



Metody badań diagnostycznych w ocenie termoizolacyjności i charakterystyki energetycznej wielkopowierzchniowych obiektów budowlanych

Andrzej Kysiak¹

STRESZCZENIE:

Omówiono metody diagnostyki technicznej dotyczącej oszczędności energii i odpowiedniej izolacyjności przegród budowlanych budynków wielkopowierzchniowych. Przedstawiono zagadnienie pomiarów termowizyjnych i szczelności powietrznej budynków oraz problemy związane z obliczeniami charakterystyki energetycznej. W artykule omówiono wyniki badań szczelności obudowy oraz pomiarów termowizyjnych z wykorzystaniem dronów wykonanych w ramach oceny termoizolacyjności elementów obudowy budynku galerii handlowej.

SŁOWA KLUCZOWE:

diagnostyka obiektów budowlanych; badania termowizyjne; badania szczelności powietrznej

1. Wprowadzenie

Ustawa z dnia 29 sierpnia 2014 r. o charakterystyce energetycznej budynków (Dz.U. 2014, poz. 1200) wprowadziła obowiązek sporządzania certyfikatu energetycznego dla wszystkich budynków o powierzchni przekraczającej 500 m², w których są świadczone usługi dla ludności, m.in. dworców, lotnisk, muzeów, hal wystawienniczych i centrów handlowych. Zasady wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej określa Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 r.

Metodologia określania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku według tego rozporządzenia budzi wiele wątpliwości, niejasności i niezgodności z wcześniej obowiązującymi procedurami, m.in. dotyczącymi sposobu określania powierzchni o regulowanej temperaturze. Niejednoznaczność wskaźników używanych do prezentacji wyników obliczeń przeprowadzanych na potrzeby świadectwa energetycznego przedstawiono w publikacji [1].

Rozporządzenie Ministra Infrastruktury (Dz.U. 2008, nr 201, poz. 1240) w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku określa, że wymagania dotyczące energochłonności budynku są spełnione, jeżeli wartość wskaźnika określającego roczne obliczeniowe zapotrzebowanie na nieodnawialną energię do ogrzewania, wentylacji i przygotowania ciepłej wody użytkowej oraz chłodzenia jest mniejsza od określonych wartości granicznych.

Rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki w zakresie wymagań dotyczących racjonalnego zużycia energii cieplnej, wskazuje, że instalacje ogrzewcze, wentylacyjne i klimatyzacyjne, ciepłej wody użytkowej powinny być zaprojektowane i wykonane w taki sposób, aby ilość ciepła, chłodu i energii elektrycznej, potrzebnych do użytkowania budynku zgodnie z jego przeznaczeniem, można było utrzymać na racjonalnie niskim poziomie. Wymagania te zostają spełnione wtedy, gdy wartość wskaźnika E, określają-

¹ Politechnika Częstochowska, Wydział Budownictwa, ul. Akademicka 3, 42-218 Częstochowa, e-mail: kysiak@bud.pcz.pl, orcid id: 0000-0002-0842-2051

cego obliczeniowe zapotrzebowanie na energię końcową do ogrzewania budynku w sezonie grzewczym, wyrażone ilością energii przypadającej w ciągu roku na 1 m³ kubatury grzewczej części budynku, jest mniejsza od wartości granicznych E0. Zgodnie z dyrektywą EPBD 2018/844, państwa członkowskie UE powinny dostosować krajowe metody określania charakterystyk energetycznych budynków do całego zestawu nowych norm powiązanych z dyrektywą. Tymi normami są normy serii EN ISO 52000 lub seria norm EN 16798 dotycząca wentylacji [3].

Sprawdzenie obowiązujących warunków technicznych w zakresie charakterystyki energetycznej budynku oraz wymagań normowych w zakresie odpowiedniej izolacyjności przegród wymaga specjalistycznych analiz, do wykonania których niezbędne jest przeprowadzenie badań przy użyciu specjalistycznej aparatury lub symulacji komputerowej [4-6].

