

# Inspekcje termograficzne jako część procesu termomodernizacji

## *Thermographic inspections as part of the thermomodernization process*

DOI: 10.15199/33.2022.12.29

**Streszczenie.** W artykule omówiono zastosowanie termografii w procesie termomodernizacji budynków. Przedstawiono przykłady inwentaryzacji termograficznej budynków, w których wykryto m.in. mostki termiczne i powietrzne, ubytki izolacji cieplnej w przegrodach lub utulinach termoizolacyjnych instalacji ogrzewania. Termografia może pomóc w podjęciu decyzji o termomodernizacji budynku, wskazując miejsca nieefektywnego wykorzystania energii.

**Słowa kluczowe:** termografia; termomodernizacja; diagnostyka cieplna; mostki termiczne.

**Abstract.** The paper presents the use of thermography in the process of thermal modernization of buildings. It includes examples of thermographic inventory of buildings, among which are thermal and air bridges, losses in thermal insulation in partitions or lagging of heating installations. Thermography can help in making decisions about thermal modernization of a building, indicating places of inefficient use of energy.

**Keywords:** thermography; thermomodernization; thermal diagnostic; thermal bridges.

Termomodernizacja budynku obejmuje zabiegi poprawiające charakterystykę energetyczną budynku, a w efekcie zmniejszające zużycie energii cieplnej oraz poprawiające komfort cieplny wewnątrz budynku. Wykonanie przedsięwzięć termomodernizacyjnych powinno być poprzedzone analizą efektywności wykorzystania ciepła w budynku, w tym wskazaniem miejsc, w których energia cieplna jest niepotrzebnie tracona. Do identyfikacji takich miejsc stosuje się termografię – nieinwazyjną metodę wskazującą na termogramie obszary lub miejsca, w których ciepło jest niepotrzebnie tracone na drodze przenikania lub infiltracji powietrza. Podczas inspekcji termowizyjnej można także wykryć miejsca w instalacji grzewczej i ciepłej wody, gdzie przesył lub wykorzystanie ciepła jest nieefektywne. Na podstawie identyfikacji takich niewłaściwych miejsc, audytor może przystąpić do analizy ekonomicznej opłacalności wykonania zabiegów termomodernizacyjnych.

Termomodernizację można podzielić na trzy etapy. W pierwszym, po analizie dokumentacji technicznej i zużycia ciepła w budynku oraz wizji lokalnej, audytor ocenia efektywność wykorzystania energii. Następnie przedstawia swoje spostrzeżenia i wnioski inwestorowi w celu podjęcia decyzji o wykonaniu bardziej szczegółowej analizy w audycie energetycznym, stanowiącej biznesplan termomodernizacji budynku, w którym wskazane są zabiegi, które mogłyby zrealizować inwestor. W drugim etapie wykonywane są prace termomodernizacyjne wchodzące w skład wybranego wariantu. Trzeci etap obejmuje odbiór wykonanych prac termomodernizacyjnych z weryfikacją ich jakości oraz potwierdzeniem efektów oszczędności energetyczno-ekonomicznych, uzyskanych po pierwszym sezonie grzewczym. W każdym z tych etapów można wykorzystać termografię. W artykule omówiono zastosowanie termografii w pierwszym etapie termomodernizacji, a więc przy podejmowaniu decyzji przez inwestora.

### Metody oceny termowizyjnej

Do oceny termowizyjnej budynków można zastosować dwie metody. Pierwsza z nich to **metoda jakościowa**, najczęściej stosowana [1]. Służy do oceny, np. izolacyjności i zawilgocenia przegród w budynku, szczelności powietrznej obudowy budynku, funkcjonowania instalacji wewnętrznych, w tym centralnego ogrzewania, ciepłej i zimnej wody oraz instalacji elektrycznych [2]. Poszukuje się anomalii termicznych odbiegających od spodziewanego rozkładu temperatury [3]. Anomalie termiczne na powierzchni badanej przegrody, niekorelujące z jej budową, mogą wynikać ze zmniejszenia grubości lub braku izolacji termicznej oraz istniejących mostków cieplnych. Wówczas na termogramie powierzchni zewnętrznej uwidaczniają się miejsca o podwyższonej temperaturze, co świadczy o obniżonej izolacyjności termicznej i zwiększonym przepływie ciepła. W niektórych przypadkach należy dokonać inspekcji także od wewnątrz budynku. Wady przegród, takie jak: ubytki lub niepoprawne ułożenie izolacji w stropodachach wentylowanych; braki izolacji w ociepleniach metodą lekką, można dokładnie zlokalizować jedynie od środka budynku, ale należy pamiętać, że często takie inspekcje są utrudnione ze względu na konieczność dostępu do lokali mieszkalnych.

