

# JAKOŚCIOWA ANALIZA TERMOGRAMÓW W DIAGNOSTYCE IZOLACYJNOŚCI TERMICZNEJ PRZEGRÓD ZEWNETRZNYCH W BUDYNKACH MIESZKALNYCH \*

Dr inż. Paweł Krause, Dr inż. Tomasz Steidl, Dr inż. Artur Nowoświat

## WPROWADZENIE

Obliczenia współczynnika przenikania ciepła na podstawie normy PN-EN ISO 6496 nie uwzględniają wpływu zróżnicowanych czynników zaburzających przepływ ciepła przez przegrody zewnętrzne. Przyjmowane są założenia upraszczające, które mogą powodować występowanie różnicy w stosunku do rzeczywistej izolacyjności termicznej. Jedną z metod pozwalających na prowadzenie diagnostyki cieplnej przegród zewnętrznych są badania termowizyjne. Badania te wykorzystywane są przede wszystkim do jakościowej oceny stanu ochrony cieplnej przegród zewnętrznych w budynkach. Celem badań jest przedstawienie jakościowej analizy obrazów cieplnych (termogramów) oraz wykorzystanie pomiarów termowizyjnych w oszacowaniu izolacyjności cieplnej przegrody.

## JAKOŚCIOWA ANALIZA BADAŃ TERMOWIZYJNYCH

Zastosowanie termografii do jakościowej oceny izolacyjności termicznej przegród budowlanych jest typowym przykładem praktycznego wdrożenia metody badawczej. Wykorzystanie tej metody w odniesieniu do budynków istniejących pozwala wykryć typowe nieprawidłowości w zakresie izolacyjności cieplnej przegród zewnętrznych. Badania można wykonywać zarówno od strony zewnętrznej jak i od wewnątrz budynków. Zgodnie z PN-EN 13187 przed wykonaniem pomiarów termowizyjnych należy wykonać analizę dokumentacji projektowej (jeśli takowa jest dostępna). Następnym krokiem jest określenie emisyjności materiałów powierzchniowych, zapis temperatury powietrza zewnętrznego i wewnętrznego, zachmurzenia, opadów i wilgotności powietrza oraz ocena oddziaływania wiatru, a także określenie usytuowania budynku względem stron świata. Norma zaleca także określenie ewentualnego wpływu różnicy ciśnień (jeśli jest istotne dla pomiarów). Istotną kwestią jest dodatkowo określenie wpływu efektów wytwarzanych przez wentylowane warstwy powietrza (np. ściana wentylowana) a także analiza oddziaływania lokalnych źródeł ciepła. Czasami istotne jest wyłączenie lokalnych źródeł ciepła przed badaniami, wcześniejsze usunięcie poza obszar badań np. mebli, obrazów (na tyle wcześniej by uniknąć efektów przejściowych). Temperatura powietrza wewnętrznego i zewnętrznego powinna być określona z dokładnością  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ . Minimalna wykrywalna różnica temperatury dla powierzchni przy temperaturze  $20^{\circ}\text{C}$  wynosi 0,3K i jest wystarczająca do interpretowania termogramów. Minimalna różnica temperatury powietrza po obu stronach przegrody powinna wynosić 10 K [3]. Schemat postępowania przy wykonywaniu badań zasadniczych określony w powyższej normie powinien uwzględniać następujące czynności:

- wykonanie za pomocą kamery termowizyjnej przeglądu całego obiektu (zgodnie z zaleceniami należy wykonać przegląd od strony zewnętrznej i wewnętrznej),
- zarejestrowanie obrazów termograficznych wybranych części badanych przegród od strony zewnętrznej, fragmentu przegrody wolnego od defektów (miejsc o najmniejszym zróżnicowaniu pól temperatur), fragmentów przegród w których występują wady (zmniejszenie grubości lub brak materiału termoizolacyjnego, infiltracja lub eksfiltracja powietrza itp.) w miejscach, gdzie zróżnicowanie pól temperatur jest największe,
- pomiar odległości od badanej powierzchni wykonuje się dla każdego obrazu termograficznego,



- określenie różnic między temperaturą powierzchni przegrody w miejscu pozbawionym defektów, a temperaturą gdzie defekty te występują, przy czym każdy termogram musi jednoznacznie umiejscawiać miejsce jego wykonywania na zdjęciu lub rysunku.

