Wykorzystanie termowizji do oceny stanu technicznego obiektu

Dążenie do ograniczania strat energii prowadzi do wdrażania coraz bardziej skomplikowanych technologii budowy. Wraz z ich wzrostem uległy również zmianie wymagania w zakresie montażu konstrukcji z nowych materiałów budowlanych. W związku z tym mogą pojawiać się błędy popełniane podczas budowy obiektów. Ucieczka ciepła z budynku stanowi dużą niedogodność dla jego użytkowników – zwiększają się koszty eksploatacji budynku oraz następuje marnotrawienie nieodnawialnych zasobów energii.

Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE [6] nakłada na wykonawcę obiektu pewne obostrzenia prawne. Według wspomnianego dokumentu, stan techniczny nowo budowanych oraz remontowanych obiektów ma zmierzać do budynku o niemal zerowym zużyciu energii. Oznacza to, iż mają mieć niemal zerowe lub bardzo niskie wymagania dla energii niepochodzącej ze źródeł odnawialnych. Bezpośrednią konsekwencją tego dokumentu jest dążenie do zwiększenia efektywności izolacji cieplnej. Dyrektywa 2010/31/UE stanowi nowelizację Dyrektywy 2002/91/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 16 grudnia 2002 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków, którą zaimplementowano do polskiego prawa w postaci nowelizacji prawa budowlanego z dnia 1 stycznia 2009 r. Na podstawie tych zmian wprowadzono obowiązek wykonywania świadectwa charakterystyki energetycznej dla nowo budowanych, sprzedawanych, wynajmowanych oraz przebudowywanych budynków. Podstawą wydawania tych dokumentów jest projekt budowlany oraz informacje o materiałach wykorzystanych do budowy oraz ich parametrach cieplnych. Jednak nie zawsze informacje katalogowe są wystarczające do wydania adekwatnego dokumentu. Wtedy konieczne stają się bardziej skomplikowane badania, szczególnie jakości wykonania oraz porównanie projektu ze stanem faktycznym obiektu budowlanego. Szczególnie duże znaczenie ma to podczas przebudowy oraz remontów. Dla starszych budynków niekiedy nie istnieje pełna dokumentacja zastosowanych rozwiązań budowlanych, stąd konieczne są specjalistyczne oględziny. Jedną z metod badania obiektów budowlanych jest termowizja naziemna.

Termowizja – interpretacja termogramów

Temperatura jest skalarną wartością fizyczną. Stanowi jeden z parametrów określających stan układu termodynamicznego. W tym ujęciu interpretuje się ją jako miarę średniej energii kinetycznej ruchu cząstek. Temperatura jest miarą stanu cieplnego danego ciała ([1], [3]) i istnieje wiele sposobów pomiaru wartości. Można je podzielić na kontaktowe oraz bezkontaktowe.

Metody kontaktowe wymagają bezpośredniego styku urządzenia mierzącego – termometru z obiektem. Informują one o temperaturze w punkcie styku.

Metody bezkontaktowe, których przykładem jest termowizja, nie wymagają fizycznego styku instrumentu z mierzonym obiektem. Zaletą jej jest to, iż termogram informuje obserwatora o temperaturze nie punktowej, lecz całej powierzchni znajdującej się w zakresie badań. Należy pamiętać, że do każdego termogramu konieczne jest dodanie skali. Ustalona barwa odpowiada określonej temperaturze, która to nie ma koloru, stąd barwy te są narzucone przez oprogramowanie kamer termowizyjnych. Oznacza to, iż obserwator ma do dyspozycji kilka palet kolorów. W jednej z nich temperatura najwyższa może być czerwona, w innych niebieska, stąd konieczne jest dołączenie skali. Bez niej termogram jest bezwartościowy, gdyż nie da się go prawidłowo zinterpretować.

