań dotyczących występowania imperfekcji systemów ETICS utrudnia interpretację wyników pomiarów, w szczególności termograficznych.

### Cel i zakres badań

Celem badań laboratoryjnych było określenie wpływu różnych imperfekcji systemu ETICS na jakość cieplną ściany

zewnętrznej. Zakres badań obejmował pomiary w warunkach quasi-stacjonarnych. W celu zapewnienia stałej różnicy temperatury umieszczono we wnętrzu komory promiennik o niewielkiej mocy. Ze względu na brak technicznych możliwości zapewnienia różnicy temperatury na poziomie  $\Delta t = 20 \div 25^\circ\text{C}$ , wynikającej ze stałych warunków temperatury powietrza po obu stronach ściany, a odpowiadających warunkom rzeczywistym, założono ich większą wartość. Przyjęto, że temperatura wewnętrzna wynosi  $t_i \approx 43^\circ\text{C}$ , a zewnętrzna  $t_e \approx 20^\circ\text{C}$ .

Jako warstwę konstrukcyjną zastosowano monolityczną ścianę z betonu o gęstości  $2300 \text{ kg/m}^3$ , grubości 20 cm. Ze względu na występowanie zależności związanej z intensyfikacją oddziaływania nieszczelności warstwy termoizolacyjnej na stan ochrony cieplnej ścian zewnętrznych, przed pomiarami w warunkach rzeczywistych założono niewielki opór cieplny warstwy termoizolacyjnej. Do badań użyto płyt z EPS 044 o grubości 5 cm. Zostały one przytwierdzone za pomocą zaprawy klejącej nanoszonej wyłącznie w sposób punktowy o grubości 3 cm. Spowodowało to wystąpienie dyslokacji cieplnej, skutkując zwiększonym konwekcyjnym ruchem powietrza wewnątrz ściany. Nieciągłości warstwy termoizolacyjnej (defekty cieplne ETICS)

o różnej szerokości, wystąpiły na dwóch wysokościach. Oprócz defektów i dyslokacji cieplnych systemu ETICS pomiędzy warstwą termoizolacyjną a konstrukcyjną wytworzono szczelinę umożliwiającą niekontrolowaną infiltrację powietrza zewnętrznego w strukturę ściany. Powstała ona z powodu braku szczelnego wypełnienia zaprawą klejącą przestrzeni w obrębie dolnej i górnej krawędzi płyt EPS.

Badany ETICS tworzyła też warstwa zbrojona z zaprawy klejącej z wtopioną polipropylenową siatką oraz mineralny tynk cienkowarstwowy. Obliczeniowy opór cieplny ściany wynosił  $R_c = 1,26 \text{ m}^2\text{K/W}$ .

W systemie ETICS zasymulowano następujące imperfekcje cieplne (fotografia):

- defekty cieplne o szerokości  $\delta_{\text{def}} = 2; 5; 10 \text{ i } 20 \text{ mm}$  i długości  $l_{\text{def}} = 300 \text{ mm}$ ;
- dyslokację cieplną o szerokości  $\delta_{\text{def}} = 30 \text{ mm}$ ;
- otwory wlotowe skutkujące niekontrolowaną infiltracją powietrza o powierzchni  $A_{\text{inf}} = 1500 \text{ mm}^2$  na 1 m długości ściany.

Głębokość defektów cieplnych była równa grubości termoizolacji. Defekty o szerokości  $\delta_{\text{def}} = 20 \text{ mm}$  zlokalizowano na dwóch różnych wysokościach.

