



TERMOGRAFICZNA ANALIZA WYBRANYCH PRZEGRÓD BUDOWLANYCH W ASPEKTCIE ICH TERMOIZOLACYJNOŚCI

Mateusz Malinowski, Jakub Sikora
Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kollątaja w Krakowie

THERMOGRAPHIC ANALYSIS OF SELECTED BUILDING PARTITIONS IN THE CONTEXT OF THEIR THERMAL INSULATION PROPERTIES

Streszczenie

Temperatura jest skalarną wielkością fizyczną, jednym z podstawowych parametrów określających stan układu termodynamicznego. Wyraża ona średnią energię kinetyczną ruchu i drgań cząstek w tym układzie. Jedną z popularnych metod rejestracji temperatury jest pomiar parametrów promieniowania elektromagnetycznego (podczerwonego, ciepłego) emitowanego przez ciało o temperaturze powyżej 0 bezwzględnego (0 K lub $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$). Pomiar ten nazywany jest termografią i polega na zobrazowaniu rozkładu temperatur na powierzchni obiektu (obiektów) za pomocą detektora promieniowania podczerwonego. Największą zaletą tego typu pomiarów jest ich nieinwazyjność. Wykorzystanie kamery termograficznej umożliwia bez ingerencji w strukturę przegrody budowlanej wykryć większość wad konstrukcyjnych. Termografia pozwala na wykonanie pomiaru temperatury w miejscach trudnodostępnych lub w takich, gdzie wykorzystanie tradycyjnych metod jest niemożliwe. Termografia wykorzystywana jest w wielu różnorodnych kierunkach badawczych.

W artykule przedstawiono rezultaty badań polegających na wykorzystaniu termogramów w ocenie termoizolacyjności wybranych zewnętrznych przegród budowlanych. Szczególną uwagę poświęcono elementom fasady budynków. Do badań przyjęto następujące trzy obiekty budowlane: budynek wolnostojący jednorodzinny (z wykonaną izolacją termiczną tylko drugiej kondygnacji w 2008r.), budynek dwurodzinny wolnostojący typu bliźniak (jeno skrzydło bliźniaka posiada zewnętrz-

ną izolację termiczną wykonaną w 2008r.) oraz budynek jednorodzinny drewniany z początku XX wieku (wykonany z bali drewnianych). Badania wykonano zgodnie z normą PN-EN 13187:1998, z wykorzystaniem kamery termograficznej ThermaCAM e300 firmy FLIR. Termogramy opracowano w programie ThermaCAM™ QuickRaport 1.1, uwzględniając różnorodne współczynniki emisyjności analizowanych powierzchni.

Głównymi celami pracy było określenie różnic w termoizolacyjności analizowanych przegród budowlanych w zależności od wykonanej (lub niewykonanej) termomodernizacji oraz określenie miejsc występowania mostków termicznych, wynikających najczęściej z wad konstrukcyjnych budynków.

Jak wykazały badania, kamera termograficzna jest bardzo przydatnym narzędziem do oceny termoizolacyjności przegród budowlanych. Ze wszystkich przebadanych obiektów najlepszą izolacyjnością termiczną charakteryzowały się ściany niemodernizowanego pod względem termicznym budynku drewnianego. Przegroda w analizowanym drewnianym budynku izoluje tyle samo ciepła co zaizolowana styropianem o grubości 10 cm ściana murowana (różnica temperatur około 21°C). Różnice w temperaturach zewnętrznych powierzchni przegród z dodatkową izolacją i nieocieplonych wynosiły ponad 4°C. Na wykonanych zdjęciach i analizowanych termogramach zauważono powstawanie licznych mostków cieplnych.

Słowa kluczowe: termografia, izolacja cieplna, przegroda budowlana

Summary

Temperature is a scalar physical quantity, one of the principal parameters determining the state of a thermodynamic system. It corresponds to the average kinetic energy of the motion and vibration of particles in the system. One of the popular methods of temperature recording is the measurement of electromagnetic (infrared, thermal) radiation parameters emitted by a body of a temperature above the absolute zero (0 K or – 273.15°C). The measurement is defined as thermography and it is used to produce images of the distribution of temperatures on the surface of an object (objects) with the use of an infrared radiation detector. The main advantage of this type of measurement is its non-invasive nature. Due to the use of a thermographic camera, it is possible to detect most construction defects without interfering in the structure of a building partition. Thermography allows the measurement of temperature in the spaces that are not easily accessible or those where traditional methods are impossible to employ. Thermography is used in a variety of research specialisations.