W **termograficznej ocenie ilościowej** można określić strumień cieplny i współczynnik przenikania ciepła  $U$  przegrody. W odróżnieniu od oceny jakościowej zaleca się, aby pomiary były prowadzone w okresie stanowiącym całkowitą wielokrotność 24 godzin, ale nie krótszym niż 72 godziny [4, 5]. Przypomina to warunki, które muszą być spełnione przy badaniach ciepłomierzami wg metody HFM [6]. Zgodnie z innymi źródłami wydłużenie czasu pomiarów termowizyjnych do 120 godzin może skutkować dokładniejszymi wynikami obliczeń współczynnika przenikania ciepła  $U$  [7, 8]. Jest to związane z niestabilnym przepływem ciepła przez przegrody wynikającym przede wszystkim ze zmiennych warunków pogodowych, wahań temperatury wewnętrznej i pojemności cieplnej przegrody. Pomiar ilościowy daje informację o rzeczywistym, a nie projektowanym, współczynniku przenikania ciepła  $U$ . Są bardzo istotne

<sup>1)</sup> Politechnika Białostocka, Wydział Budownictwa i Nauk o Środowisku; r.stachniewicz@pb.edu.pl

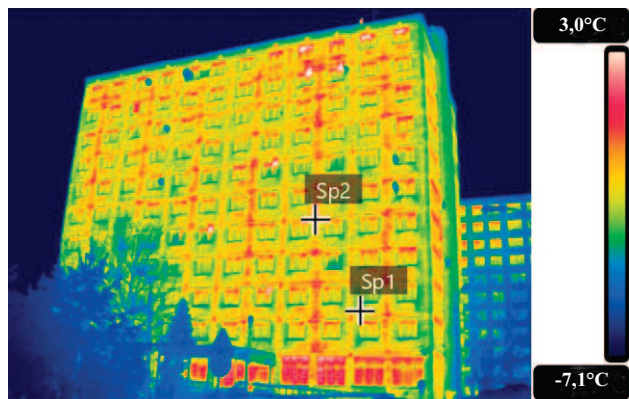
z punktu widzenia dokładnego określenia oszczędności eksploatacyjnych, wpływających na opłacalność zabiegów termomodernizacyjnych. Ze względu na szybkość badania najczęściej stosowana jest termowizyjna ocena jakościowa budynku.

## Przykłady zastosowania termografii do wstępnej oceny zasadności termomodernizacji

Na fotografiach 1 ÷ 6 pokazano ocenę stanu przegród w budynku i elementów instalacji grzewczych metodą jakościową, prowadząc badania od zewnątrz budynku (fotografie 1 ÷ 3) oraz od wewnątrz (fotografie 4 ÷ 6).