W celu określenia rozkładu temperatury na powierzchni ściany wykonano pomiar termograficzny. Ze względu na

<sup>1)</sup> Politechnika Śląska; Wydział Budownictwa; pawel.krause@polsl.pl



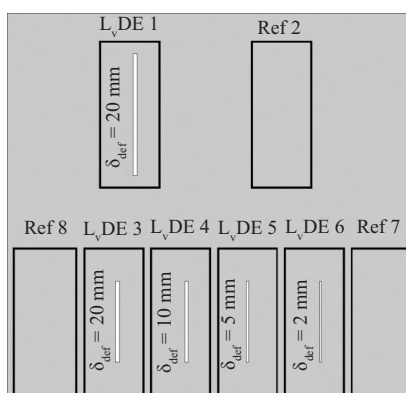
**Ściana testowa z defektami systemu ETICS**  
Test wall with ETICS defects

zapewnienie quasi-stacjonarnych warunków prowadzenia pomiarów wykonano trzy serie pomiarowe. Uwzględniając charakter występujących defektów cieplnych, pomiary prowadzono od strony środowiska zewnętrznego. W przypadku takich warunków zakłada się, że czas prowadzenia badań oraz zmiany intensywności wymiany ciepła pomiędzy ścianą a otoczeniem po obu jej stronach nie mają istotnego wpływu na otrzymywane wyniki [6].

## Wyniki badań

Wstępna analiza termogramów polegała na zidentyfikowaniu występujących defektów cieplnych na podstawie zróżnicowania pola temperatury. Podczas trwania pomiarów średnia temperatura powietrza wewnętrznego wynosiła  $t_{i, sr} = 41,8^{\circ}\text{C}$ , a zewnętrznego  $t_{e, sr} = 17,9^{\circ}\text{C}$ , a więc  $\Delta t_{sr} = 23,9^{\circ}\text{C}$ . W systemie ETICS, zamocowanym do monolitycznej ściany zewnętrznej, występowały liniowe defekty cieplne ( $L_{v,DE}$ ) o różnej szerokości. W obrębie górnego fragmentu ściany zlokalizowano defekt  $L_{v,DE}$  1 o szerokości  $\delta_{def} = 20$  mm. Na tym samym poziomie wyznaczono obszar referencyjny Ref 2 wolny od defektów cieplnych. Cztery pionowe defekty cieplne o szerokości od  $\delta_{def} = 2$  mm ( $L_{v,DE}$  6) do  $\delta_{def} = 20$  mm ( $L_{v,DE}$  3) występowały w dolnej części ściany, w której wyodrębniono dodatkowo obszary referencyjne oznaczone jako Ref 7 i Ref 8. Zostały one wyznaczone w celu porównania temperatury w miejscu wolnym od defektów cieplnych z temperaturą wyznaczoną w obszarze ich występowania. Lokalizację defektów cieplnych i powierzchni referencyjnych przedstawiono na rysunku 1.