Pomiary od strony wewnętrznej są dokładniejsze z uwagi na bardziej stabilne warunki otoczenia wewnątrz budynku [1]. Stabilność warunków cieplnych wewnątrz budynków zależy w dużej mierze od sposobu ogrzewania. Tylko na termogramach wykonanych od wewnętrznej strony przegród zewnętrznych widoczne są mostki cieplne, związane z elementami konstrukcyjnymi (wieńce, słupki, gzymsy). Termogramy wykonane od strony wewnętrznej, w stabilnych warunkach pomiarowych mogą posłużyć do określenia izolacyjności cieplnej przegrody zewnętrznej. Podczas wykonywania termogramów od strony wewnętrznej zaleca się przestrzegania następującej procedury pomiaru:

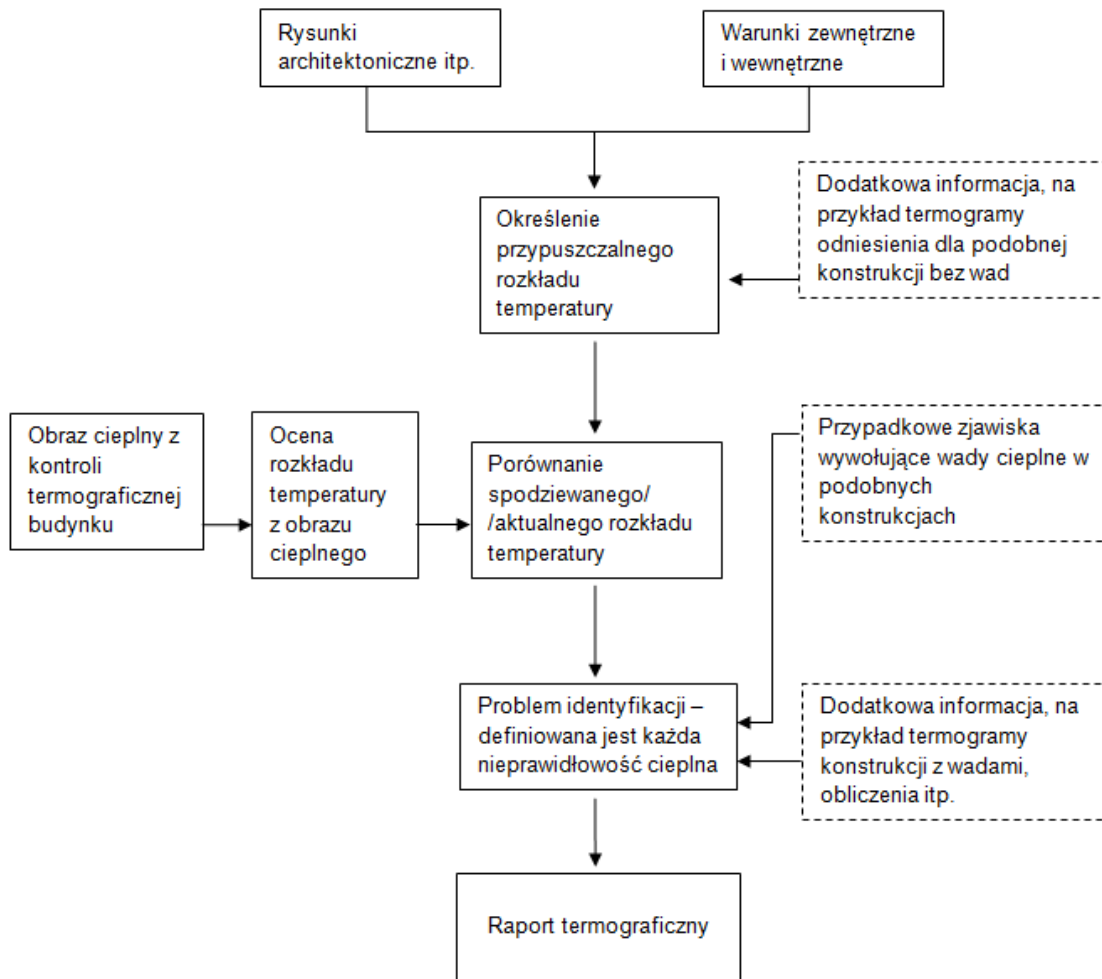
- pomiar temperatury i wilgotności powietrza (w każdym badanym pomieszczeniu), unikanie wykonywania termogramów w pobliżu urządzeń grzewczych (kaloryfery,
- piecyki elektryczne itp.)
- unikanie wykonywania pomiaru w pobliżu wcześniej zidentyfikowanych mostków
- cieplnych,
- ściana powinna być odsłonięta (firany, zasłony),
- unikanie dużej ilości osób w małym pomieszczeniu,
- wykonanie pomiaru odległości ustawienia kamery od przegrody,
- zaleca się aby termogram obejmował pole min.  $0,6 - 1,0 \text{ m}^2$