Zarządcy budynków wielkopowierzchniowych, np. galerii handlowych, optymalizując koszty eksploatacji obiektów, poszukują takich rozwiązań, które ograniczyłyby zużycie energii, a także pozwoliłyby na zmniejszenie parametru mającego wpływ na koszty - moc zamówioną obiektu.

Obliczenia maksymalnej mocy grzewczej, jaka może wystąpić w rzeczywistym budynku, może być wykonane w oparciu o normę PN-EN 12831 metodą symulacji dynamicznej z wykorzystaniem oprogramowania zgodne z wytycznymi CIBSE AM 11 „Building energy and environmental modelling”. Obliczenie obciążenia cieplnego wykonuje się np. w programie Audytor OZC 6.9 Pro na podstawie stworzonego numerycznego modelu budynku [4].

W niniejszym artykule przedstawiono metody badań diagnostycznych, jakie zostały wykorzystane w ekspertyzie budowlanej obiektu centrum handlowego w Stalowej Woli, mającej na celu zdefiniowanie przyczyn obserwowanych wyższych od zakładanych kosztów ogrzewania obiektu. Na podstawie badań termowizyjnych z zastosowaniem bezzałogowych statków powietrznych została zweryfikowana jakość wykonania termoizolacji przegród zewnętrznych oraz wskazane ewentualne miejsca charakteryzujące się obniżoną izolacyjnością cieplną mostków termicznych i przecieków powietrznych.

2. Opis obiektu i zakres wykonanych prac badawczych

Przedmiotem ekspertyzy [7] był obiekt Galerii VIVO w Stalowej Woli złożony z jednokondygnacyjnego centrum handlowego wysokości ok. 8,0 m oraz dwukondygnacyjnej części marketu budowlanego wysokości ok. 10,0 m. Obiekt został wybudowany w 2015 r. i w czasie wykonywania badań był już od 3 lat użytkowany. Budynek galerii usytuowany jest w terenie otwartym o dużej ekspozycji na wiatr (rys. 1).



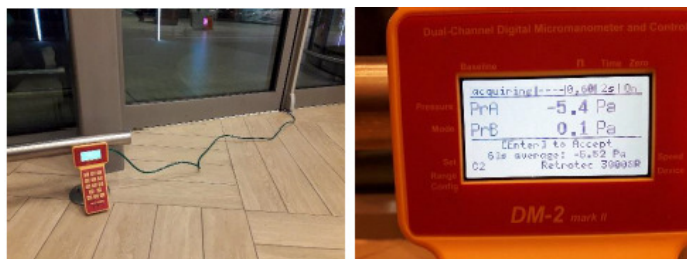
Rys. 1. Usytuowanie budynku CH VIVO
[<https://www.google.pl/maps>]

Powierzchnia zabudowy obiektu: 29 250,31 m², kubatura: 237 125,06 m³, powierzchnia netto: 28 497,42 m², powierzchnia użytkowa: 22 306,72 m². Ze świadectwa charakterystyki

energetycznej budynku centrum handlowego wynika, że powierzchnia pomieszczeń o regulowanej temperaturze powietrza wynosiła 28 469,73 m², a kubatura budynku o regulowanej temperaturze powietrza: 237 125,06 m³. Wyznaczony wskaźnik rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną $EP = 114,01 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ rok})$ spełniał wymagania dla nowo wznoszonych budynków wg Warunków Technicznych, tj. $EP < 190,00 \text{ kWh}/\text{m}^2 \text{ rok}$. W świadectwie wykazano również, że dla wszystkich zaprojektowanych przegród zewnętrznych (ścian, pokrycia dachowego, podłóg, okien, drzwi i bram) obliczone współczynniki przenikania ciepła U spełniały wymagania określone w obowiązujących Warunkach Technicznych.