Rozkład temperatury wyznaczony w przypadku pionowego defektu ciepl-

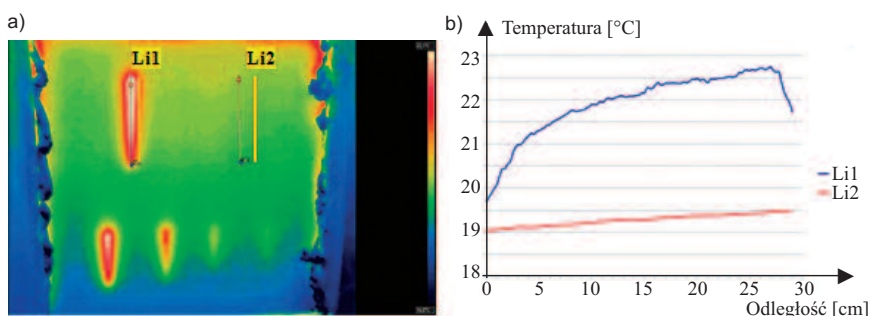


**Rys. 1. Lokalizacja defektów cieplnych**  
Fig. 1. Localization of thermal defects

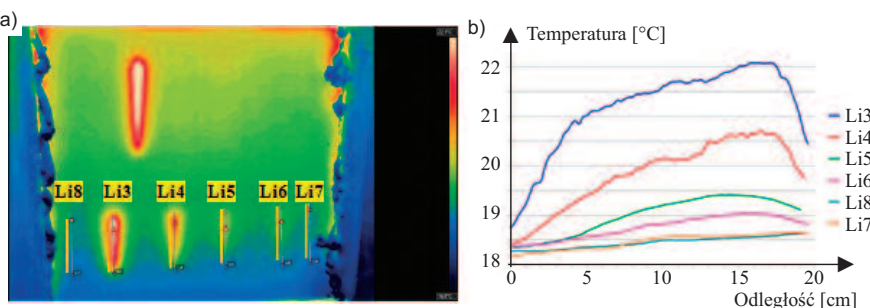
nego o szerokości  $\delta_{def} = 20$  mm ( $Li1$ ), zlokalizowanego w górnym fragmencie ściany, porównano z rozkładem temperatury referencyjnej, wyznaczonym wzdłuż linii  $Li2$  (rysunek 2). Przebieg temperatury wzdłuż linii  $Li1$ , pokrywa-

jając się z osią podłużną pionowego defektu cieplnego, przyjmował charakterystyczną postać. Temperatura w miejscu dolnej krawędzi defektu  $t_{se, 1} = 19,7^{\circ}\text{C}$  była wyższa o  $\Delta t = 0,6^{\circ}\text{C}$  od temperatury wyznaczonej w obszarze referencyjnym ( $Li2$ ), wynoszącej  $t_{se, 2} = 19,1^{\circ}\text{C}$ . Różnica temperatury  $t_{se, 1} - t_{se, 2}$  ulegała zwiększeniu wraz ze zmianą wysokości, osiągając wartość maksymalną  $\Delta t_{se, max} = 3,2^{\circ}\text{C}$ . Rozkład temperatury wzdłuż linii  $Li2$  był liniowy, natomiast wzdłuż linii  $Li1$ , do osiągnięcia wartości maksymalnej, zbliżony do krzywej logarytmicznej.

Analiza rozkładu temperatury w dolnym fragmencie ściany umożliwiła określenie zmiennych jej przebiegów w miejscach występowania defektów cieplnych o różnej szerokości (rysunek 3). Na początku wyznaczono przebieg zmian temperatury referencyjnej wzdłuż linii  $Li7$  i  $Li8$ . Maksymalna różnica temperatury pomiędzy liniami referencyjnymi na całej ich wysokości nie przekraczała  $t_{se, 7} - t_{se, 8} = 0,1^{\circ}\text{C}$ . W związku z tym do dalszych analiz przyjęto temperaturę referencyjną wyznaczoną wzdłuż linii  $Li8$ . Następnie określono maksymalne różnice między temperaturą zarejestrowaną wzdłuż linii wyznaczonych w miejscach występowania defektów cieplnych a temperaturą referencyjną. Największą



**Rys. 2. Termogram (a) oraz rozkład temperatury wzdłuż linii  $Li1$  i  $Li2$  (b) [7]**  
Fig. 2. Wall thermogram (a) and temperature distribution along the lines  $Li1$ – $Li2$  (b) [7]



**Rys. 3. Termogram (a) oraz rozkład temperatury wzdłuż linii  $Li3$  –  $Li8$  (b) [7]**  
Fig. 3. Wall thermogram (a) and temperature distribution along the lines  $Li3$  –  $Li8$  (b) [7]

różnicę temperatury  $\Delta t_{se, max, 3-8} = 3,4^{\circ}\text{C}$  odnotowano w przypadku defektu  $L_v\text{DE } 3$  o szerokości  $\delta_{def} = 20$  mm. Defekt  $L_v\text{DE}$  o szerokości  $\delta_{def} = 10$  mm (Li4) charakteryzował się mniejszym zróżnicowaniem w stosunku do temperatury referencyjnej ( $\Delta t_{se, max, 4-8} = 2,0^{\circ}\text{C}$ ). W przypadku defektu  $L_v\text{DE } 6$  o szerokości  $\delta_{def} = 2$  mm zarejestrowano maksymalną różnicę w odniesieniu do temperatury referencyjnej wynoszącą  $\Delta t_{se, max, 6-8} = 0,5^{\circ}\text{C}$ , a defektu  $L_v\text{DE}$  szerokości  $\delta_{def} = 5$  mm (Li5)  $\Delta t_{se, max, 5-8}$  wynosiło  $0,7^{\circ}\text{C}$ .