Odczytywanie zdjęć to proces rozpoznania przedstawionych obiektów na podstawie cech bezpośrednich, związanych z danym obiektem. Interpretacja obrazów jest pojęciem szerszym w stosunku do odczytywania; wykorzystuje się tu zarówno cechy bezpośrednie jak i oznaki pośrednie związane z danym obiektem. Interpretacja to proces wnioskowania dedukcyjnego, w którym na podstawie cech bezpośrednich widocznych na zobrazowaniu termalnym, informacji z innych zgromadzonych źródeł oraz wiedzy interpretatora dochodzi do zauważenia cech pośrednich obiektu (niewidocznych bezpośrednio na obrazie) i wyjaśnienia cech obiektu oraz związków między obiektami a także zachodzących zjawisk. W procesie interpretacji wykorzystuje się bezpośrednio cechy rozpoznawcze obiektów takie jak: kształt, wielkość, struktura oraz tekstura; oraz cechy pośrednie: cień, lokalizacja obiektu, związki z otoczeniem, prawa fizyczne, wiedza interpretatora. Właściwa interpretacja, przeprowadzona z wykorzystaniem wszelkich informacji o obiekcie i wiedzy interpretatora powinna wyjaśnić określony problem. Ogólne postępowanie dla interpretacji obrazów cieplnych wg normy, przedstawiono na rysunku 1.

Wykonując termogramy budynków od zewnętrznej strony, spodziewamy się, że zróżnicowanie izolacyjności zewnętrznych przegród budowlanych uwidoczni się w postaci nierównomiernej temperatury na powierzchni przegrody. Tymczasem zróżnicowanie temperatury zewnętrznej powierzchni ścian budynków może być wynikiem zarówno niejednorodnej izolacyjności, jak też niejednorodnego otoczenia.

- Ściany osłonowe charakteryzują się dużą pojemnością cieplną (bezwładnością) i nie są podatne na zmiany temperatury otaczającego je powietrza. Przy badaniach późnonocnych, kilka godzin po zachodzie słońca, elementy powierzchni o mniejszej bezwładności cieplnej nadążając za temperaturą powietrza, mogą mieć niską temperaturę powierzchni, bliską temperaturze otoczenia, natomiast mur posiada w tym czasie temperaturę około średniej dobowej – jest cieplejszy. W interpretacji trzeba więc uwzględnić dobowe wahnięcia temperatury, porę badania, konstrukcję nadproży itp. Myślenie schematyczne może np. doprowadzić do wniosku: „Współczynnik U dla nadproży jest lepszy niż dla muru”. Co nie musi być – i zwykle nie jest – prawdą.