Efektem badania termograficznego jest termogram. Podobnie jak zdjęcie fotograficzne, stanowi on obraz powierzchni obiektu otrzymany w określonym przedziale promieniowania elektromagnetycznego ([1], [2], [3]). W przypadku termogramu jest to niewidzialne dla człowieka promieniowanie podczerwone wysyłane przez obiekt i odbijane przez niego. Zdolność do wysyłania promieniowania nazywana jest emisyjnością. Ciało doskonale czarne pochłania całkowicie promieniowanie padające na nie, a więc ma emisyjność równą 1 (wartości współczynnika emisyjności wahają się między 0 a 1). Oznacza to, iż emisyjność jest zawsze odniesiona do ciała doskonale czarnego. Wartość emisyjności dla większości materiałów można znaleźć w tablicach emisyjności, więc jeśli kamera tego wymaga, możliwe jest podanie jej tej informacji.

Emisyjność stanowi pierwszy czynnik, który należy wziąć pod uwagę w analizie otrzymanego zobrazowania. Ten sam element pokryty farbą o różnym kolorze może pokazywać zupełnie inną temperaturę na

termogramie (fot. 1) [1].

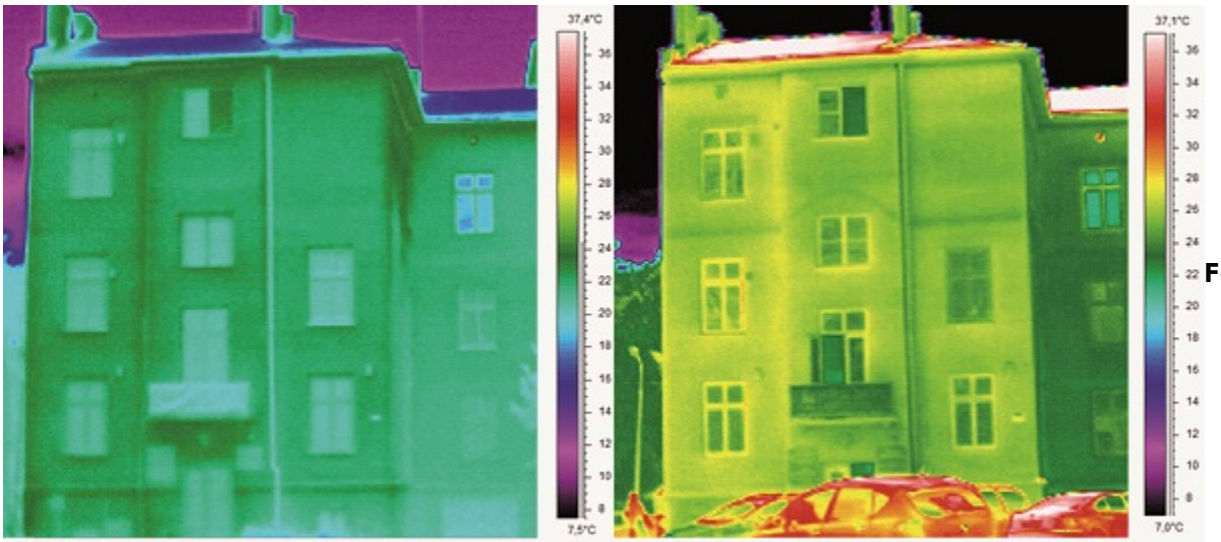
Fot. 1. Fragment budynku z czarnym graffiti (fot. autor)