Dyslokacja cieplna o szerokości  $\delta_{dys} = 30$  mm spowodowała nieznaczne zaburzenia rozkładu temperatury, które zaobserwowano w analizowanych obszarach referencyjnych. W przypadku rozkładu temperatury wzdłuż linii Li2 odnotowano jej wzrost wraz z wysokością ściany o pionowym gradiencie równym  $\delta t = 1,6^{\circ}\text{C/m}$ , dla dolnego referencyjnego fragmentu ściany gradient temperatury był nieznacznie mniejszy i wynosił  $\delta t = 1,5$  K/m.

Różna temperatura na powierzchni ściany w obrębie defektów o zmiennej szerokości jest widoczna na wykresach liniowym (rysunek 4) i przestrzennym (rysunek 5). Wynika z nich, że defekty cieplne ETICS zaburzają pole temperatury wyłącznie w najbliższym ich otoczeniu. Potwierdzeniem tego jest tempe-

ratura na powierzchni ocieplenia między występującymi nieciągłościami izolacji termicznej zbliżona do temperatury referencyjnej.

## Podsumowanie

Wyniki pomiarów laboratoryjnych umożliwiły wstępną ocenę wpływu imperfekcji systemu ETICS na odpowiedź termiczną ocieplonej ściany. Istnieje wyraźny wpływ szerokości defektów cieplnych na rozkład temperatury powierzchni ocieplenia. W przypadku średniej różnicy temperatury po obu stronach ściany wynoszącej  $\Delta t_{sr} = 23,9^{\circ}\text{C}$ , temperatura na jej powierzchni zewnętrznej wyznaczona w miejscu występowania defektu o szerokości  $\delta_{def} = 20$  mm była wyższa o  $\Delta t_{se, max} = 3,0^{\circ}\text{C}$  w stosunku do temperatury określonej w miejscu występowania defektu o szerokości  $\delta_{def} = 2$  mm. Ponadto w przypadku pionowych defektów cieplnych miał miejsce zmienny rozkład temperatury na całej ich wysokości, osiągając maksimum poniżej górnej krawędzi. Występowanie defektów cieplnych w systemie ETICS spowodowało nieznaczne zaburzenie pola temperatury przyległego obszaru referencyjnego. Imperfekcja systemu ETICS w postaci dyslokacji cieplnej o szerokości  $\delta_{dys} = 30$  mm skutkowałą niewielkim wzrostem temperatury wraz z wy-

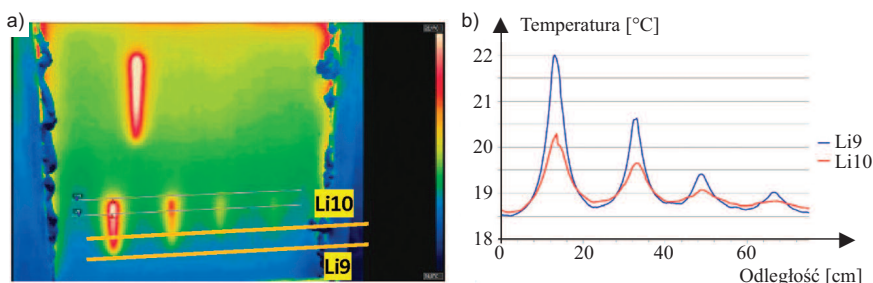
sokością ściany, o pionowym gradiencie zróżnicowanym dla analizowanych obszarów referencyjnych. Otrzymane wyniki badań potwierdzają wnioski innych zespołów badawczych [8, 9, 10], które zaobserwowały istotę problematyki z punktu widzenia strat ciepła przez przenikanie. Szczegółowa interpretacja związana z zaobserwowanymi zjawiskami, w tym dotycząca zmiany temperatury pomiędzy warstwą termoizolacyjną i konstrukcyjną, zostanie przygotowana na podstawie pomiarów wykonanych w warunkach rzeczywistych. Ponadto zostaną zaproponowane charakterystyki pomiarowe umożliwiające zróżnicowanie występujących defektów cieplnych ETICS.