3. Przebieg i zakres diagnostyki energetycznej obiektu

Zakres badań obejmował kontrolę termograficzną ścian zewnętrznych i stropów od strony wewnętrznej oraz naloży dronem z kamerą termowizyjną w celu kontroli powierzchni dachu od strony zewnętrznej. Przed rozpoczęciem badań w wybranych miejscach na różnych elewacjach zmierzono różnicę ciśnień pomiędzy budynkiem (rys. 2). Ponieważ celem kontroli termograficznej było m.in. ustalenie lokalizacji miejsc wypływu powietrza, różnica ciśnień w badanym miejscu powinna wynosić co najmniej 5 Pa. Wykonane pomiary jednoznacznie wskazały na występowanie równomiernego podciśnienia w całym budynku, co wynikało z nałożenia się efektu kominowego związanego z konwekcyjnym ruchem cieplejszego powietrza ku górze z regulacją systemu wentylacji wewnątrz galerii.



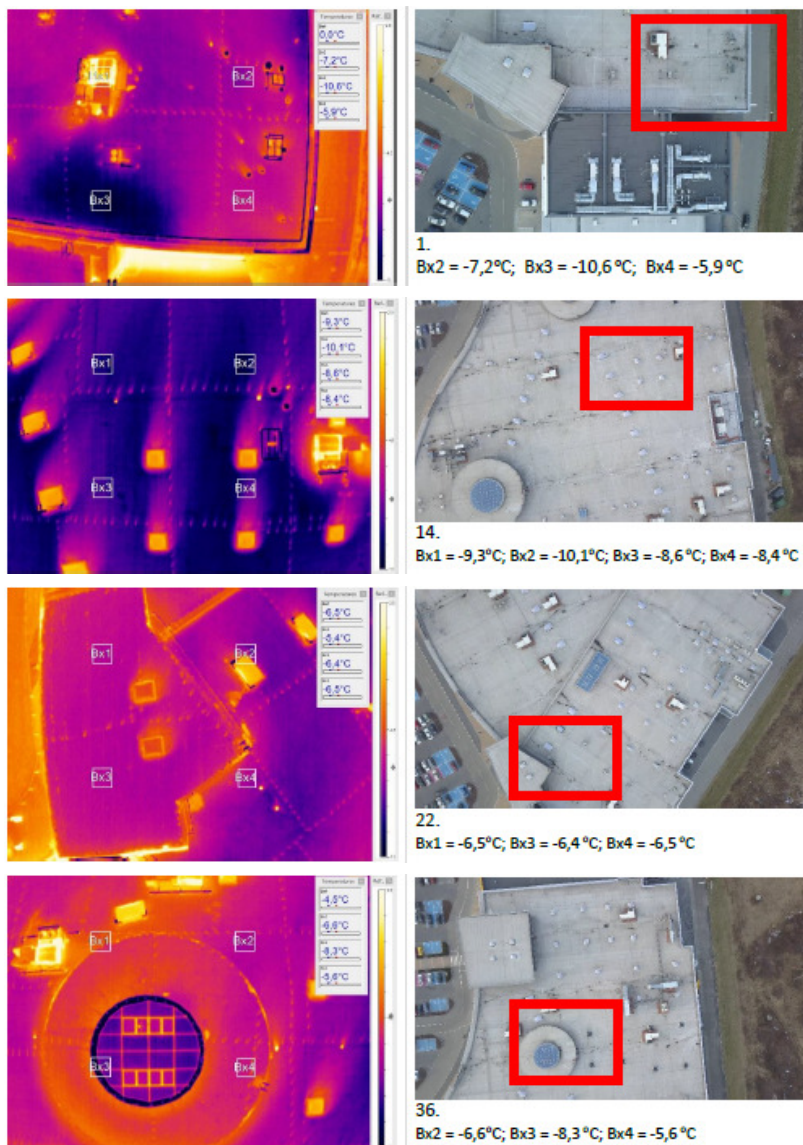
Rys. 2. Pomiary manometrem RETROREC różnicy ciśnień pomiędzy budynkiem a otoczeniem