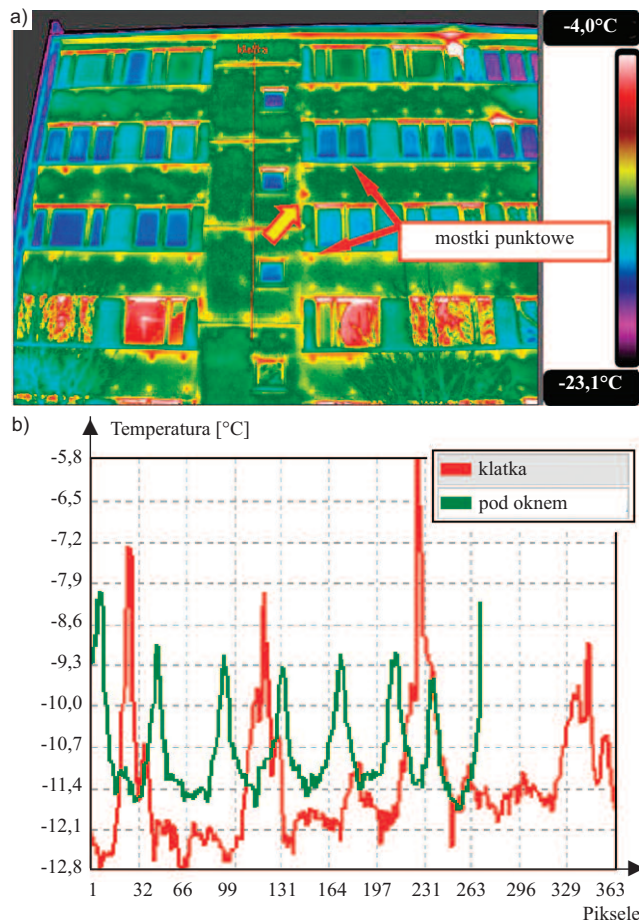
Na termogramie z fotografii 1 przedstawiono budynek zamieszkania zbiorowego w technologii „cegły żerańskiej”. Widoczne są mostki liniowe na połączeniach ścian wewnętrznych z zewnętrznymi oraz w wieńcach płyt stropowych. Duża różnica wartości temperatury na powierzchni elewacji wynika z lokalizacji pionów grzewczych prowadzonych przy pionowych mostkach liniowych. Różnica ta na powierzchni elewacji dochodzi do 4,5°C, przy temperaturze powietrza zewnętrznego -6,9°C. W przypadku niskiej temperatury zewnętrznej oraz zwiększonej wilgotności wewnętrznej w kuchniach położonych przy ścianach szczytowych budynku może dojść do wykroplenia się pary wodnej na wewnętrznej powierzchni ściany. Szczególnie narażone są na takie zjawisko kuchnie przylegające do szczytu budynku, gdzie na skutek dwuwymiarowego przepływu ciepła w narożniku budynku (mostek geometryczny) i w połączeniu z mostkiem liniowym, dochodzi do dużego obniżenia temperatury. W konsekwencji, przy zmniejszonej cyrkulacji powietrza za zasłonami lub meblami dostawionymi do ścian, następuje rozwój pleśni w górnym i dolnym wewnętrznym narożu ściany.

Na termogramie z fotografii 2 pokazano budynek w technologii OWT-67N. Podobnie jak w poprzednim obiekcie można zaobserwować mostki liniowe na połączeniach zewnętrznych elementów wielopłytowych. Ponadto widoczne są mostki punktowe powstałe na skutek przebicia izolacji termicznej płyty ściennej łącznikami (wieszaki), które scalają część nośną ściany z okładziną zewnętrzną. Żółtą strzałką oznaczono miejsce (fotografia 2), gdzie oddziaływanie liniowego mostka termicznego na styku płyty klatki schodowej i mieszkania leży



**Fot. 1. Termogram oceny jakościowej przegród zewnętrznych w budynku w technologii „cegły żerańskiej”;**  $\theta_e = -7^\circ\text{C}$ ,  $\theta_i = 20^\circ\text{C}$ ; zachmurzony nieboskłon

*Photo 1. Thermogram of the qualitative assessment of external partitions in a building in the „cegla zeranska” technology;  $\theta_e = -7^\circ\text{C}$ ,  $\theta_i = 20^\circ\text{C}$ ; cloudy sky*