Kolejnym ważnym czynnikiem jest otoczenie badanego obiektu. Jest ono określane jako półsfera rozciągająca się przed powierzchnią obiektu [3]. W termografii przyjmuje się, iż ta półsfera charakteryzuje się tą samą temperaturą i ma współczynnik emisyjności równy 1, tak jak ciało doskonale czarne. Jednak nie można pominąć wpływu otoczenia podczas interpretacji. W praktyce obiekt mierzony jest otoczony przez inne budynki, roślinność oraz zbiorniki wodne. Mogą one mieć wpływ na obraz widoczny na termogramie. Możliwa jest próba wyznaczenia ekwiwalentnej temperatury otoczenia i wprowadzenia jej do interpretacji, jednak z uwagi na czasochłonność takiego procesu oraz mierne efekty, rzadko wykonuje się takie działania. Należy zwrócić uwagę na to, iż ekwiwalentna temperatura otoczenia ma charakter lokalny. W efekcie, wykonując termogram ściany budynku, gdzie otoczenie dla górnej części ściany będzie miało inną temperaturę niż otoczenie dla dolnej części, można zauważyć dużą różnicę temperatury obiektu. Wynikać to może z efektu otoczenia, ale może być też związane z wadą konstrukcyjną. Należy pamiętać, iż ekwiwalentnej temperatury otoczenia nie można utożsamiać z temperaturą otoczenia [3]. Właściwościami mającymi wpływ na interpretację termogramów są też: rozbłysk odbitego światła oraz temperatura i wilgotność atmosfery. Jednak w tym wypadku poszczególne pomiary należy traktować bardzo indywidualnie, gdyż wymienione czynniki mogą mieć zarówno pozytywny jak i negatywny wpływ na wynik badania ([1], [3]).

Badania termowizyjne budynków

Mówiąc najbardziej ogólnie, termowizja może służyć do poszukiwania mostków cieplnych, czyli miejsc w przegrodzie cieplnej budynku, których przewodnictwo cieplne jest znacznie większe niż samej przegrody. Pomiar termowizyjny należy bardzo starannie zaplanować. Najlepsze efekty otrzymuje się wtedy, kiedy występuje możliwie największy kontrast temperatury między obiektem badanym a otoczeniem. Stąd optymalnym rozwiązaniem jest wykonanie pomiarów w zimie w okresie grzewczym, kiedy to budynek jest wygrzany, a temperatura otoczenia relatywnie niska [3]. Jest to sytuacja idealna, na którą obserwatorzy nie zawsze mogą sobie pozwolić. Wobec powyższego, pozostają próby osiągnięcia tego efektu innymi metodami. Najprostszym sposobem mogą być pomiary wykonywane podczas ciepłego lata. W ciągu dnia słońce oświetla ściany budynku nagrzewając je, wieczorem w okolicach zachodu słońca temperatura powietrza obniża się, a ściany budynku ze względu na swoją budowę nie oddają temperatury tak szybko. Podobna sytuacja jest nad ranem. Temperatura powietrza podwyższa się bardzo szybko podczas, gdy w

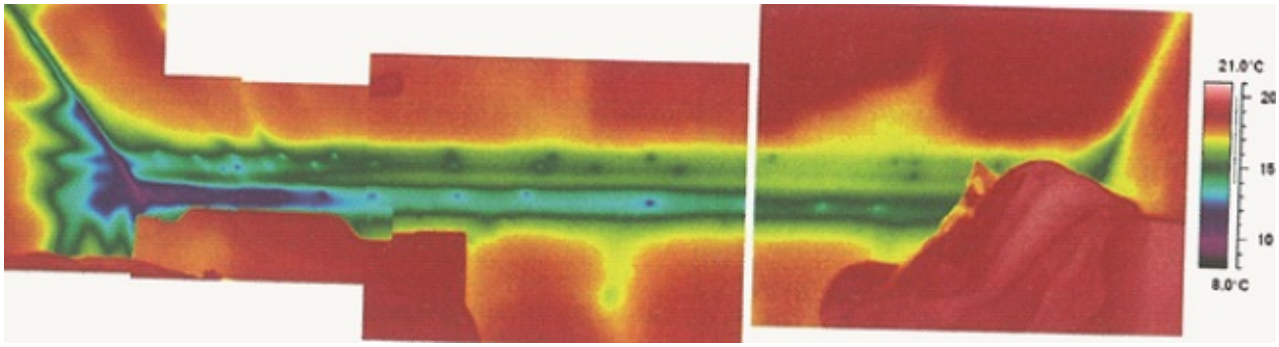
przypadku konstrukcji budowlanych trwa to znacznie więcej czasu. Co ciekawe opisane procesy nie są równoważne. Oznacza to, że niektóre mostki cieple mogą być widoczne o poranku, a inne wieczorem. Stąd zaleca się wykonanie kilku pomiarów w ciągu doby. Wynik pomiarów całodobowych prezentuje fot. 2. Na obrazie z lewej strony wykonanym rano nie widać linii między drugim a trzecim piętrem, która jest dobrze widoczna na obrazie wykonanym po południu. Opisana metoda powinna być wykorzystywana tylko wtedy, kiedy nie ma możliwości przeprowadzenia pomiaru w zimie. Do wyników takich badań powinno się podchodzić z ogromną ostrożnością, gdyż ich wyniki są dużo mniej dokładne niż pomiary zimowe.