Fotografie: Autor

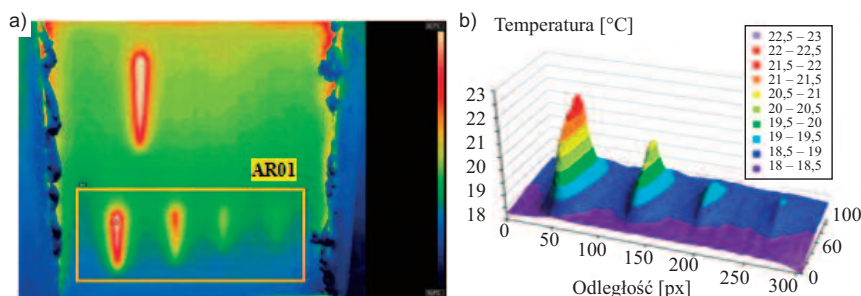
## Literatura

- [1] Fouad NA. Bauphysik Kalender 2017. Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin 2017.
- [2] Cao X, Dai X, Liu J. Building energy-consumption status worldwide and the state-of-the-art technologies for zero-energy buildings during the past decade. Energy and Buildings. 2016; 128: 198 – 213.
- [3] Richter T, Winkelmann-Fouad S. Anwendung des U-Wertes als Kenngröße für Wärmetransportvorgänge. Bauphysik-Kalender 2005, p. 249 – 295, Ernst & Sohn, Berlin 2005.
- [4] Klemm P. i in. Budownictwo ogólne, tom 2, fizyka budowl. Arkady, Warszawa 2005.
- [5] Kysiak A. Wpływ błędów wykonawczych na trwałość systemu docieplenia metodą ETICS. Seria: Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej. 2014; 2: 29 – 37.
- [6] Fouad NA, Richter T. Leitfaden Thermografie im Bauwesen: Theorie, Anwendungsgebiete, praktische Umsetzung. Fraunhofer IRB-Verlag, Stuttgart 2006.
- [7] Krause P. Analiza imperfekcji cieplnych systemów ETICS z uwzględnieniem konwekcji wewnątrz ściany. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2021.
- [8] Aïssani A, Chateaufneuf A, Fontaine JP, Audebert Ph. Quantification of workmanship insulation defects and their impact on the thermal performance of building facades. Applied Energy. 2016; 165: 272 – 284.
- [9] Ambrosini D, Sfarra S, de Rubeis T, Nardi I, Perilli S. Laboratory measurements to evaluate the impact of defects on the conductance of building insulation materials. Conference: XXXIV UIT Heat Transfer Conference (2016).
- [10] Raicu A. IR-Thermografie im Bauwesen – Aufstellung eines Leitfadens zur Anwendung der Infrarothermografie bei stationären Temperaturverhältnissen zur Feststellung versteckter Baufehler. Bauforschungsbericht F 2374. Fraunhofer IRB Verlag (2000).

Przyjęto do druku: 27.05.2022 r.



Rys. 4. Termogram (a) oraz rozkład temperatury wzdłuż linii Li9 i Li10 (b) [7]  
Fig. 4. Wall thermogram (a) and temperature distribution along the lines Li9–Li10 (b) [7]



Rys. 5. Termogram (a) oraz przestrzenny rozkład temperatury w obszarze AR01 (b) [7]  
Fig. 5. Wall thermogram (a) and spatial temperature distribution in AR01 area (b) [7]