The article presents the results of research relying on the use of thermogram analysis in the estimation of thermal insulation of chosen ex-

ternal building partitions. Much attention was given to façade elements of the buildings. The following structures were subjects of the research: a single-family detached building (with a thermal insulation only on the first storey; laid in 2008), a two-family semi-detached building (with one of the apartments having external thermal insulation laid in 2008); and a wooden single-family building from the beginning of the 20th century (made of logs). The research was conducted according to the PN-EN 13187:1998 norm, with the use of a thermographic camera FLIR ThermaCAM e300. Thermograms were developed in ThermaCAM™ QuickRaport 1.1 program with regard to various emissivity factors of the analysed surfaces.

The main aims of the research were to estimate the differences in thermal insulation of the analysed building partitions that depend on thermal modernization being done or not, and to detect the areas where thermal bridges, in majority stemming from construction defects, can be found.

As the research proves, thermographic camera is a very useful tool for the estimation of thermal insulation of building partitions. Out of all analysed objects, the walls of the wooden building that had not undergone thermal modernization proved to be best thermally insulated. A partition in a wooden building insulates as much heat as a brick partition insulated with a 10 cm layer of foam polystyrene (ca. 21°C). Differences in temperatures of the external surfaces between the partitions with additional insulation and those not insulated amounted to over 4°C. The analysis of photographs and thermograms revealed multiple thermal bridges.

Key words: thermography, thermal insulation, building partition

WSTĘP

Wszystkie nowopowstałe budynki w Polsce muszą obowiązkowo posiadać certyfikat energetyczny (Świadectwo Charakterystyki Energetycznej Budynku). Bez certyfikatu energetycznego nie można uzyskać pozwolenia na użytkowanie budynku. W dniu 16 kwietnia 2013 roku Rząd przyjął projekt założeń projektu ustawy o charakterystyce energetycznej budynków, który przewiduje między innymi, że każdy sprzedawany i wynajmowany lokal będzie musiał posiadać certyfikat energetyczny. Jednym ze składników audytu energetycznego budynku są wyniki badania przeprowadzonego kamerą termograficzną oraz określenie przy jej pomocy jakości wykonania izolacji (Rutkowska i in., 2013). Szczegółowy zakres i forma audytów energetycznych budynków oraz części audytu remontowego zostały określone w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 17

marca 2009 r. (Dz.U. 2009 nr 43 poz. 346). Analizy termograficzne są bardzo ważnym narzędziem w aspekcie zintegrowanej polityki oszczędzania energii. Wykonanie termogramów powierzchni zewnętrznych ścian budynków i ich analiza pozwala na nieinwazyjną identyfikację większości wad warstwy izolacyjnej, a także występowania błędów wykonawczych, pleśni lub wilgoci. Wykrycie tych miejsc w przegrodach budynku pozwala na racjonalne wykonanie działań termomodernizacyjnych. W domach jednorodzinnych straty ciepła zależą od stopnia izolacyjności przegrody (przy uwzględnieniu miejsc powstania mostków termicznych), sprawności wentylacji, wielkości i miejsca położenia budynku (Rutkowska i in., 2013). Działania termomodernizacyjne powinny być podejmowane w miejscach, w których budynki te są szczególnie narażone na straty ciepła. Procentowy podział strat ciepła w budynku kształtuje się następująco (Byrdy, 2009):

- przewody kominowe: 15-25%,
- dach 18-22%,
- ściany 25-40%,
- okna 15-23%,
- piwnica 7-10%.

Podstawowym elementem obliczeń ciepłno – wilgotnościowych jest wyznaczenie współczynnika przenikania ciepła dla przegród budowlanych. Każda z przegród charakteryzuje się określonymi właściwościami izolacyjnymi. Wartość współczynnika przenikania ciepła U [$W(mK)^{-1}$] ścian, stropów i stropodachów nie może być większa niż U_{max} dla przegród zewnętrznych. W pomieszczeniach, gdzie jest utrzymywana średnia temperatura powyżej $16\text{ }^{\circ}C$, $U_{max} = 0,3$ $W(mK)^{-1}$. Ustawa, obowiązująca od 1 stycznia 2009 r. w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku stanowiące samodzielną całość techniczno – użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw ich charakterystyki energetycznej przy obliczaniu zapotrzebowania na energię końcową wymaga wyliczenia skorygowanego współczynnika przenikania ciepła U_c . Skorygowany współczynnik przenikania ciepła uwzględniający nieszczelności w warstwie izolacyjnej oraz obecność łączników mechanicznych przebijających warstwę izolacyjną wyznacza się z formuły (1), w którym ΔU to współczynnik korekty wyznaczony jako suma poprawek z uwagi na nieszczelność, łączniki mechaniczne oraz opady atmosferyczne (Schabowicz, Gorzelańczyk, 2009):