Fot. 2. Po lewej – zdjęcie wykonane o godzinie 6:00. Po prawej – zdjęcie wykonane o godzinie 18:00 po zachodzie słońca (widoczna linia za zdjęciu po prawej, stanowi mostek cieplny powstały podczas nadbudowy obiektu)

Należy nadmienić, iż bardzo dobrą praktyką jest wykonywanie pomiarów zarówno wewnątrz jak i na zewnątrz budynku. Pozwala to nie tylko na kompleksową inwentaryzację obiektu, ale także da bardziej miarodajne informacje o wielkości oraz lokalizacji zmian. Ponadto zdarzają się przypadki, kiedy wykonana izolacja zewnętrzna obiektu uniemożliwia badanie ewentualnego istnienia mostków cieplnych. Może to nastąpić w przypadku obiektów ocieplonych lub mających elementy ozdobne np. kolumny w miejscu wystąpienia ucieczki ciepła. Taki właśnie przypadek obrazuje fot. 3. Inwentaryzacja zewnętrzna nie wykazała żadnych interesujących anomalii podczas, kiedy wewnętrzna pokazała miejsca ewentualnych strat ciepła [4].

Niestety nie zawsze możliwe jest wykonanie skutecznych pomiarów wewnętrznych. Boazeria, płytki, ozdobne elementy gipsowe lub metalowe mogą uniemożliwić wykonanie właściwych pomiarów. Stąd zdarza się, iż pomija się ten etap badania.

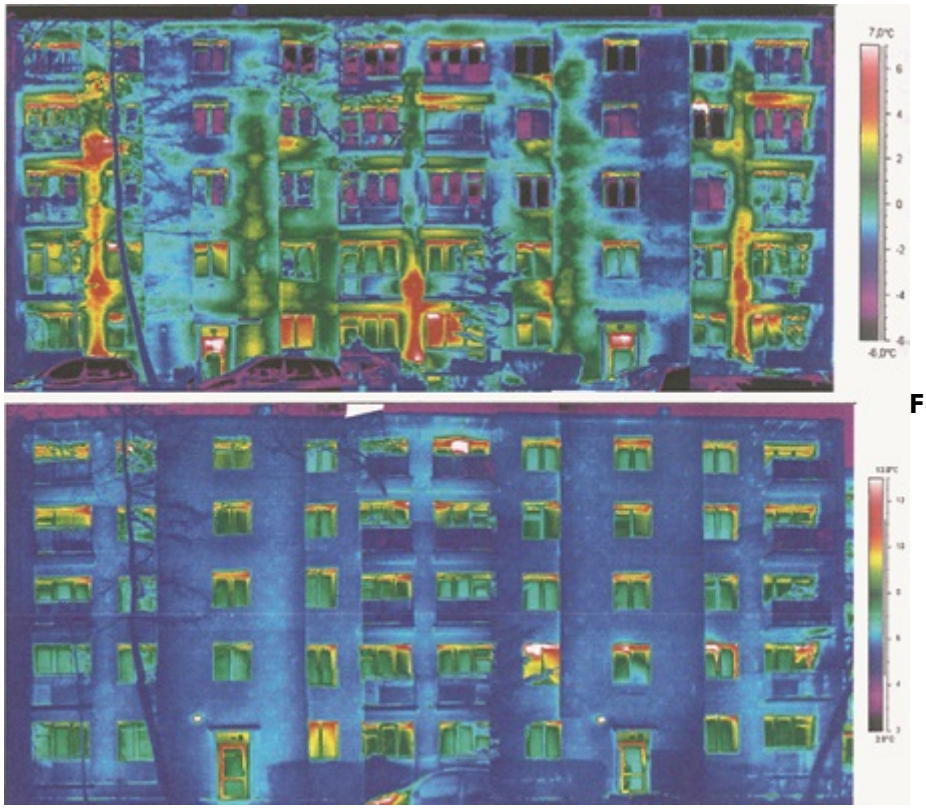


Fot. 3. Termogram wewnętrznego fragmentu połaci dachu i ściany [4]