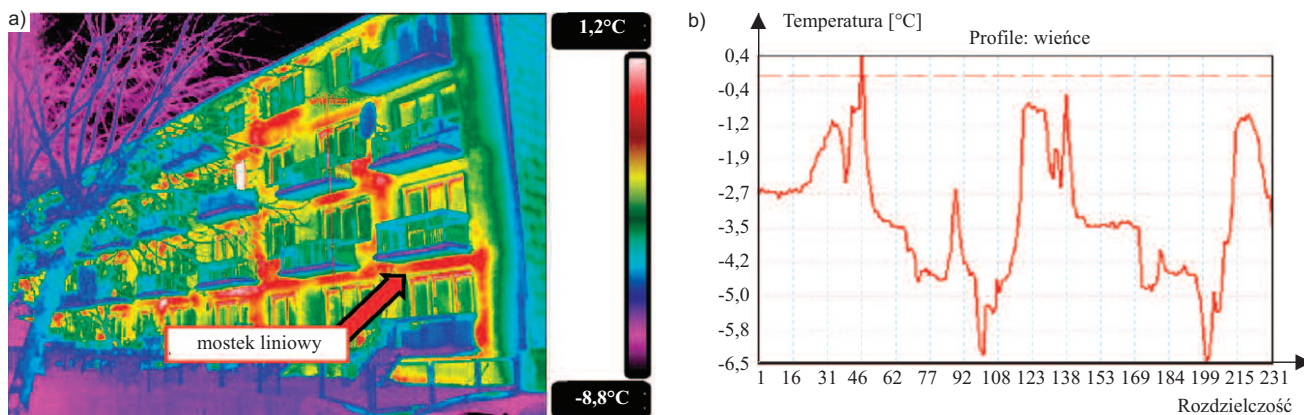
**Fot. 2. Termogram fragmentu ściany osłonowej w budynku w technologii OWT-67N z zaznaczonym profilem pionowym i punktowymi mostkami termicznymi (a); wykres wartości temperatury profilu pionowego klatki i poziomego pod parapetem czwartego kondygnacji (b)**  
*Photo 2. Thermogram of a fragment of a curtain wall in a building in the OWT-67N technology with a marked vertical profile and point thermal bridges (a); chart of temperatures of the vertical staircase and horizontal profile under the sill of the fourth floor (b)*

w pobliżu mostka punktowego. Taka koncentracja mostków cieplnych powoduje znaczne obniżenie temperatury od strony wewnętrznej. Istnieje duże prawdopodobieństwo, że przy wzroście wilgotności w mieszkaniu, nastąpi kondensacja pary wodnej w narożniku górnym przyległego pokoju i pojawi się pleśń.

Na profilu pionowym biegnącym przez płyty klatki schodowej różnica wartości temperatury w miejscu mostka i wartości temperatury poza nim wynosi maksymalnie 4,7 °C. Na termogramie widoczne są także mostki punktowe w miejscach wieszaków (żółte punkty pod parapetem i nad oknami). Różnica wartości temperatury w tych miejscach w stosunku do sąsiednich wynosi 2,1 – 3,4°C.

Termogram budynku wzniesionego w technologii tradycyjnej, murywanej z cegły silikatowej, przedstawia fotografia 3a. Największe straty ciepła występują w miejscach mostków liniowych zlokalizowanych w wieńcach stropowych i w nadprożach (fotografia 3b). Ponadto, na pionowych fragmentach ściany, widoczny jest wzrost temperatury w miejscach pionów centralnego ogrzewania. Dobrze widoczny na obrazie termalnym wzrost wartości temperatury przy pionach centralnego ogrzewania wynika z małej izolacyjności ścian zewnętrznych 1,19 W/(m<sup>2</sup>K).



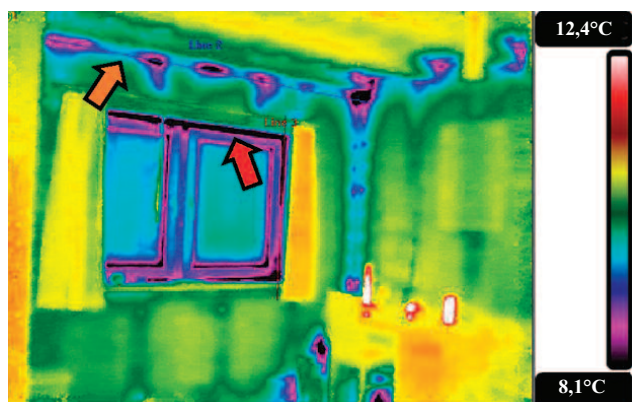


**Fot. 3. Termogram budynku w technologii tradycyjnej murowanej, z widocznymi mostkami liniowymi (a); profil pionowy temperatury przez płyty wspornikowe balkonów z widocznymi skokami wartości temperatury w miejscach mocowania płyt w wieńcu i nadprożach balkonów (b);  $\theta_e = -6,8^\circ\text{C}$ ;  $\theta_i = 20^\circ\text{C}$ ; zachmurzony nieboskłon**

*Photo 3. Thermogram of the building in traditional brick technology, with visible linear bridges (a); vertical profile of the temperature through the cantilever plates of the balconies with visible temperature value jumps in the places where the plates are fixed in the tie beam and balcony's lintels (b);  $\theta_e = -6,8^\circ\text{C}$ ;  $\theta_i = 20^\circ\text{C}$ ; cloudy sky*