$$U_c = U + \Delta U \quad (1)$$

Współczynnik przenikania ciepła U określa się ze wzoru:

$$U = \frac{1}{R_{T,h}}, \quad (2)$$

w którym $R_{T,h}$ to całkowity opór cieplny przegrody stanowiący sumę oporów wszystkich warstw przegrody. Izolacyjność cieplna przegród i podłóg na gruncie w zależności od typu obiektu budowlanego jest określona w Polskich Normach.

W celu ochrony budynku przed utratą wewnętrznego ciepła (poprzez jego wymianę z ośrodka o wyższej do ośrodka o niższej temperaturze) wykonuje się zabiegi termomodernizacyjne. Najpopularniejsze działania to wykonanie izolacji cieplnej – inaczej zwanej termiczną (Rutkowska i in., 2013). Za materiał izolacyjny przyjmuje się warstwy o oporze cieplnym co najmniej $2,0 \text{ m}^2\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$. Do ocieplania metodą BSO używa się styropianu EPS 70 lub EPS 100. Popularnym materiałem izolacyjnym jest także wełna mineralna w dwóch odmianach: płyta fasadowa (wym. 1200 mm x 600 mm lub 1000 mm x 500 mm) o układzie włókien równoległym do powierzchni płyty i strukturze zaburzonej oraz wełna lamelowa (wym. 1200 mm x 20 mm) o układzie włókien prostopadłym do powierzchni płyty. Wybierając rodzaj systemu dociepleń trzeba uwzględnić kilka kryteriów, z których najważniejsze to konstrukcja budynku i technologia budowy.

Przepływ ciepła w materiale determinowany jest jego właściwościami cieplnymi oraz innymi właściwościami fizycznymi tego obiektu, tj. rozmiarem, kształtem, masą, objętością, strukturą wewnętrzną, grubością, barwą, gęstością, wilgotnością, etc. (Baranowski, 2008; Malinowski i in., 2012). Jeżeli wewnątrz badanego obiektu (materiału) występują niejednorodności właściwości cieplnych, a więc zróżnicowanie przenikania ciepła do wnętrza, możliwe jest otrzymanie na jego powierzchni śladów termalnych tych niejednorodności, a w konsekwencji kontrastów termalnych między strukturą nienaruszoną materiału i zaburzeniem (Baranowski, 2008). Do ich wykrywania stosowane są kamery termograficzne.

Termograficzne pomiary temperatury polegają na pomiarze natężenia promieniowania cieplnego (w zakresie długości fal od 0,9 do 14 μm), które jest

emitowane przez wszystkie ciała o temperaturze wyższej od temperatury 0 K (-273,15°C). Termografia wykorzystywana jest w takich dziedzinach przemysłu jak: budownictwo, ciepłownictwo, diagnostyka układów energoelektronicznych, diagnostyka urządzeń mechanicznych i medycyna (Wróbel 2010). Wyniki pomiarów termograficznych (uzyskanych za pomocą aparatu [kamery termograficznej] wyposażonego w detektor promieniowania podczerwonego) przedstawiane są na cyfrowym zdjęciu termograficznym (termogramie), na którym poszczególnym wartościom temperatury (zapisanym jako osobny plik z danymi liczbowymi) przyporządkowane są kolory. Termogram przedstawia obraz tylko pozornej temperatury. W czasie wykonania pomiaru i analizy termogramu należy więc uwzględniać przede wszystkim współczynnik emisyjności badanego obiektu (materiału) oraz wpływ otoczenia, który może zniekształcić uzyskany termogram. Tylko dokładna znajomość wartości emisyjności obserwowanej powierzchni zapewnia możliwość określenia bezwzględnej wartości jej temperatury (Wróbel, 2010).

Analiza termogramów umożliwiła zlokalizowanie miejsc występowania oraz ilościowej oceny strat ciepła w budynkach. Wyniki termowizyjnych pomiarów temperatury są przydatne przy opracowywaniu audytów energetycznych, przy podejmowaniu decyzji dotyczących realizacji planowanych inwestycji termomodernizacyjnych oraz określaniu ich zakresu (Kruczek, 2008).