Badania termowizyjne budynków ocieplonych

W obecnym czasie prowadzonych jest bardzo dużo prac zmierzających do docieplenia istniejących budynków. Dla nowo powstających ten proces stał się niemal standardem. Ogromną popularnością cieszy

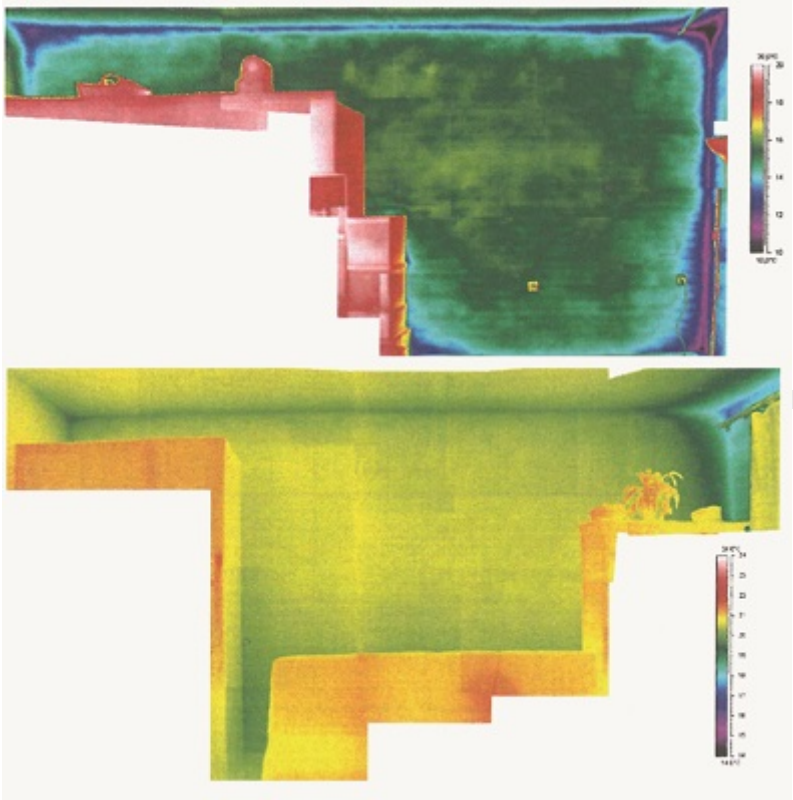
się system ETICS (Exteranal Thermal Insulation Composite System). W dużym uproszczeniu, ocieplenie odbywa się poprzez położenie na odpowiednio przygotowanym podłożu zaprawy klejącej, termoizolacji, warstwy zbrojącej oraz elewacji. System ten, a także jego poprzednik (BSO) miał doprowadzić do znacznego ograniczenia lub wręcz zniwelowania ucieczki ciepła z budynków [5]. Efekt poprawnie wykonanych działań obrazują termogramy na fot. 4 i 5. Górna część fot. 5 jest mocno zróżnicowana termicznie. Widoczne są fragmenty ciemnoniebieskie reprezentujące temperaturę -2°C oraz czerwone o temperaturze +6°C. Tak duże różnice na powierzchni obiektu świadczą o bardzo złym wykonaniu ocieplenia oraz wielu defektach, pozwalających na ucieczkę ciepła. Dolna część fot. 4. prezentuje ocieplony budynek. Temperatura jest prawie taka sama dla całego obiektu. Jednak na ścianie klatki schodowej widoczne są drobne zmiany koloru w postaci kropek. Mogą to być defekty pochodzące od łączników termoizolacji, bądź spowodowane słabą jakością termogramu. Pokazany obiekt wymaga dokładniejszych oględzin, termogramów wykonanych z bliższej odległości lub lepszych jakościowo, w celu ustalenia przyczyn.