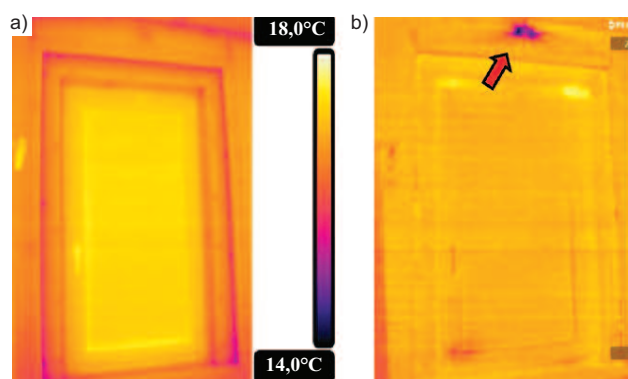
Opisane przypadki mogą być podstawą do podjęcia decyzji o termomodernizacji ścian zewnętrznych (dociepleniu), która wyeliminuje mostki liniowe i punktowe w analizowanych budynkach. Docieplając ściany zewnętrzne, należy docieplić także płyty balkonowe, aby zlikwidować mostek cieplny w połączeniu z wieńcem stropu.

Zastosowanie termowizji w inspekcji przed termomodernizacją pozwala wykryć tzw. mostki powietrzne, a więc miejsca infiltracji powietrza przez nieszczelności w obudowie budynku. Najczęściej występują one na połączeniach elementów konstrukcji drewnianej budynku (fotografie 4, 5a) oraz na poddaszach użytkowych z drewnianą konstrukcją więźby dachowej. Aby je wykryć podczas inspekcji termowizyjnej, należy wytworzyć różnicę ciśnień pomiędzy środowiskiem wewnętrznym i zewnętrznym. Do tego celu można użyć zestawu Blower Door [9] lub wykonać badania przy silnym wietrze. Wykorzystanie wiatru do wytwarzania różnicy ciśnienia, które powinno wynosić min. 5 Pa [10], ma pewną wadę. Badania można wykonać jedynie na elewacji nawietrznej, gdyż



**Fot. 4. Termogram powierzchni ściany w budynku drewnianym z charakterystycznym wzorem termicznym nieszczelności na poziomie stropu i oparcia belek stropowych na ścianie zewnętrznej;  $\theta_e = -0,5^\circ\text{C}$ ;  $\theta_i = 11,8^\circ\text{C}$**

*Photo 4. Thermogram of the wall surface in a wooden building with a characteristic thermal pattern of leakage at the ceiling level and the support of the ceiling beams on the external wall;  $\theta_e = -0,5^\circ\text{C}$ ;  $\theta_i = 11,8^\circ\text{C}$*



**Fot. 5. Termogram: a) okna w budynku drewnianym z podtynkową puszką instalacji elektrycznej pod płytą gipsowo-kartonową; b) różnicowy z charakterystycznym obrazem termicznym nieszczelności w miejscu osadzenia puszki elektrycznej;  $\theta_e = 21,5^\circ\text{C}$ ;  $\theta_i = 17,8^\circ\text{C}$  [11]**

*Photo 5. Thermogram: a) windows in a wooden building with an electrical installation box under the plasterboard; b) differential with a characteristic thermal leak pattern at the location of the electrical installation box;  $\theta_e = 21,5^\circ\text{C}$ ;  $\theta_i = 17,8^\circ\text{C}$  [11]*

powietrze napływające od tej strony przez szczeliny utworzy charakterystyczny obraz termalny na wewnętrznej powierzchni przegrody w miejscu przenikania (fotografia 4).