Celem przeprowadzonych badań było określenie różnic w temperaturach wybranych zewnętrznych powierzchni przegród budowlanych w aspekcie ich termoizolacyjności oraz wykonanych (lub niewykonanych) działań termomodernizacyjnych. W badaniach określono również miejsca występowania mostków termicznych wynikających najczęściej z wad konstrukcyjnych budynków. Analizom porównawczym poddano 3 obiekty budowlane położone na terenie Krakowa, których charakterystyki zamieszczono w kolejnym rozdziale.

METODYKA BADAŃ

Badania termograficzne wykonano zgodnie z normą PN-EN 13187:1998 „Właściwości cieplne budynków – jakościowa detekcja wad cieplnych w obudowie budynku – Metoda podczerwieni” 4 marca 2010 roku pomiędzy godziną 21 a 22. Temperatura powietrza zawierała się w zakresie od – 4 do – 3°C. Noc pochmurna, bezwietrzna. Zjawiska atmosferycznie nie występowały.

Do badań wybrano elewacje zewnętrzne trzech konstrukcji budowlanych budynków mieszkalnych:

1. Budynek wolnostojący, jednorodzinny, podpiwniczony z garażem, dwukondygnacyjny. Dom posadowiony jest na ławach fundamentowych zbrojonych. Obiekt ten został wykonany w technologii tradycyjnej z cegły pełnej o grubości ścian 38 cm. Na drugiej kondygnacji wykonano zewnętrzną izolację termiczną w 2008 roku (styropian 10 cm). Pierwsza kondygnacja oraz wystające ponad poziom ziemi mury piwnicy nie zostały zaizolowane (brak również tynku). Obiekt zamknięty jest dachem dwuspadowym o konstrukcji drewnianej, poszycie dachowe jest wykonane z blacho – dachówki. Zarówno pierwsza, jak i druga kondygnacja są zamieszkałe. Temperatura wewnątrz obiektu była ustabilizowana i wynosiła 18°C.
2. Budynek dwurodzinny typu bliźniak, wolnostojący, podpiwniczony z garażami. Obiekt ten jest posadowiony na ławach fundamentowych żelbetowych. Oba skrzydła bliźniaka zostały wykonane w technologii tradycyjnej z pustaków ceramicznych modułarnych, na których są wykonane tynki cementowo – wapienne. Dla prawej części bliźniaka została wykonana izolacja termiczna w 2008 roku (styropian 10 cm). Obiekt zamknięty stropodachem, ocieplony styropianem i wełną mineralną. Temperatura wewnątrz obu skrzydeł obiektu była ustabilizowana i wynosiła 19°C.
3. Budynek jednorodzinny, drewniany, niepodpiwniczony, z podmurówką wykonaną z cegły pełnej z początków XX wieku, wykonany z bali drewnianych 30 cm. Temperatura wewnątrz budynku wynosiła 18°C.