W związku z powyższymi ustaleniami, w celu wykrycia ewentualnych nieszczelności, należało prowadzić obserwację dolnych części ścian zewnętrznych od strony wewnętrznej, natomiast w przypadku stropodachu oraz górnej części ścian zewnętrznych wskazane było prowadzenie obserwacji przede wszystkim od strony zewnętrznej. W przypadku obiektu o znacznej powierzchni zabudowy i kubaturze diagnostykę elewacji i dachów można wykonać z użyciem dronów z kamerą termowizyjną. Do tego rodzaju pomiarów zalecane jest użycie kamer radiometrycznych, które pozwalają na odczyt wartości temperatury w dowolnym punkcie zapisanego obrazu w podczerwieni [8]. W wyniku cyfrowego przetwarzania danych pozyskanych w trakcie przelotu dronem można uzyskać mapę termiczną budynku, pozwalającą ustalić, jak wiele energii ciepłej zużywa sfilmowany obiekt.

Przed rozpoczęciem inspekcji kamerą termowizyjną wykonano zdjęcia cyfrowe obiektu z drona, które zostały wykorzystane do identyfikacji miejsc widocznych na termogramach oraz do określenia lokalizacji analizowanych części dachu. Prędkość lotu bezzałogowego statku powietrznego w czasie inspekcji musi być ograniczona, ponieważ szybkie zmiany kąta pochylenia kamery powodują, że obrazy są zmniejszone i nie są wyrównane przez automatyczną stabilizację kamery. Dodatkowe utrudnienia w trakcie wykonywania pomiarów sprawiają również wiatr, który powodował przemieszczanie się mas ogrzanego powietrza w obrębie central wentylacyjnych lub świetlików dachowych. Na wykonanych termogramach dachu widoczne były w tych miejscach charakterystyczne smugi ciepłego powietrza. Z tego względu pomiary temperatury wykonane bezpośrednio na elementach wyposażenia dachu lub w towarzyszącym im smugom ogrzanym fragmentom dachu należy uznać za niewiarygodne. W analizie termogramów skupiono uwagę przede wszystkim na wskazaniach temperatury powierzchni dachu wolnych od lokalnych zaburzeń termicznych.

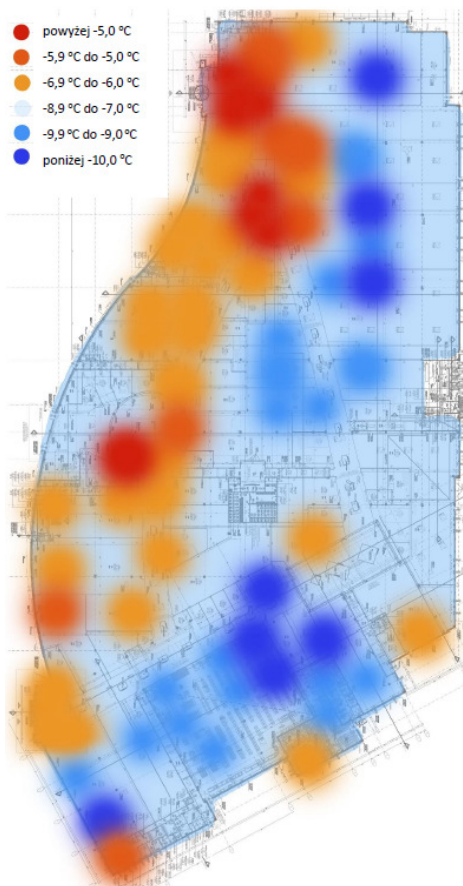
4. Termogramy lotnicze dachu

Na rysunku 3 przedstawiono wybrane termogramy wykonane podczas nalotu dronem wyposażonym w kamerę termowizyjną. Do każdego termogramu dołączono zdjęcie cyfrowe obrazujące fragment dachu objęty termogramem oraz oznaczenie, w którym wykonano odczyt średniej temperatury powierzchni z wykorzystaniem kamery termowizyjnej. Punkty zostały rozmieszczone tak, aby pomiar był wykonywany pod zbliżonym kątem względem powierzchni dachu. Dzięki temu zmniejszono ryzyko powstania błędów wynikających z innego kąta odbicia bezchmurnego nieboskłonu. W ciągu całego przelotu dronem ustawiona była jednakowa emisyjność powierzchni na poziomie: 0,93 oraz temperatura powietrza o wartości -10°C .