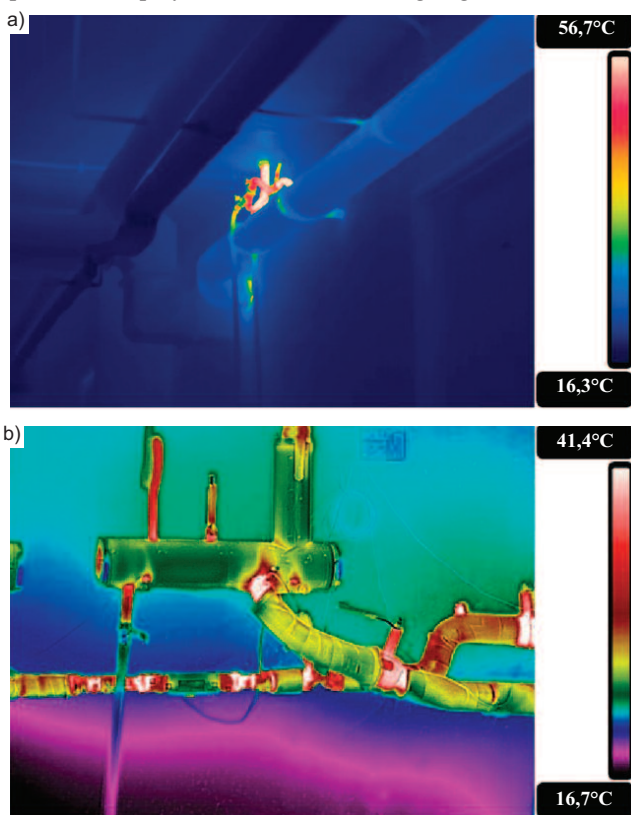
Maksymalna różnica ciśnienia, wytworzona w metodzie Blower Door, przy użyciu wentylatora, zależy od kubatury budynku i szczelności jego obudowy [9]. W większości przypadków wentylator umożliwia osiągnięcie różnicy ciśnienia powyżej 50 Pa. Pozwala to na dokładne wskazanie miejsc nieszczelności także w okresie letnim, przy niewielkiej kilkustopniowej różnicy wartości temperatury (fotografia 5b) [11, 12]. Dostępne obecnie na rynku inspekcyjne kamery termowizyjne charakteryzują się dużą czułością termiczną ok. 0,03 K (NETD – Noise Equivalent Temperature Difference). Posługując się analizą różnicową termogramów uzyskanych w trakcie badania szczelności budynku, można wykryć miejsca przenikania powietrza (fotografia 5b), które są mało widoczne na pojedynczym termogramie (fotografia 5a).

Podczas prac termomodernizacyjnych budynków z mostkami powietrznymi należy rozważyć uszczelnienie przegród w ce-

lu zmniejszenia zużycia ciepła do podgrzania powietrza infiltrującego przez szczelności. W przypadku dużych szczelności ( $n_{50} > 3,0 \text{ h}^{-1}$ ) wykonanie powłoki uszczelniającej przyczyni się do osiągnięcia zalecanej szczelności budynku [13].

Kolejnym przykładem wykorzystania kamer termowizyjnych przed termomodernizacją są inspekcje instalacji grzewczych i ciepłej wody. Mogą one ujawnić np. nieciągłość izolacji przewodów rozprowadzających ciepłą wodę. W starych instalacjach można także ocenić małą drożność przewodów spowodowaną odkładającym się kamieniem kotłowym. Termografię wykorzystuje się także do lokalizacji przecieków wody w instalacji grzewczej oraz ciepłej i zimnej wody, a także wykrywania zapowietrzenia grzejników.

Termogram przedstawiony na fotografii 6a pokazuje układ dobrze zaizolowanych przewodów w piwnicy budynku z częścią słabiej izolowanych zaworów odcinających, a na fotografii 6b pomieszczenie węzła cieplnego z niedokładnie zaizolowanymi przewodami przy rozdzielaczu centralnego ogrzewania.



**Fot. 6. Termogramy instalacji grzewczych: a) przewód centralnego ogrzewania ze źle zaizolowanym odejściem do pionu grzewczego; b) braki izolacji na elementach rozdzielacza w węźle cieplnym**  
*Photo 6. Heating installation thermograms: a) central heating duct with poorly insulated outlet to the heating riser; b) missing insulation on the manifold elements in the substation*

## Podsumowanie

Termografia może być bardzo pomocnym narzędziem dla inwestora w procesie podejmowania decyzji dotyczących termomodernizacji. Jest to bezinwazyjna metoda pozwalająca ocenić pod względem jakościowym stan termiczny budynku oraz szczelność jego obudowy. Umożliwia także ocenę efektywności zużycia i przesyłu ciepła instalacji wewnętrznych.

Podczas analizy efektywności ekonomicznej zabiegów termomodernizacyjnych przegród budynku bardzo ważne jest wcześniejsze ustalenie ich rzeczywistego współczynnika przenikania ciepła U. Izolacyjność termiczna przegród określona na podstawie dokumentacji technicznej może odbiegać od stanu faktycznego. W związku z tym wykorzystanie termografii ilościowej przy obliczaniu strat ciepłych budynku pozwala na określenie rzeczywistej izolacyjności termicznej przegród wykorzystywanej do obliczenia oszczędności energii cieplnej po termomodernizacji.

Ocenę szczelności budynków najlepiej jest przeprowadzać przy wytworzonym podciśnieniu i od strony wewnętrznej. Wówczas typowy dla szczelności obraz termiczny będzie lepiej widoczny – szczególnie w przypadku budynków drewnianych. W trakcie inspekcji termowizyjnych prowadzonych od zewnątrz budynku muszą być spełnione odpowiednie warunki pogodowe (stabilna temperatura, brak opadów, niewielki wiatr, zachmurzony nieboskłon) oraz utrzymująca się na tym samym poziomie temperatura wewnątrz badanych pomieszczeń. Przy określaniu miejsc przenikania powietrza niezbędne jest wytworzenie różnicy ciśnienia min. 5 Pa, co umożliwi zestaw Blower Door lub silnie wiejący wiatr.

## Literatura

- [1] Lucchi E. Applications of the infrared thermography in the energy audit of buildings: A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2017; vol. 82, no. October 2017, pp. 3077 – 3090, 2017, doi: 10.1016/j.rser.2017.10.031
- [2] Applications of the infrared thermography in the energy audit of buildings: A review. *Renew Sustain Energy Rev.* 2018; 82: 3077 – 90. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.031>.
- [3] ISO/DIS 6781-1. Draft international standard. Performance of buildings – Detection of heat, air and moisture irregularities in buildings by infrared methods – Part 1: General procedures.
- [4] Kirimtat A, Krejcar O. A review of infrared thermography for the investigation of building envelopes: Advances and prospects. *Energy Build.* 2018; 176: 390 – 406.
- [5] Kisilewicz T. Termowizyjny pomiar izolacyjności termicznej ściany w budynku istniejącym. *Materiały Budowlane.* 2022; DOI: 10.15199/33.2022.01.04.
- [6] Kisilewicz T, Wróbel A. Quantitative infrared wall inspection. *Proceedings of the 10-th edition of the Quantitative InfraRed Thermography – International Conference.* X. P. Maldague. 2010; <http://dx.doi.org/10.21611/qirt.2010.065>.
- [7] ISO 9869 Thermal insulation – Building elements – In-situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance.
- [8] Ficco G, Iannetta F, Ianniello E, Alfano FRD, Dell’Isola M. U-value in situ measurement for energy diagnosis of existing buildings. *Energy Build.* 2015, 104: 108 – 121.
- [9] Tejedor B, Barreira E, Peixoto de Freitas V, Kisilewicz T, Nowak-Dzieszko K, Berardi U. Impact of Stationary and Dynamic Conditions on the U-Value Measurements of Heavy-Multi Leaf Walls by Quantitative IRT. 2020. *Energies* 13 (6611).
- [10] PN-EN ISO 9972:2015-10. Ciepłota właściwości użytkowe budynków – Określanie przepuszczalności powietrznej budynków – Metoda pomiaru ciśnieniowego z użyciem wentylatora.
- [11] PN-EN 13187:2001. Właściwości cieplne budynków – Jakościowa detekcja wad cieplnych w obudowie budynku – Metoda podcierwienu.
- [12] Stachniewicz R. Using Thermography to Locate Air Leakages through the envelope of a Building in the summer season. *Measurement Automation Monitoring.* 2015; 61 (06): 261 – 4
- [13] Stachniewicz R. Ocena stanu technicznego budynku i jego instalacji za pomocą termowizji. *Materiały Budowlane.* 2021; DOI: 10.15199/33.2021.01.03.
- [14] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 6 listopada 2008 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. *Dz.U.* 2008 r. nr 201, poz. 1238 z późniejszymi zmianami.

*Badania zostały wykonane na Politechnice Białostockiej w ramach pracy nr WZ/WB-IIL/3/2022 finansowanej przez Ministerstwo Edukacji i Nauki.*

*Przyjęto do druku: 24.11.2022 r.*