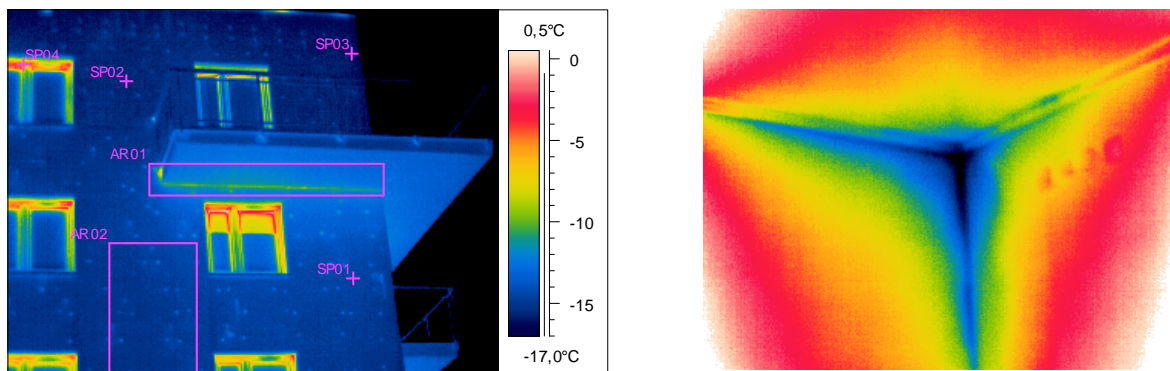
Rys. 1 Postępowanie ogólne przy interpretacji termogramów [2].

- Ściany warstwowe (mała bezwładność cieplna warstwy elewacyjnej, np. wielka płyta) charakteryzują się nadążaniem zmian temperatury powierzchni za otoczeniem, z 1–2 godzinnym opóźnieniem. Na ich tle przy badaniach nocnych źle wypadają murowane filarki międzyokienne, płyty balkonowe, ściany przyziemi i inne elementy o dużej bezwładności cieplnej, dla których proces akumulacji, ale i oddawania ciepła trwa dłużej. Wieczorem, nawet kilka godzin po zachodzie słońca, elementy o dużej bezwładności cieplnej są ciągle cieplejsze, a w godzinach rannych, gdy temperatura po rannym minimum rośnie, różnice zacierają się, a nawet zmieniają znak.
- Balkony. Na ogół są mostkami cieplnymi, gdyż zakotwiczone są w murach osłonowych, związane z płytami stropowymi itp. Ze względu na swoje położenie wystawiona jest na działanie konwekcji i wiatru silniejsze niż ściana, co powoduje szybsze odprowadzanie ciepła do otoczenia. Wszystkie te elementy powodują, że diagnoza termograficzna musi opierać się o: znajomość konstrukcji, a także porównanie z innymi balkonami na tej samej ścianie. Uwaga na otwarte okna lub złą jakość okien pod balkonem, zwłaszcza przy badaniach w czasie słabego wiatru. Stosowane obecnie okładanie płyt balkonowych styropianem z góry i z dołu oraz na czole płyty jest na ogół wystarczającym sposobem na uniknięcie problemów związanych z mostkami termicznymi tworzonymi przez płyty balkonowe.



- Loggie. Obserwacja termograficzna ścian loggii prowadzona o dowolnej porze wykazuje, że mają one temperaturę wyższą niż sąsiedni fragment ściany elewacyjnej. Spowodowane to jest co najmniej dwoma czynnikami: zmniejszoną konwekcją i możliwością oddawania ciepła, loggia jest wnęką o większym współczynniku emisyjności. Podstawą diagnozy i kwalifikowania ścian loggii jest porównanie z innymi i znajomość konstrukcji ściany i temperatury w mieszkaniu za ścianą.
- Przyziemia. Przyziemia budynków w badaniach termograficznych, jako mające dużą bezwładność cieplną i podatne na nasłonecznienie (zwłaszcza w badaniach wiosennych) oraz nieposiadające izolacji termicznej, wykazują zwykle wysoką temperaturę. Niestety w Polsce norma nie nakładała obowiązku izolowania ścian piwnicznych, w związku z czym obraz termiczny w starszych budynkach będzie zawsze świadczył o dużym przewodnictwie cieplnym, mimo że zwykle temperatura po drugiej stronie tych przegród jest niższa niż w mieszkaniach. Wyższą temperaturę spotykamy jedynie np. w pomieszczeniach węzłów ciepłowniczych, pralniach, hydroforniach itp.). Ze względu na bardzo dużą bezwładność cieplną badania powinny być prowadzone w stabilnej temperaturze powietrza, a strona nasłoneczniona po 6–8 godzinach od zacielenia.
- Strychy, stropodachy, dachy. Ściany strychów i stropodachów wentylowanych budowane są zwykle jako mające obniżoną izolacyjność cieplną. Podwyższona temperatura ścian strychów widoczna na termogramach może być jednak skutkiem wad wykonawczych izolacji kładzonej na stropach mieszkań (stropodachy wentylowane budowane są jako nieprzechodnie i jako takie są niemożliwe do sprawdzenia). Stropodachy niewentylowane podatne na zawilgocenia powinny być sprawdzane termograficznie z góry (z wysokich domów, z helikoptera) przy dobraniu takich warunków pogodowych, aby kontrast termiczny był największy.
- Naroża zewnętrzne. Naroża zewnętrzne budynku powinny być zimniejsze od sąsiednich fragmentów ścian z powodu różnicy powierzchni napływu i odpływu ciepła (wnęka i róg) oraz z powodu różnicy współczynników konwekcyjnego przejmowania ciepła  $\alpha$  (wnętrze - zewnątrz). Analogicznie – wnętrza powinny być zawsze cieplejsze od sąsiednich fragmentów ściany. Każde odstępstwo od tych reguł powinno być sprawdzone.
- Zawilgocenia murów. Zawilgocenie murów i osłon zewnętrznych obok klasycznych metod wykrywania, wymagających jednak dostępu bezpośredniego, mogą być wykrywane termograficznie w sprzyjających warunkach (wiatr, małe gradienty temperatury w funkcji czasu), jednak uzyskane wyniki wymagają weryfikacji.
- Okna. Okna są poddawane badaniom termograficznym od zewnątrz pod kątem poszukiwania ich termoizolacyjności i szczelności. Jako elementy o małej bezwładności cieplnej (szyby, ramy) mogą być badane nawet podczas zmian temperatury powietrza. Przy badaniach szczelności od zewnątrz konieczne jest spełnienie warunku wypływu ogrzanego wewnętrznego powietrza przez szczeliny w oknach ściany zewnętrznej, bądź naturalnego wypływu na wyższych piętrach (przy braku wiatru). Ten sposób wymaga aparatury termowizyjnej wyposażonej w teleobiektyw ze względu na małe rozmiary kątowe śladów cieplnych szczelin. Unikać należy wykonywania termogramów powierzchni szklanych nawet w czasie zachmurzonego nieba.





Rys. 2,3. Przykład badań termowizyjnych w analizie jakościowej – zdiagnozowanie liniowych i punktowych mostków termicznych [2].

Przykładowe termogramy z badań jakościowych przedstawiono na rys. 2,3. Przedmiotowy budynek wykonano w technologii tradycyjnej. Ściany zewnętrzne z cegły silikatowej z termoizolacją w postaci polistyrenu ekspandowanego EPS gr. 20 cm. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów można zdiagnozować występowanie następujących anomalii termicznych w przedmiotowym budynku:

- mostki termiczne liniowe

- połączenia ściana(y) zewnętrzna/strop międzykondygnacyjny (3D)
- połączenia ściana zewnętrzna/strop nad piwnicą (3D)
- połączenia ściana(y) zewnętrzna/stropodach (3D)
- połączenia ścian zewnętrznych (2D)
- połączenia ściana(y) zewnętrzna/ściana przyziemia
- połączenia balkon wspornikowy/ściana(y)zewnętrzna
- połączenia ściana zewnętrzna/ścianka loggi
- połączenia ściana zewnętrzna/ścianka loggi/płyta balkonowa (loggi)
- połączenia ściana zewnętrzna/stołarka okienna
- połączenia ściana zewnętrzna/stołarka drzwiowa
- połączenia ściana zewnętrzna/ściana oporowa
- dylatacja międzysegmentowa
- lokalne nieszczelności między płytami termoizolacji

- mostki termiczne punktowe

- kotwy systemu ETICS
- mocowanie balustrady w ścianach zewnętrznych

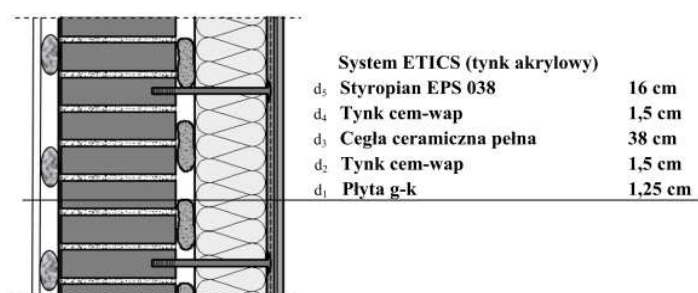
- niekontrolowana infiltracja powietrza (nieszczelności stolarki)

Przy odpowiedniej wiedzy i doświadczeniu obok oceny stanu ochrony cieplnej przegrody (lokalizacja mostków termicznych) termografia pozwala wnioskować także w zakresie jej szczelności na infiltrację powietrza. Obrazy termowizyjne można analizować pod kątem wstępnej oceny w zakresie lokalnych zawilgoceń przegród. Badania wykonane łącznie z badaniami uzupełniającymi (dodatkowe niezależne urządzenia do pomiaru temperatur na powierzchni przegród, powietrza wewnętrznego i zewnętrznego oraz ciśnienia i wilgotności) można wykorzystać do ilościowej oceny cech izolacyjnych przegród.



## ILOŚCIOWA ANALIZA BADAŃ TERMOWIZYJNYCH

Celem ilościowej analizy badań termowizyjnych było opracowanie szacunkowej metody wyznaczania współczynnika przenikania ciepła dla przegrody jednorodnej na podstawie pomiarów temperatur. Analiza ilościowa dla przegrody niejednorodnej, np. występującej w obrębie mostków termicznych może być wykonywana wraz ze wspomaganiami w postaci obliczeń np. MES. Badania eksperymentalne dla wybranych przegród wykonano przy użyciu bezstykowych pomiarów temperatury. Dodatkowo wykonano pomiary temperatury powietrza (wewnętrznego i zewnętrznego) za pomocą sondy OT 100. Przedmiotem badań jest fragment warstwowej ściany zewnętrznej jednorodnego budynku mieszkalnego zlokalizowanego w woj. śląskim. Ściana jest wykonana z cegły ceramicznej pełnej gr. 38 cm ocieplona w systemie ETICS z izolacją termiczną w postaci styropianu EPS 038 gr. 16 cm (rys 1). Rozpatruje się fragment ściany pełnej o wymiarach 80 cm x 80 cm bez liniowych mostków cieplnych, usytuowany w odległości > 1,0m od sąsiadujących przegród (ścian i stropów).



Rys. 4. Przykładowa ściana zewnętrzna. [2].

Obliczenie oporu cieplnego przegrody pełnej

$$R = R_{si} + \sum R_{\lambda} + R_{se} \quad (1)$$

$$R_{\lambda} = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{d_4}{\lambda_4} + \frac{d_5}{\lambda_5} = \frac{0,0125}{0,23} + \frac{0,015}{0,82} + \frac{0,38}{0,77} + \frac{0,015}{0,82} + \frac{0,16}{0,038} = 4,79 \text{ m}^2\text{K/W} \quad (2)$$

Opory przejmowania ciepła wg PN-EN ISO 6946 wynoszą:

$$R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_T = 0,13 + 4,79 + 0,04 = 4,96 \text{ m}^2\text{K/W} \quad (3)$$

Ze względu na zastosowanie systemowych łączników mechanicznych oraz styropianu frezowanego nie uwzględnia się w obliczeniach dodatków ze względu na nieszczelności i łączniki mechaniczne. Wobec powyższego współczynnik przenikania ciepła  $U$  oblicza się ze wzoru:

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{4,96} = 0,202 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \quad (4)$$

Rozwiązując równanie Fouriera postaci

$$q = -\lambda \frac{dT}{dx} \quad (5)$$

Otrzymujemy rozwiązanie postaci:

$$q = \frac{\lambda}{d} (\theta_1 - \theta_2) \quad (6)$$

gdzie:



$q$  – gęstość strumienia ciepłego

$\lambda$  – współczynnik przewodzenia ciepła

$\theta_1, \theta_2$  – temperatury powietrza odpowiednio wewnętrznego i zewnętrznego

Zależność Newtona dla strumienia ciepłego od strony napływu ciepła opisuje równanie:

$$q = \frac{1}{\alpha_i}(\theta_i - \theta_1) \quad (7)$$

Oraz od strony odpływu ciepła

$$q = \frac{1}{\alpha_e}(\theta_2 - \theta_e) \quad (8)$$

gdzie

$\alpha_i$  – współczynnik przejmowania ciepła po stronie napływu ciepła

$\alpha_e$  – współczynnik przejmowania ciepła po stronie odpływu ciepła

$\frac{1}{\alpha_i} = R_{si}$  - opór przejmowania ciepła po stronie napływu ciepła

$\frac{1}{\alpha_e} = R_{se}$  - opór przejmowania ciepła po stronie odpływu ciepła

Ponadto wiemy, że współczynnik przenikania ciepła przegrody definiuje się jako iloraz gęstości strumienia ciepłego do różnicy temperatur po obu stronach przegrody, co możemy zapisać równaniem

$$U = \frac{q}{\theta_i - \theta_e} \quad (9)$$

Wstawiając równanie (7) do definicji (9), otrzymujemy

$$U = \frac{\alpha_i(\theta_i - \theta_1)}{\theta_i - \theta_e} = \frac{1}{R_{si}} \left( \frac{\theta_i - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} - \frac{\theta_1 - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} \right)$$

co ostatecznie daje

$$U = \frac{1}{R_{si}} \left( 1 - \frac{\theta_1 - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} \right) \quad (10)$$

Równanie (6) jest równaniem szacunkowym opisującym współczynnik przenikania ciepła w funkcji temperatury przy znanym oporze przejmowania ciepła od strony napływu ciepła  $R_{si}$ . Jedną z metod uzyskania oporu  $R_{si}$  jest zastosowanie równań kryterialnych. Kryterialne równanie wymiany ciepła w obszarze burzliwym dla powierzchni pionowych przyjmuje w przypadku konwekcji swobodnej postać:

$$N_u = 0,135(G_r P_r)^{\frac{1}{3}} \quad (11)$$

gdzie:

$N_u$  – liczba podobieństwa Nusell'ta

$G_r P_r$  – iloczyn liczb Grasshoff'a i Prandl'a określający intensywność wymiany ciepła przez konekcję swobodną

Dla powierzchni zewnętrznych współczynnik wymiany ciepła przez konwekcję można obliczyć ze wzoru:

$$\alpha_e = 7,34\theta_e^{0,656} + 3,78e^{-1,9\theta_e} \left[ \frac{W}{m^2 K} \right] \quad (12)$$

Dla powyższego otrzymano uzyskano wyniki zawarte w Tab.1. Zauważmy, że uzyskany z obliczeń (norma PN EN-ISO 6946) oraz zmierzony współczynnik przenikania ciepła jest



taki sam. W związku z powyższym powtórzono badania przy innych temperaturach zewnętrznych i uzyskano wyniki zawarte w Tab. 2.

Tab. 1 Wyniki pomiarów i przekształceń I.

Termogram	$\theta_i$	$\theta_1$	$\theta_e$	$\theta_2$	$\alpha_i$ (wzór 7)	$R_{si} = \frac{1}{\alpha_i}$	U Wzór 6
1	23,2	22,1	2,1	3,3	4,73	0,21	
2	23,2	22,5	2,1	3,3	4,73	0,21	
3	-		2,1	3,2	-	-	
4	-		2,1	3,2	-	-	
<b>średnia</b>	<b>23,2</b>	<b>22,3</b>	<b>2,1</b>	<b>3,25</b>	<b>4,73</b>	<b>0,21</b>	<b>0,202</b>

Tab. 2 Wyniki pomiarów i przekształceń II.

Termogram	$\theta_i$	$\theta_1$	$\theta_e$	$\theta_2$	$\alpha_i$ (wzór 7)	$R_{si} = \frac{1}{\alpha_i}$	U Wzór 6
1	21,4	20,6	3,4	4,3	4,61	0,22	
2	21,4	20,5	3,4	4,5	4,61	0,22	
<b>średnia</b>	<b>21,4</b>	<b>20,55</b>	<b>3,4</b>	<b>4,4</b>	<b>4,61</b>	<b>0,22</b>	<b>0,218</b>

Błąd bezwzględny pomiaru wynosi:

$$\Delta U = \frac{|0,218 - 0,202|}{0,202} \cdot 100\% = 7,9\% . \quad (13)$$

W związku z tymi dwoma pomiarami powstaje procedura pomiarowa, która określa zarówno warunki pomiaru jak i wybór pól temperatury z których statystyczne uśrednienie z poziomem istotności 0,05 pozwoli uzyskać wyniki w granicach błędu 5%.

## PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania termowizyjne w zakresie termografii jakościowej umożliwiły opracowanie katalogu wzorcowych termogramów dla budynków wykonanych w różnych technologiach (od technologii tradycyjnej do uprzemysłowionej). Katalog zawiera m.in. przykłady mostków termicznych typu liniowego i punktowego dla zróżnicowanych budynków. W zakresie analizy ilościowej badań termowizyjnych przedstawiona próba oszacowania pomiarowego współczynnika przenikania ciepła, dla przykładowej przegrody budowlanej dała zbieżne wyniki z obliczeniami prowadzonymi jak dla warunków stacjonarnych.

## LITERATURA

Fouad N.A., T. Richter. Leitfaden Thermographie im Bauwesen. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2006.  
Krause P., Steidl T., Nowoświat A. Diagnostyka termowizyjna z urządzeniami dodatkowymi. Katalog termogramów wzorcowych. Sprawozdanie Etap I– Diagnostyka in situ izolacyjności cieplnej. Gliwice 2011.  
PN-EN 13187 Właściwości cieplne budynków. Jakościowa detekcja wad cieplnych w obudowie budynku – metoda podczerwieni.

\* Opracowano na podstawie artykułu „Jakościowa analiza obrazu cieplnego w diagnostyce izolacyjności termicznej zewnętrznej przegrody budowlanej. Kompleksowa diagnostyka cieplna in situ budynków. Konferencja naukowa, Gliwice, 16 listopada 2012 r. Materiały konferencyjne.