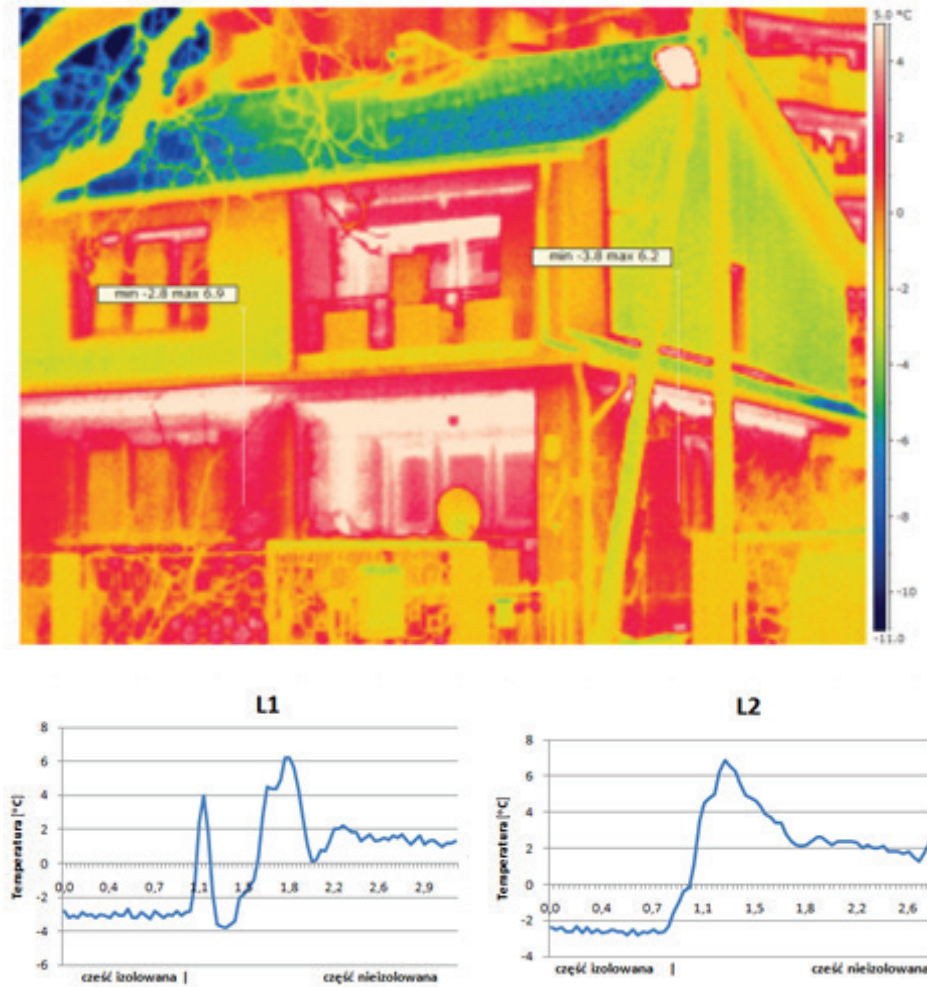
Pomiary przeprowadzono kamerą termograficzną ThermaCAM e300 firmy FLIR, będącą na wyposażeniu Instytutu Inżynierii Rolniczej i Informatyki UR w Krakowie. Rozdzielczość temperaturowa kamery wynosi 0,1 °C. Każde zdjęcie posiada 16 – bitową głębię barw oraz wymiar 320 x 240 pikseli, a więc uzyskiwane macierze danych posiadają informacje o temperaturze 76800 punktów. Zakres długości fal od 7,5 do 13 μm, możliwy do analizy zakres temperatur zawiera się w zakresie od – 20°C do 1200°C. Dla każdego z badanych obiektów wykonano serie zdjęć różnych elementów elewacji. Niektóre zdjęcia wykonano pod kątem, (czego należy unikać) ze względu na trudności z ich wykonaniem. Trudności te wynikały z faktu, iż domy znajdują się blisko jezdni drogi, a tuż przy nich rosną drzewa lub wysokie krzewy

Wykonane zdjęcia poddano obróbce cyfrowej w programie ThermaCAM™ QuickRaport 1.1. Dla każdego rodzaju materiału (z których zostały wykonane elewacje) ustalono współczynnik emisyjności, co umożliwiło porównywanie temperatur powierzchni przegród budowlanych. Współczynnik emisyjności \mathcal{E} to stosunek energii W_{rz} emitowanej przez ciało rzeczywiste o danej temperaturze do energii W emitowanej przez ciało doskonale czarne w tej samej temperaturze. Temperatura radiacyjna T_r ciała rzeczywistego o współczynniku emisyjności \mathcal{E} jest równa temperaturze termodynamicznej T_t pomnożonej przez pierwiastek 4-go stopnia z tego współczynnika (Walczak i in., 2001).

WYNIKI BADAŃ

Rysunki 1, 2 i 3 przedstawiają termogramy zewnętrznych przegród budowlanych w analizowanych obiektach. Na każdym termogramie paleta barw została dobrana w taki sposób, aby kolor biały odpowiadał miejscom, w których następuje wyraźna infiltracja powietrza (zwiększa się przewodność cieplna), zaś kolor ciemnoniebieski elementom najchłodniejszym (najczęściej był to nieboskłon). Linie zaznaczone na termogramach wskazują miejsca dla których wykonano profile temperaturowe. Dla każdego domu wyróżniono miejsca powstawania mostków termicznych.

Na termogramie 1 (rys.1) przedstawiającym budynek 1 wolnostojący, zauważalne są duże powierzchnie o wysokiej temperaturze (w stosunku do pozostałych elementów elewacji) w przestrzeniach balkonowych (ściany i drewniane framugi okien), nad oknami oraz w miejscach łączenia ściany i stropu pierwszej kondygnacji. W pierwszej (dolnej) kondygnacji (nieizolowanej termicznie) mostki termiczne zajmują bardzo duży obszar. Temperatura zewnętrznej powierzchni ścian w tych miejscach wynosiła w momencie pomiaru ponad 4°C. Dla przestrzeni balkonowej dolnej średnia temperatura ścian wynosiła 5,1°C (dla górnej 2,8°C), dla framug okien balkonowych dolnych 5°C (dla górnych jest wyższa 6,1°C – co wskazuje na potrzebę wymiany tych okien). W miejscach odpowiadających łączeniu ścian pierwszej kondygnacji ze stropem temperatura wynosiła 5,2°C (zakres od 2,7°C do 6,7°C). Różnica temperatur (pomiędzy wewnętrzną i zewnętrzną dla przegrody) w tych miejscach była najmniejsza i wynosiła średnio 13-14°C.



Rysunek 1. Termogram i profile temperaturowe dla obiektu budowlanego 1

Figure 1. Thermogram and temperature profiles of first object

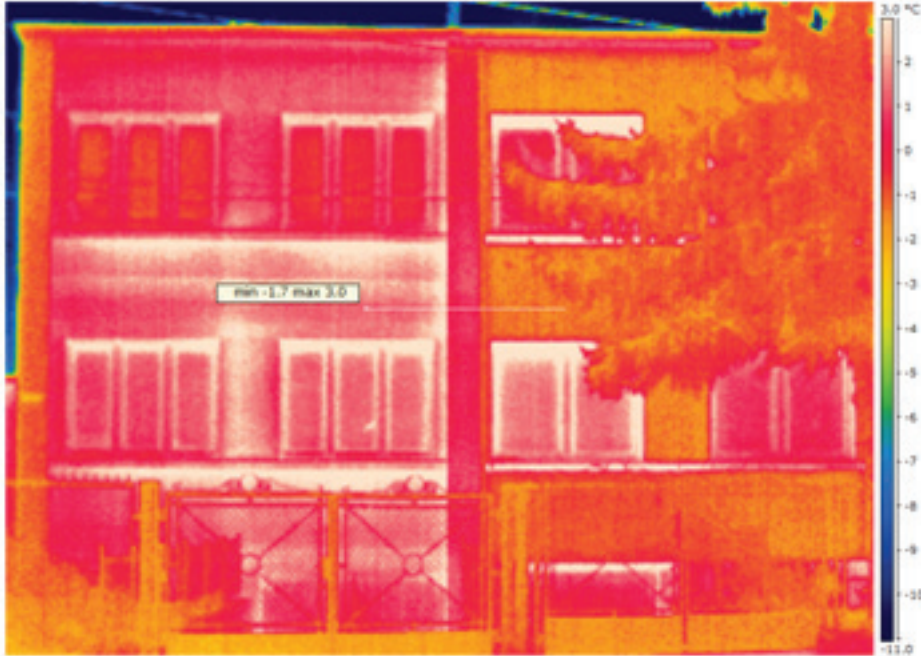
Na termogramie 1 widoczne są również: lampa oświetlenia drogowego (z prawej strony budynku) oraz budynek wielorodzinny wykonany w technologii przemysłowej (z tyłu analizowanego obiektu). Wspomniane obiekty nie miały wpływu na wykonanie zdjęcia kamerą termograficzną i jego analizę.

Z profili temperaturowych L1 oraz L2 dla termogramu 1 (rys. 1) wynika, iż w momencie wykonania pomiaru średnia temperatura radiacyjna zaizolowanej części budynku 1 (druga kondygnacja) wynosiła $-2,8^{\circ}\text{C}$. Oznacza to, że różnica temperatur dla przegrody budowlanej w tym miejscach wynosiła ponad 20°C . Właściwości izolacyjne części nieizolowanej są dużo niższe. Średnia temperatura zewnętrznej powierzchni nieocieplonej elewacji wynosiła 2°C (przegroda zatrzymywała wówczas 16 stopni ciepła). Zastosowanie ocieplenia wykonane go z płyt styropianowych spowodowało polepszenie izolacyjności termicznej przegrody o 4 stopnie. Największe straty ciepła występują w miejscach łączenia ścian ze stropem pierwszej kondygnacji. Na profilu L1 widoczny jest wzrost temperatury w miejscu, w którym kończy się izolacja, co jednoznacznie świadczy o błędach wykonawczych warstwy termoizolacyjnej.

Termogram 2 (rys. 2) ilustruje wolnostojący obiekt nr 2 (bliźniak, w którym prawy dom został poddany termomodernizacji). Wysokie temperatury radiacyjne w momencie wykonywania pomiaru charakteryzowały głównie elewację zewnętrzną lewego skrzydła domu. Mostki cieplne obserwowane w tej części obiektu budowlanego znajdują się w pasie o szerokości 20 cm pod parapetami. Średnia temperatura powierzchni ścian w tych miejscach wynosiła $2,8^{\circ}\text{C}$. Wyższa temperatura powierzchni przegrody budowlanej w lewym skrzydle domu cechuje również obszary odpowiadające umocowaniu kaloryferów. Wynika to z braku termicznej izolacji za kaloryferami wewnątrz budynku. Średnia temperatura powierzchni elewacji prawego skrzydła budynku wynosiła w chwili pomiaru $-1,4^{\circ}\text{C}$. Różnica pomiędzy zewnętrzną i wewnętrzną temperaturą przegrody prawego skrzydła domu wynosiła w czasie pomiaru około $20,5^{\circ}\text{C}$, czyli średnio o 4°C więcej niż przegroda lewego skrzydła domu. Profil L1 dla termogramu 2 (rys. 2) przedstawia tę różnicę. Na rysunku 2 widoczne są również wysokie temperatury przegrody budowlanej w miejscu łączenia się obu budynków (około 3°C).

Termogram 3 (rys. 3) ilustruje temperatury powierzchni elewacji obiektu drewnianego. W tle termogramu widoczny jest blok mieszkalny. Średnia temperatura zewnętrznych powierzchni tego domu wynosiła w momencie pomiaru -3°C . Różnica pomiędzy zewnętrzną i wewnętrzną temperaturą drewnianej przegrody budowlanej wynosiła ponad 21°C – najwięcej z analizowanych ścian. Budynek ten dzięki ścianom wykonanym z drewna litego posiada dużą

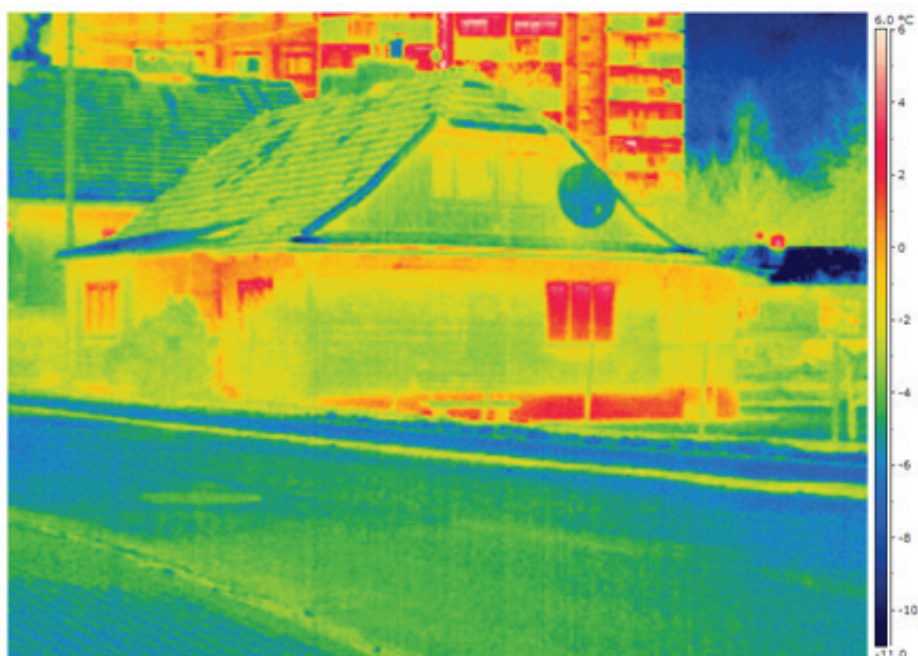
pojemność cieplną. Pojemność ta wpływa na bezwładność temperaturową zapobiegającą zbyt szybkim zmianom temperatur wewnątrz, zarówno latem jak i zimą.



L1



Rysunek 2. Termogram i profil temperaturowy dla obiektu budowlanego 1 (bliźniak)
Figure 2. Thermogram and temperature profile of second object (semi-detached house)



Rysunek 3. Termogram dla obiektu budowlanego nr 3 (drewnianego)

Figure 3. Thermogram of third object (wooden house)

Widoczne na rys. 3 chłodne miejsca w kształcie koła na drugiej kondygnacji to antena satelitarna. Mostki cieplne stanowią: podmurówka wykonana z betonu (średnia temperatura w chwili pomiaru: $1,6^{\circ}\text{C}$) oraz miejsce połączenia kondygnacji (średnia temperatura w chwili pomiaru: $-0,5^{\circ}\text{C}$), a także miejsce połączenia się budynku z gankiem (w lewej części termogramu). Na termogramie widoczne są również okna, których prawdopodobna temperatura wynosiła ponad 2°C .

WNIOSKI

Termograficzna technika pomiaru rozkładu temperatur daje duże możliwości w zakresie oceny strat ciepła różnych obiektów budowlanych, czy prawidłowości wykonania izolacji cieplnej oraz lokalizacji błędów projektowych, wykonawczych czy uszkodzeń ścian budynków. Zdjęcia wykona-

ne kamerą termograficzną potwierdziły jej przydatność do analizy temperatur fasad budynków.

Najlepszymi właściwościami termoizolacyjnymi podczas wykonywania pomiarów charakteryzowała się przegroda budowlana wykonana z bali drewnianych. Przegroda ta była zdecydowanie cieńsza od przegród murowanych, a także nie posiadała dodatkowej izolacji termicznej, pomimo to cechowała się zbliżonym współczynnikiem przenikania ciepła w relacji do ściany murowanej. Wynika to z właściwości warstw wykonywanych w obu tych technologiach. Ściana drewniana to warstwa materiału izolacyjnego, a szkielet konstrukcji zajmuje stosunkowo niewielką powierzchnię ściany. W przypadku domu murowanego ściana wymaga dodatkowego ocieplenia (np. styropian o grubości 10 cm), aby dorównać technologii drewnianej. Różnica w temperaturze powierzchni zewnętrznej fasad zaizolowanych i nieocieplonych wynosiła ponad 4°C. Na wykonanych zdjęciach i analizowanych termogramach zauważono liczne mostki cieplne, które tworzyły się przede wszystkim w miejscach, gdzie przegroda budowlana była cieńsza (np. przestrzeń balkonowa), w miejscu styku ścian i stropów, nad framugami okien, pod parapetami oraz w miejscach zainstalowania kaloryferów.

BIBLIOGRAFIA

- Baranowski, P. (2008). Temperatura radiacyjna wybranych owoców i nasion jako parametr oceny ich jakości. *Acta Agrophysica*, 159. Lublin s. 29-49
- Byrdy, C. (2009). Ciepłochronne konstrukcje ścian zewnętrznych budynków mieszkalnych. Politechnika Krakowska, Kraków
- Kruczek T. (2008). Zastosowania termowizji w budownictwie. Instytut Techniki Ciepłej, Politechnika Śląska.
- Malinowski, M., Sikora, J., Krzystanek, I., Kurdziel, S. (2012). Wykorzystanie termografii do nieinwazyjnej analizy wewnętrznych uszkodzeń miąższu jabłek. *Episteme*. Nr 15/2012, s. 169-176
- Rutkowska, G., Klepak, O., Podawca, K. (2013). Problemy strat ciepła w istniejących budynkach jednorodzinnych w kontekście błędów wykonawczych. *Annual Set The Environment Protection*, 15/2013, s. 2625-2639
- Schabowicz, K., Gorzelańczyk, T., (2009). Materiały do ćwiczeń projektowych z budownictwa ogólnego. Dolnośląskie wydawnictwo edukacyjne. s. 68-73
- Walczak, R., Mazurek, W., Baranowski, P. (2001). Zastosowanie termografii w różnych dziedzinach nauki i techniki. *Eksploatacja i niezawodność*. 2-3/2001.
- Wróbel, A. (2010). Termografia w pomiarach inwentarskich obiektów budowlanych (rozprawa habilitacyjna). Monografie 209, AGH. Kraków

Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 17 marca 2009 r. w sprawie szczegółowego zakresu i form audytu energetycznego oraz części audytu remontowego, wzorów kart audytów, a także algorytmu oceny opłacalności przedsięwzięcia termomodernizacyjnego (Dz.U. 2009 nr 43 poz. 346)

Mateusz Malinowski, Jakub Sikora
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
Instytut Inżynierii Rolniczej i Informatyki
Zakład Infrastruktury Technicznej i Eko-energetyki
Ul. Balicka 116b, 30-149 Kraków
Tel: +48 (12) 662 46 60
E-mail: mateuszmalinowski1985@o2.pl
Jakub.Sikora@ur.krakow.pl