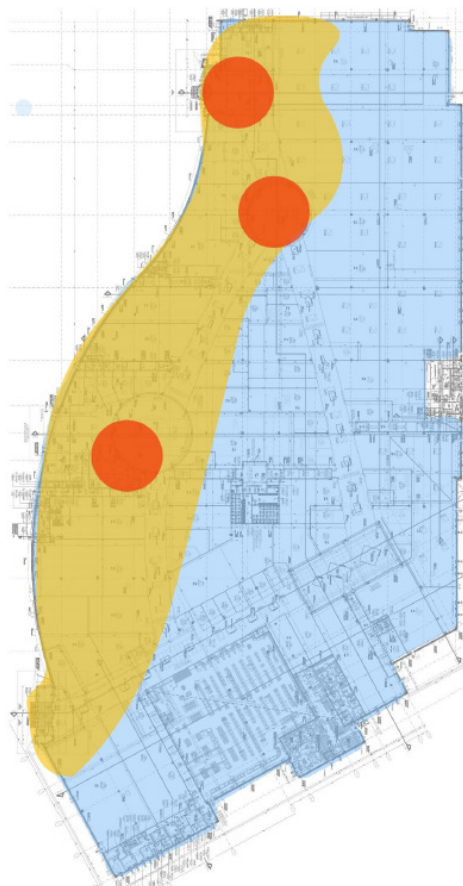


Rys. 3. Wybrane termogramy dachu budynku CH VIVO! w Stalowej Woli

Na podstawie pomiarów wykonanych przez kamerę termowizyjną umieszczoną na dronie opracowano rysunek 4, przedstawiający rozkład temperatur na powierzchni dachu, oraz rysunek 5, obrazujący obszary o gorszych właściwościach termicznych w stosunku do pozostałej części. Wyróżniono ponadto trzy miejsca na powierzchni dachu, w których występowała podwyższona temperatura, mogąca świadczyć o gorszych parametrach termicznych danego fragmentu konstrukcji obudowy: zwieńczenie północnej klatki schodowej oraz dwa okrągłe świetliki ponad korytarzami galerii handlowej.



Rys. 4. Zestawienie stref termicznych dachu budynku

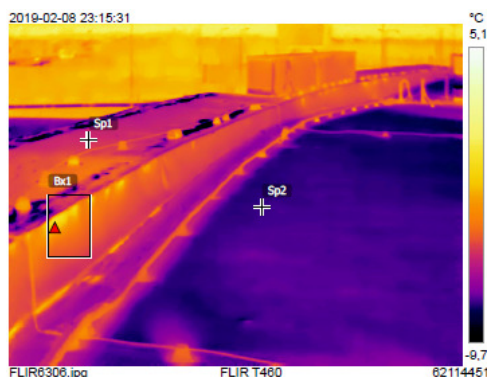


Rys. 5. Obszary o gorszych właściwościach izolacyjnych

5. Wyniki badań szczelności obudowy

W wyniku przeprowadzonej kontroli kamerą termowizyjną z użyciem dronów zlokalizowano obszary stropodachu budynku, w których obserwowane są nadmierne straty termiczne mające istotny wpływ na bilans energetyczny budynku. Badania termowizyjne wykonane od strony zewnętrznej z powierzchni terenu wykazały również występowanie wyraźnych mostków termicznych na powierzchniach płyt okładzinowych, zwłaszcza w górnej części zabudowy oraz na attyce frontowej. Mogą one wynikać zarówno z nieszczelności skutkującej opływaniem ich przez infiltrujące lub eksfiltrujące powietrze, jak i z niedostatecznej izolacji termicznej tych elementów. Kontrola dachu wykonana z drona wskazuje na wyraźnie wyższą temperaturę zachodniej części dachu zlokalizowanej blisko attyki ściany frontowej. Uwzględniając kierunek wiatru i wynikający stąd przepływ ciepła po powierzchni dachu, można wysunąć wniosek,

że przyczyną takiej różnicy temperatury jest ogrzanie powierzchni dachu od strony attyki. Może ono zachodzić wskutek eksfiltracji powietrza wewnętrznego (widocznej m.in. na ścianach frontowych), jak również poprzez wewnętrzne nieszczelności ścian, które powodują przenikanie ogrzanego powietrza bezpośrednio pod membranę dachową w okolicy zachodniej elewacji (rys. 6).



Rys. 6. Mostki termiczne w obrębie attyki

Kontrola od wewnątrz pozwoliła również znaleźć liczne miejsca przecieków powietrznych ponad podwieszanymi sufitami lokali, na styku ścian i stropodachów, a także pomiędzy blokami części murowych ścian oraz przy słupach konstrukcyjnych. Stwierdzono nieszczelności w świetlikach dachowych, przede wszystkim w dwóch dużych okrągłych konstrukcjach zlokalizowanych ponad skrzyżowaniami pasaży. Montaż stolarki okiennej i jej połączenie ze stropodachem pozwala na silną eksfiltrację powietrza. Ponieważ w górnej części budynku często występuje nadciśnienie (efekt kominowy przy znacznej różnicy temperatur w sezonie grzewczym), skutki takich nieszczelności nie są widoczne od wewnątrz, natomiast generują straty energetyczne poprzez niekontrolowane pozbywanie się z budynku najsilniej ogrzanego powietrza.

6. Wnioski

Sporządzenie wiarygodnej oceny termoizolacyjności i charakterystyki energetycznej wielkopowierzchniowych obiektów budowlanych wymaga przeprowadzenia badań przy użyciu specjalistycznej aparatury i wykonania obliczeń z użyciem programów komputerowych. Obecnie standardowa procedura badań diagnostycznych obejmuje wykonanie kontroli termowizyjnej przegród zewnętrznych, natomiast badania szczelności wykonywane są dopiero wtedy, gdy warunki termiczne w budynku uniemożliwiają jego użytkowanie. Praktyka badań diagnostycznych w zakresie sprawdzenia szczelności powietrznej budynków dowodzi, że w większości przypadków przepływ powietrza przez budowlane przegrody zewnętrzne w znacznym stopniu przekracza dopuszczalne normy [9].

Badania termowizyjne mające na celu zlokalizowanie miejsc infiltracji powietrza przez obudowę mogą służyć jedynie do jakościowej oceny przenikania powietrza, natomiast wielkość infiltracji można określić wyłącznie ciśnieniową metodą wentylatorową. Badania wykonuje się zgodnie z obowiązującą normą PN-EN 13829 „Właściwości cieplne budynków. Określanie przepuszczalności powietrznej budynku. Metoda pomiaru ciśnieniowego z użyciem wentylatora” według metody B - badanie obudowy budynku. Pomiar musi być wykonany w dwóch podejściach: w pierwszym wytwarza się we wnętrzu budynku nadciśnienie o różnicy ciśnienia względem środowiska zewnętrznego równej 50 Pa, w drugim podejściu badań wytwarza się podciśnienie o różnicy względem środowiska zewnętrznego równej -50 Pa. Tak przeprowadzone badania pozwalają ustalić rzeczywistą krotność wymiany powietrza n50 oraz wykazać dokładnie miejsca nieszczelności i skalę tych nieszczelności.

Wymagana szczelność w przypadku stosowania w budynku wentylacji mechanicznej, wyrażona krotnością wymiany powietrza, powinna kształtować się na poziomie $n50 \leq 1,5$ 1/h.

Dodatkowo należy sprawdzić zachowanie warunków dotyczących szczelności przegród określonych w punkcie 2.3 Rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Dla budynków użyteczności publicznej przegrody zewnętrzne nieprzezroczyste, złącza między przegrodami i częściami przegród oraz połączenia okien z ościeżami należy projektować i wykonywać pod kątem osiągnięcia ich całkowitej szczelności na przenikanie powietrza. W punkcie 2.3.2 tego rozporządzenia wskazano, że w wyżej wymienionych budynkach współczynnik infiltracji powietrza otwieranych okien i drzwi balkonowych powinien wynosić nie więcej niż $0,3 \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{daPa}^2/3)$.

W budynkach z zamontowaną wentylacją mechaniczną wskazane jest również przeprowadzenie badań szczelności tego systemu i określenie jego klasy szczelności, zgodnie z normami PN-EN 12237 i PN-EN 1507. Przy okazji tych badań należy również ocenić jakość wykonania osłony termicznej przewodów wentylacyjnych, w tym parametrów technicznych zastosowanego materiału izolacyjnego jako otuliny cieplnej na kanałach wentylacyjnych.

Wyniki badań termowizyjnych i pomiaru prędkości powietrza od strony wnętrza obudowy w budynku centrum handlowego wykazały występowanie dużych strat ciepła będących efektem niedostatecznej izolacyjności cieplnej oraz nieszczelności na połączeniu różnych elementów konstrukcji. W efekcie nieszczelności obudowy występują miejsca z intensywną infiltracją i eksfiltracją powietrza, co intensyfikuje straty ciepła i przyczynia się do wzrostu zapotrzebowania na ciepło. Wykrycie tych nieszczelności umożliwia zaplanowanie ewentualnych prac naprawczych i w efekcie ograniczenie zużycia energii obiektu.

Literatura

- [1] Sarosiek W., Wskaźniki jakości energetycznej budynków stosowane w certyfikacji i Warunkach Technicznych, *Materiały Budowlane* 2018, 1(545), 3-4.
- [2] Witczak K., Nowa dyrektywa EPBD dotycząca efektywności energetycznej budynków, *Materiały Budowlane* 2019, 1(557), 4-6.
- [3] Brunarski L., Runkiewicz L., Diagnostyka obiektów budowlanych, *Materiały 56 Konferencji Naukowej Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN oraz KN PZITB, Kielce-Krynica 2010*, Wyd. Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2010.
- [4] Kwatkowski J., Dybiński O., Hada Ł., Weryfikacja zamówionej mocy cieplnej za pomocą symulacji dynamicznych. *Materiały Budowlane* 2019, 1(557), 30-33.
- [5] Eckert W., Mrówczyńska M., Bazan-Krzywoszańska A., Skiba M., Realizacja nowych wymagań UE dotyczących wzrostu efektywności energetycznej dla budynków użyteczności publicznej w Polsce na przykładzie Zielonej Góry, *Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej* 2017, seria Budownictwo 23, 56-68.
- [6] Lis A., Analiza porównawcza zapotrzebowania na energię końcową i zużycia energii dla wybranej grupy budynków, *Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej* 2018, seria Budownictwo 24, 221-226.
- [7] Kysiak A., Ujma A., Audyt termoizolacji budynku Centrum Handlowego VIVO! Stalowa Wola, Kuban Consulting, 2019.
- [8] Mazurek A., Zastosowanie bezzałogowych statków powietrznych w diagnostyce technicznej obiektów budowlanych metodami nieniszczącymi, *Badania Nieniszczące i Diagnostyka* 2018, 3, 66-69.
- [9] Wójcik R., Kosiński P., Problem szczelności powietrznej budynków, *Materiały Budowlane* 2010, 12(460), 57-60.

Methods of diagnostic tests in the assessment of thermal insulation and energy characteristics of large-scale building facilities

ABSTRACT:

The aim of the article is to analyse methods of technical diagnostics regarding energy saving and appropriate insulation of building partitions in large-area buildings. The issue of thermovision measurements and air tightness of buildings as well as problems related to energy performance calculations were presented. It also discusses the results of the housing tightness tests and thermovision measurements using drones made as part of the thermal insulation assessment of the shopping center building envelope elements.

KEYWORDS:

building diagnostics; automated inspections systems; air tightness tests