Fot. 4. Rozkład temperatury na ścianie zachodniej budynku u góry – przed, u dołu – po docieplenia [3]

Fotografia nr 5 pokazuje różnicę między ścianą wewnętrzną przed i po ocepleniu. Widać, że rozład temperatury na obiekcie się zniwelował.

Badania zaizolowanych budynków sprowadzają się do poszukiwania nieciągłości w nowym pokryciu. Oznacza to, iż poszukuje się fragmentów, gdzie pojawiają się defekty na łączeniach elementów lub zmienia się materiał wykorzystany do docieplenia. System ETICS kładzie duży nacisk na wykorzystywanie materiałów budowalnych pochodzących z tego samego systemu. Niedopełnienie tego warunku grozi obniżeniem jego skuteczności. Ponadto podczas badań termowizyjnych zwraca się szczególną uwagę na ościeża okienne i drzwiowe, ściany piwnic i ściany attykowe, płyty balkonowe, wykończenie szczelin dylatacyjnych. Są to elementy szczególnie narażone na ucieczkę ciepła. W systemie ETICS ich izolacja podlega oddzielnemu planowaniu. Konieczne jest więc sprawdzenie zgodności projektu ze stanem faktycznym.



Fot. 5. Ściana wewnętrzna przed docieplenie – u góry oraz po dociepleniu – u dołu [3]

Podsumowanie

Termowizja stanowi ważne narzędzie w badaniu istnienia oraz wielkości ewentualnych anomalii, a także defektów termicznych obiektów budowlanych. Obecnie koszt kamer termowizyjnych jest relatywnie niski, co pozwala na wykonanie badań częściej oraz dokładniej niż jeszcze kilka lat temu. Należy jednak pamiętać, że kamera stanowi tylko narzędzie pomiarowe.

Termogramy muszą podlegać właściwej interpretacji. Jest ona znacznie utrudniona z uwagi na samą specyfikę pomiaru, czyli wpływ emisyjności, otoczenia oraz warunków atmosferycznych. Dodatkowo należy brać pod uwagę warunki panujące na konkretnym obiekcie. Zmiana temperatury w ścianie może oznaczać zarówno ucieczkę ciepła jak i miejsce, gdzie znajduje się instalacja wodna. Niemożliwe jest wykonanie prawidłowej interpretacji wyników bez znajomości dokumentacji obiektu oraz technologii, w jakiej został wykonany.

Obecnie prowadzi się głównie badania termowizyjne jakościowe zmian ciepła na obiektach budowlanych. Wykonuje się jednak eksperymenty mające na celu wprowadzenie również miarodajnej analizy ilościowej [2]. Pozwoliłaby ona na zwiększenie dokładności pomiarów, a co za tym idzie uszczegółowienie świadectwa charakterystyki termicznej. Unia Europejska wymaga od inżynierów budownictwa zapewnienia odpowiedniej izolacji cieplnej obiektów w celu zmniejszenia zużycia energii. Ma to doprowadzić do ograniczenia wpływu człowieka na środowisko.

mgr inż. Paulina Lewińska
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

Literatura

1. B. Więcek, G. De Mey, *Termowizja w podczerwieni Podstawy i zastosowania*, Politechnika Łódzka, Łódź 2010.
2. A. Wróbel, *Ilościowe określenie cieplnych właściwości przegród budowlanych z wykorzystaniem techniki termograficznej*, Wydawnictwo AGH, Kraków 2011.
3. A. Wróbel, *Termografia w pomiarach inwentaryzacyjnych obiektów budowlanych*, Wydawnictwo AGH, Kraków 2010.
4. H. Madura, *Pomiary termowizyjne w praktyce*, Agenda Wydawnicza PAK, Warszawa 2004.
5. T. Steidl, *Docieplanie budynków*, Inżynier Budownictwa 01/2012.

6. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE.