

prawidłowych danych wejściowych oraz odpowiednich narzędzi (oprogramowania), a także często bardzo czasochłonnym obliczeń.

Znanych jest wiele metod obliczania zapotrzebowania energii - np. ISO EN 832, na której opiera się oprogramowanie zastosowane w omawianych pracach. Z uwagi na praktyczne wykorzystywanie przez słowacki bank obsługujący spółdzielnie mieszkaniowe PSS a.s. ważna jest redukcja liczby danych wejściowych i łatwość obsługi programu. Oprogramowanie EAS V1.0 jest wystarczająco dokładne dla powszechnego użytku (z dokładnością od  $\pm 10$  do 20%), nie może ono jednak zastąpić zaawansowanych komputerowych obliczeń energetycznych wymaganych w bardziej szczegółowych opracowaniach.

#### 4.6. ZASTOSOWANIE TERMOGRAFII DO JAKOŚCIOWEJ OCENY OCHRONY CIEPLNEJ BUDYNKÓW\*

Termografia (termowizja) jest metodą badawczą polegającą na wizualizacji, rejestracji i interpretacji rozkładu temperatury na powierzchni badanych obiektów. Jest to metoda pośrednia. Detektor urządzenia termowizyjnego odbiera promieniowanie podczerwone wysyłane przez obiekt, które zamieniane jest na impulsy elektryczne proporcjonalne do jego mocy. Ponieważ moc promieniowania zależy min. od temperatury obiektu, stąd wyniki badań termograficznych przedstawia się najczęściej w postaci powierzchniowych rozkładów temperatury. Na rys. 4.41 przedstawiono przykład kamery termowizyjnej ThermoCAM B 20 produkcji Flir Systems.



Rys. 4.41.

*Przykładowa kamera termowizyjna do zastosowań budowlanych*

W termowizji wykorzystuje się najczęściej przedział długości fal od 3 do 5  $\mu\text{m}$  (urządzenia pracujące w tym zakresie fal nazywane są krótkofalowymi - SWB) lub od 8 do 12  $\mu\text{m}$  (urządzenia pracujące w tym zakresie fal nazywane są długofalowymi - LWB).

\* autorzy: **Zbigniew Rymarczyk**<sup>1</sup>, **Mieczysław Dzierżowski**<sup>2</sup>, **Michał Strzeszewski**<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institut Techniki Grzewczej i Sanitarnej, Radom

<sup>2</sup>Institut Ogrzewnictwa i Wentylacji, Politechnika Warszawska

redakcja: Ewa Gierczycka

Wybór tych zakresów związany jest z właściwościami emisyjnymi badanych obiektów (temperatura, emisyjność) oraz dobrą transmisją atmosfery w tych przedziałach fal.

Generalnie termogramy przedstawiane są w postaci barwnej i czarno – białej. W zależności od potrzeb są one uściślane przez kwantyzację obrazu, nałożenie izoterm, punktów pomiarowych, określanie histogramów itd.

Takie zalety termowizji, jak:

- operatywność pozyskiwania informacji (obserwuje się obrazy w czasie rzeczywistym),
  - poglądowość przedstawiania wyników badań,
  - możliwość badania rozciągniętych obiektów z dużej odległości,
- powodują, że jest ona wykorzystywana we wszystkich dziedzinach nauki i techniki w których występuje przepływ ciepła, różnice w stanie termicznym ciał, procesy nagrzewania i chłodzenia.

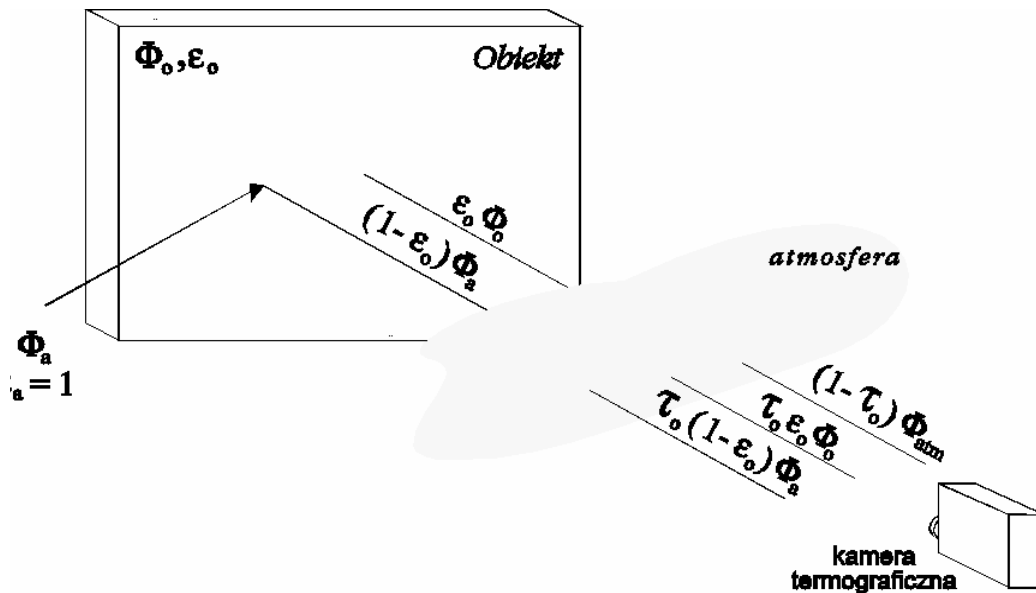
### Matematyczny model określania temperatury powierzchni metodą termowizyjną

Poniżej przedstawiono matematyczny model określania rozkładu temperatury za pomocą termowizji. Znajomość tego modelu i założeń upraszczających umożliwia analizę wpływu czynników zewnętrznych na dokładność określenia temperatury metodą termowizyjną.

Podstawową zależnością służącą do określenia temperatury metodą termowizyjną jest tzw. podstawowe równanie promieniowania. Efektywna moc promieniowania  $\Phi'_o$  docierającego do obiektywu kamery termograficznej z powierzchni badanego obiektu składa się z następujących składników (Schachinger 1983):

- efektywnej mocy promieniowania emitowanego przez badany obiekt,
- promieniowania tła odbitego od obiektu,
- promieniowania własnego atmosfery.

Warunki radiacji w typowej sytuacji pomiarowej przedstawia rys. 4.42.



Rys. 4.42.

Warunki radiacji występujące w typowej sytuacji pomiarowej

Przy wyprowadzaniu równania promieniowania przyjęto następujące założenia upraszczające:

1. badany obiekt jest nieprzezroczysty dla promieniowania podczerwonego,
2. otoczenie emituje promieniowanie jak ciało doskonale czarne (emisyjność otoczenia  $\varepsilon_a = 1$ ),
3. emisyjność obiektu  $\varepsilon$  jest stała w widmowym zakresie czułości aparatury (ciało szare),
4. dla powierzchni promieniującej spełnione jest prawo Lamberta,
5. transmisja atmosfery dla promieniowania podczerwonego jest stała dla rozpatrywanego obiektu.

Uwzględniając powyższe założenia, poszczególne składniki promieniowania  $\Phi'_o$  docierającego do obiektywu kamery możemy zapisać następująco:

- $\tau_o \varepsilon_o \Phi_o$  - efektywna moc promieniowania obiektu po przejściu przez atmosferę,  
 $\tau_o (1 - \varepsilon_o) \Phi_a$  - efektywna moc promieniowania tła odbitego od obiektu po przejściu przez atmosferę,  
 $\tau_o (1 - \varepsilon_o) \Phi_a$  - promieniowanie własne atmosfery,

gdzie:

- $k$  - stała transformacji sygnału przez optykę i detektor,  
 $\lambda$  - długość fali,  
 $\tau$  - przepuszczalność,  
 $\varepsilon$  - emisyjność,  
 $\Phi$  - efektywna moc promieniowania,  
 $S$  - czułość spektralna danego detektora,  
 indeksy:  
 $o$  - badany obiekt,  
 $a$  - promieniowanie otoczenia odbite przez obiekt,  
 $atm$  - atmosfera.

Sumując powyższe składniki otrzymujemy podstawowe równanie promieniowania uwzględniające złożoność sceny pomiarowej:

$$\Phi'_o = \tau_o \varepsilon_o \Phi_o + \tau_o (1 - \varepsilon_o) \Phi_a + (1 - \tau_o) \Phi_{atm}, W \quad (4.6)$$

Równanie to stanowi podstawę do szczegółowych interpretacji zobrażeń termalnych w podczerwieni.

Sygnał wyjściowy uzyskany z kamery o widmowym zakresie czułości kamery od  $\lambda_1$  do  $\lambda_2$  można zapisać następująco:

$$S'_o = k \cdot \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} [\tau_{o\lambda} \varepsilon_{o\lambda} \Phi_{o,\lambda} + \tau_{o\lambda} (1 - \varepsilon_{o\lambda}) \Phi_{a,\lambda} + (1 - \tau_{o\lambda}) \Phi_{atm,\lambda}] \cdot S_{c,\lambda} \cdot d\lambda \quad (4.7)$$

gdzie  $k$  oznacza stałą konstrukcyjną kamery, zaś  $S_{c,\lambda}$  - jej charakterystykę widmową.

Zakładając, że jest uzasadnione przyjęcie uśrednionych wielkości występujących we wzorze (4.7) w przedziale widmowym od  $\lambda_1$  do  $\lambda_2$ , można go zapisać w postaci uproszczonej:

$$S'_o = \tau_o \varepsilon_o S_o + \tau_o (1 - \varepsilon_o) S_{ao} + (1 - \tau_o) S_{am} \quad (4.8)$$

Równanie (4.8) stanowi podstawę do wyznaczenia temperatury powierzchni obiektu  $\Theta_o$  metodą termograficzną.

W celu określenia temperatury obiektu operator musi wprowadzić do obliczeń minimum następujące dane:

- współczynnik emisyjności,
- odległość obiekt-kamera w celu wyznaczenia transmisji atmosfery,
- temperaturę atmosfery,
- temperaturę odbitego od obiektu promieniowania otoczenia (w większości przypadków zakłada się, że jest równa temperaturze atmosfery).

Temperaturę powierzchni obiektów można wyznaczyć stosując tzw. pomiar względny (realizowany w starszych typach urządzeń np. AGA Thermovision 750) lub bezpośredni. Możliwość pomiaru bezpośredniego występuje w nowoczesnych typach urządzeń termowizyjnych. Zasadę pomiaru tymi dwoma sposobami opisano m. in. w pracy Rymarczyka 1999a. Termografia posiada oprócz zalet również ograniczenia (Chrzanowski 1996a, 1996b, Rymarczyk 1999a).

Błędy pomiaru temperatury za pomocą jedno- i dwupasmowych urządzeń podczerwieni można podzielić, ze względu na źródło ich występowania (Rymarczyk 1999a, Rymarczyk i in. 2002, 2004a), na:

- błędy metody pomiaru,
- błędy toru elektronicznego urządzenia,
- błędy kalibracji.

Błędy kalibracji zostały zredukowane we współczesnych urządzeniach do poziomu poniżej  $\pm 0,2\%$ , zaś błędy przetwarzania sygnału w torze elektronicznym kamery powodują błędy nie większe niż  $\pm 1\%$  (Rymarczyk 1999a). Zatem o dokładności pomiaru temperatury decydują błędy metody pomiaru. Za główne źródła błędów pomiaru temperatury uważa się: błędne oszacowanie emisyjności obiektu, odbite od obiektu promieniowanie otoczenia, tłumienie, rozpraszanie i emisja własna atmosfery oraz zmiany promieniowania własnego elementów optycznych.

### **Jakościowa ocena ochrony cieplnej budynków**

Szczegółowe zasady postępowania w jakościowej ocenie strat ciepła przedstawił Rymarczyk (1999b). Czynności związane z badaniem budynku zostały podzielone na wstępne (przed wykonaniem badań) i zasadnicze (w trakcie badań). Działania te opisano na podstawie doświadczeń własnych i literatury.

Ogólnie, zasada badania przegród budowlanych (PN-EN 13187:2001) polega na określeniu rzeczywistego rozkładu temperatury na badanej powierzchni przegrody, ustaleniu, czy rozkład temperatury jest prawidłowy, czy też identyfikuje anomalie termiczne wywołane np. wadami izolacji, zawilgoceniem przegrody lub jej nieszczelnością, a także na ocenie typu i zakresu defektów.

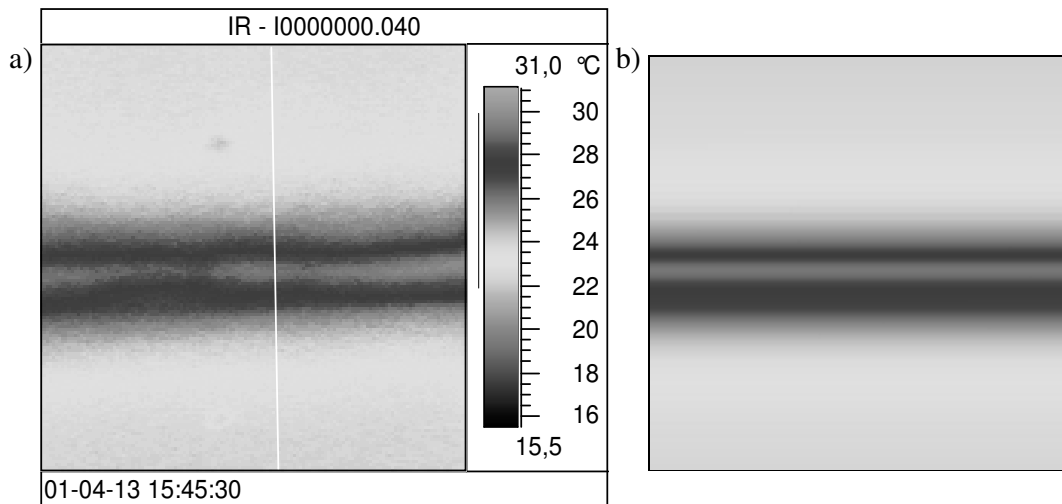
Prawidłowość rozkładu temperatury można określić na podstawie:

- porównania termogramu uzyskanego z badań z termogramem uznanym za wzorcowy, uzyskanym dla identycznej przegrody, w podobnych warunkach badawczych,
- porównanie termogramu z przewidywanym rozkładem temperatury uzyskanym np. metodami obliczeniowymi.

Anomalie termiczne w rozkładzie temperatury, nie dające się wytłumaczyć na podstawie analizy konstrukcji przegrody lub innych czynników mogących wpłynąć na wynik pomiaru, należy traktować jako odchylenie od wymogów projektowych (defekty).

W interpretacji termogramów pomaga wykorzystanie nowoczesnej techniki termograficznej z oprogramowaniem umożliwiającym analizę takich czynników jak:

- równomierność rozkładu temperatury,
- regularność i zasięg stref o podwyższonej lub obniżonej temperaturze,
- powierzchniowych gradientów temperatury,
- określenie udziałów powierzchni izotermicznych odpowiadających danemu poziomowi izolacyjności termicznej,
- określanie stref o potencjalnej możliwości wykraplania się pary wodnej na powierzchni przegród.



Rys. 4.43.

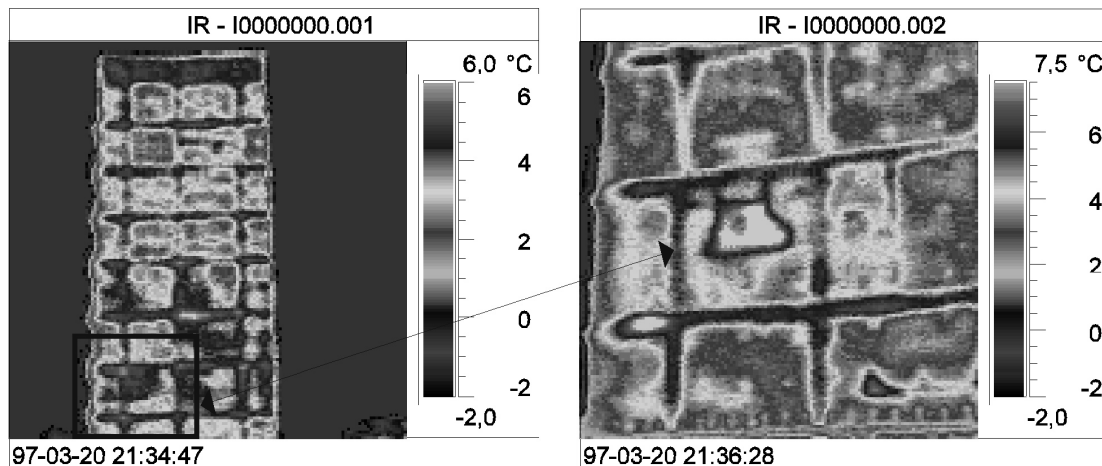
*Termogramy fragmentu ściany z przewodami centralnego ogrzewania: a) termogram otrzymany z kamery termowizyjnej, b) termogram symulacyjny otrzymany z modelu numerycznego (Rymarczyk, Strzeszewski 2004b)*

Jakość badań termowizyjnych zależy (oprócz właściwości technicznych wykorzystanego urządzenia termowizyjnego oraz specjalistycznego oprogramowania) od warunków badawczych występujących przed badaniem i w trakcie badania. Uzyskane termogramy związane są z właściwościami termoizolacyjnymi przegrody, ale na uzyskane obrazy termalne wpływają także (Rymarczyk 1999a, 1999b):

- wartość temperatury powietrza wewnętrznego i zewnętrznego w okresie poprzedzającym badania i w czasie badań,
- prędkość i kierunek wiatru,
- różnica ciśnienia wewnętrznego i zewnętrznego,
- opady atmosferyczne występujących przed rozpoczęciem badań,
- nasłonecznienie przegród,
- pojemność cieplna przegród,
- stałe zróżnicowanie między temperaturą powietrza wewnętrznego w klatkach schodowych i innych strefach budynku o obniżonej temperaturze powietrza wewnętrznego a temperaturą w pomieszczeniach mieszkalnych,
- usytuowanie elementów instalacji centralnego ogrzewania,

- nieszczelność stolarki okiennej i drzwiowej,
- zjawisko pozornej zmiany temperatury powierzchni wraz ze zmianą odległości kamery od badanego fragmentu ściany (współczesne urządzenia termowizyjne umożliwiają korekcję tego zjawiska),
- właściwości emisyjne badanych przegród.

Wymienione wyżej czynniki powodują, że do zinterpretowania termogramów potrzebna jest wiedza z zakresu technologii budowlanej, fizyki budowli i technik pomiarowych. Na rys. 4.44 przedstawiono termogram fragmentu ściany szczytowej zinterpretowany w sposób typowy dla badań jakościowych. Termogram ten identyfikuje takie wady jak: zła izolacja złączy, nieciągłość izolacji w prefabrykacjach, niedokładne ułożenie styropianu w fazie prefabrykacji, zmniejszenie grubości styropianu, zwiększone straty ciepła przez stropodach.



Rys. 4.44.

*Termogramy ściany szczytowej budynku wzniesionego w systemie W-70*

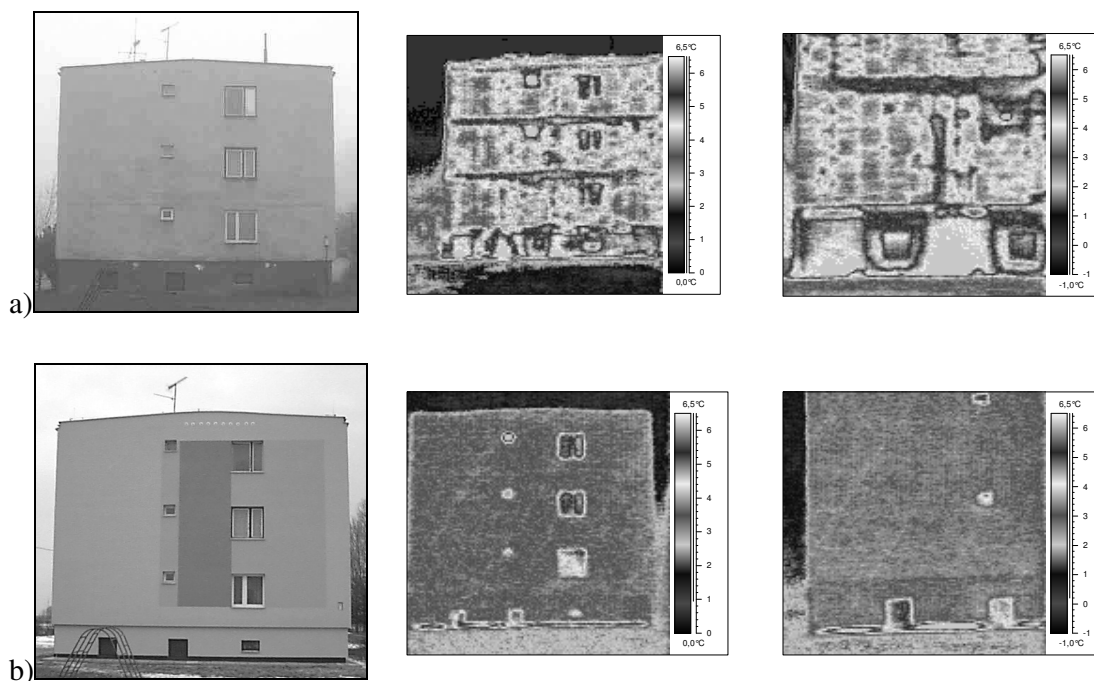
Wielość różnych czynników mogących zakłócić badania termowizyjne, szczególnie gdy wykonywane są od strony zewnętrznej, powoduje że zarówno przed badaniami, jak też w trakcie ich trwania powinny być spełnione odpowiednie wymagania badawcze.

Przegrody zewnętrzne budynku nie powinny być w czasie badań bezpośrednio nasłonecznione, jak też nie powinna znacznie zmieniać się prędkość wiatru. Wykonuje się je zazwyczaj kilka godzin po zachodzie słońca. Niżej przedstawiono przykładowo wymagania badawcze, jakie powinny być spełnione dla przegród o lekkiej konstrukcji, w warunkach skandynawskich (PN-EN 13187-2001):

- w 24 godzinnym okresie poprzedzającym badania, temperatura powietrza zewnętrznego nie powinna różnić się więcej niż o 10°C od temperatury występującej na początku badania,
- w 24 godzinnym okresie poprzedzającym badania, spadek temperatury przez przegrodę budynku nie powinien być mniejszy od liczbowej wartości  $3/k$ , gdzie  $k$  jest teoretyczną wartością współczynnika przenikania ciepła dla przegrody budynku, jednakże spadek ten nie powinien być mniejszy niż 5°C,
- w 12 godzinnym okresie poprzedzającym badanie i podczas badania przegroda nie powinna być nasłoneczniona; jeżeli takie nasłonecznienie występowało, wówczas należy to ująć w sprawozdaniu z badań i rozważyć przy interpretacji termogramów,

- podczas badania, temperatura powietrza zewnętrznego nie powinna zmieniać się więcej niż o 5°C i temperatura powietrza wewnętrznego więcej niż 2°C od wartości występującej na początku badania.

Oczywistym jest, że badania nie powinny być wykonywane od zewnątrz budynków podczas obfitych opadów atmosferycznych, mgły i przy znacznej szybkości wiatru (np. powyżej 10 m/s). Niżej przedstawiono możliwości i ograniczenia wykorzystania termografii do ilościowej oceny cech cieplnych przegród. Na rys. 4.45 i 4.46 przedstawiono przykłady zastosowania termografii do jakościowej izolacyjności termicznej przegrody przykładowych budynków w Łaziskach k/Orońska (Rymarczyk 2004a).



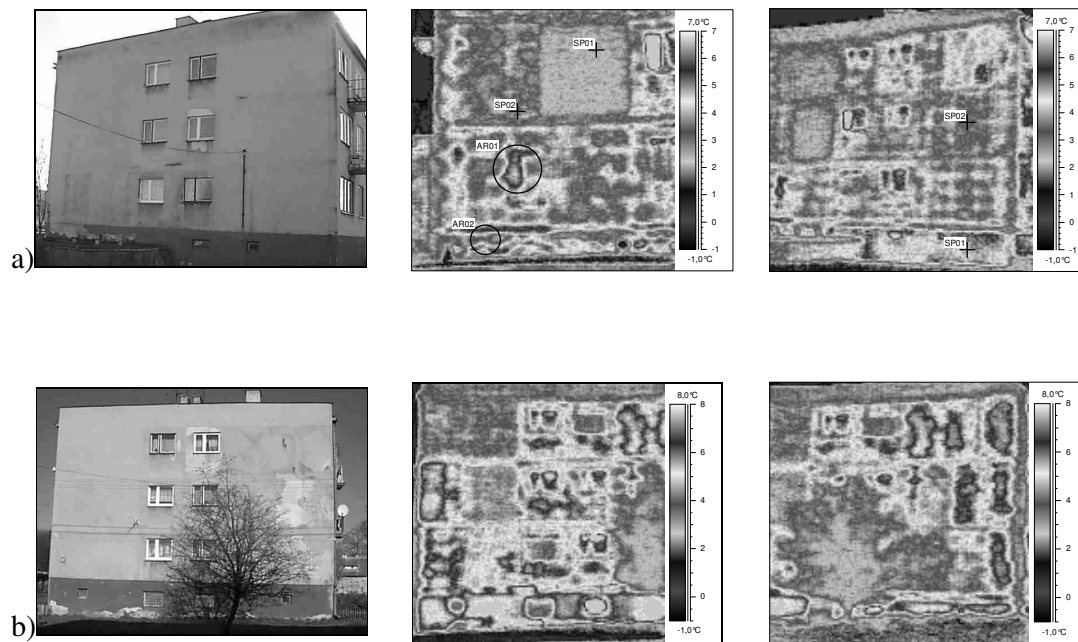
Rys. 4.45.

Zdjęcia i termogramy budynku a) przed termomodernizacją, b) po termomodernizacji (Łaziska – bud. nr 12)

Prognozowane zmniejszenie zapotrzebowania na energię według audytu energetycznego wyniosło dla rozpatrywanych budynków około 43%. Oszczędność paliwa (olej opałowy) po pierwszym sezonie wyniosła około 37%. W zrealizowanym przedsięwzięciu jest możliwa spłata kredytu i odsetek z bieżących oszczędności kosztów ciepła.

Jak wynika z zamieszczonych termogramów, w rzeczywistych sytuacjach założenie jednorodności izolacji przegrody w obliczeniach jej cech cieplnych może prowadzić do niewłaściwych wniosków przy ocenie stanu istniejącego ochrony cieplnej budynków na potrzeby audytów energetycznych, a zatem także w ocenie opłacalności przedsięwzięć termomodernizacyjnych. Problem ten zaistnieje także w przypadku oceny jakości energetycznej budynków istniejących zgodnie z dyrektywą 2002/91/WE w sprawie charakterystyki energetycznej budynków. W przypadku budynków docieplonych lub

nowych, problem ten nie będzie istotny. Docieplenie budynku odpowiednią warstwą izolacji materiału termoizolacyjnego likwiduje mostki termiczne.



Rys. 4.46.

Zdjęcia i termogramy budynku przed termomodernizacją (Łaziska – budynek nr 11)

### Jednorodność izolacji po termomodernizacji

Jeżeli przyjąć założenie, że w wyniku badań termograficznych wykryjemy miejsca o współczynniku przenikania ciepła np.  $1,80 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ , a pozostałe fragmenty przegrody będą miały współczynnik np.  $0,55 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ , to po dociepleniu tych przegród materiałem termoizolacyjnym o współczynniku przewodności cieplnej np.  $\lambda_{iz} = 0,045 \text{ W}/\text{m}\cdot\text{K}$ , różnica w izolacyjności tych miejsc zmniejszy się.

Przyjmując liniowy model wymiany ciepła, całkowity współczynnik przenikania ciepła istniejącej przegrody budowlanej  $U_{istm}$  może być wyrażony w następujący sposób:

$$U_{istm} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_i \frac{x_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (4.9)$$

Po umieszczeniu dodatkowej warstwy izolacji cieplnej, nowy współczynnik przenikania ciepła może być obliczony z równania:

$$U_{nowy} = \frac{1}{\frac{1}{k_{istm}} + \frac{x_{iz}}{\lambda_{iz}}} \quad (4.10)$$

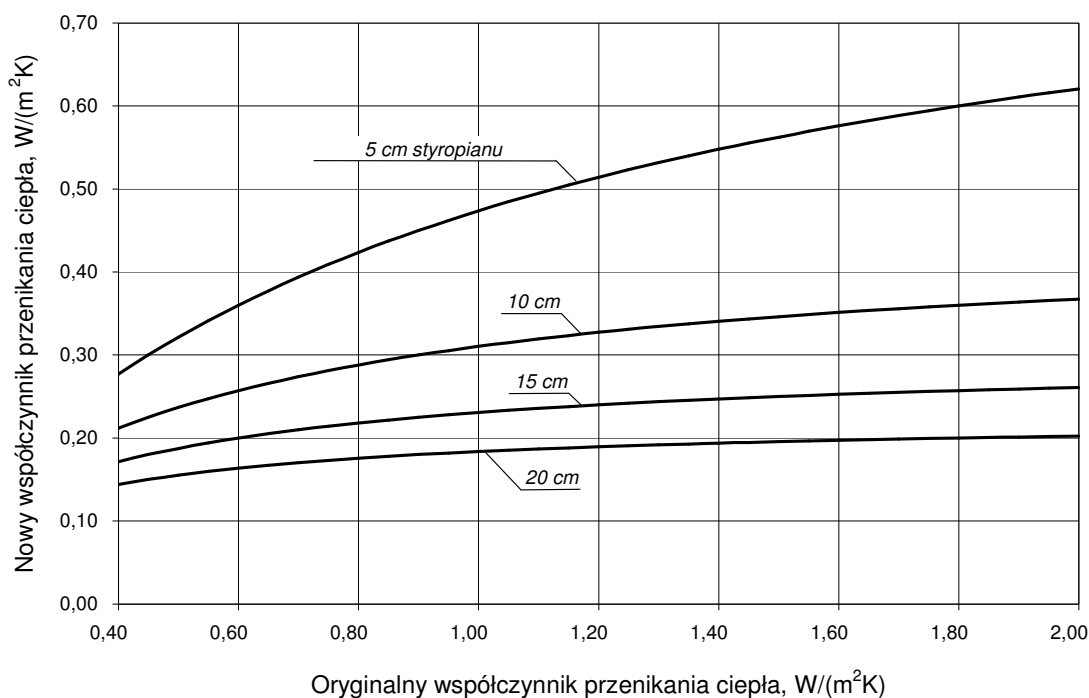
gdzie:

$U$  - współczynnik przenikania ciepła,



- $\alpha$  - współczynnik przejmowania ciepła,  
 $x$  - grubość warstwy,  
 $\lambda$  - współczynnik przewodzenia ciepła,  
 indeksy:  
 $istm$  - istniejący, przed umieszczeniem dodatkowej warstwy izolacji,  
 $nowy$  - po umieszczeniu dodatkowej warstwy izolacji,  
 $iz$  - dotyczący izolacji.

Zależność nowego współczynnika przenikania ciepła od grubości dodatkowej izolacji i oryginalnego współczynnika przenikania ciepła przedstawiono na rys. 4.47. Przyjęto założenie, że współczynnik przewodzenia ciepła  $\lambda_{iz} = 0,045 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ . Jak wynika z wykresu, dla typowych grubości izolacji, nowy współczynnik przenikania ciepła nie zależy silnie od współczynnika oryginalnego. W związku z tym po termomodernizacji uzyskuje się zazwyczaj wysoką jednorodność izolacji.



Rys. 4.47.

Nowy współczynnik przenikania ciepła po umieszczeniu dodatkowej izolacji na ścianie zewnętrznej dla wybranych grubości izolacji

### Podsumowanie

Termografia (termowizja) jest efektywnym narzędziem do jakościowej oceny ochrony cieplnej budynków. Umożliwia ona wykrycie miejsc o największych stratach ciepła i ewentualnych defektów lub odstępstw od warunków projektowych, jednak w celu uzyskania wyników wysokiej jakości konieczne jest spełnienie szeregu wymagań pomiarowych. Termografia może być również wykorzystywana w celu sprawdzenia izolacji elementów instalacji centralnego ogrzewania, np. przewodów ułożonych w podłodze lub ścianie. Jednorodność izolacji ścian zewnętrznych jest zazwyczaj zadowalająca po dociepleniu budynku.

## LITERATURA DO ROZDZIAŁU 4

- Albert T.1990: Drainage for building walls. Patent EP0363343, B1
- ASHRAE, 1989: ASHRAE 62-1989: Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
- Awbi H. B. 2003: Ventilation of buildings, Spon Press, London and New York
- Baird G. 1989: Bruhns H., Gray J., Percival R.: Proceedings of a Seminar on Total Performance of Buildings. Centre for Building Performance Research, Victoria University of Wellington, New Zealand
- Bańka A. 1983: Behawioralne podstawy projektowania architektonicznego, Uniwersytet Poznański
- Bańka A. 1985: Psychologiczna struktura projektowa środowiska. Studium przestrzeni architektonicznej, Uniwersytet Poznański
- Bańka A. 1999: Architektura psychologicznej przestrzeni życia. Behawioralne podstawy projektowania. Gemini-Print, Poznań
- Baron B., 1995: Metody numeryczne w Turbo Pascalu, Wydawnictwo Helion, Gliwice
- Białecki R. A., Król M.; 2002: Parralel calculation of genetic algorithm optimization of a window frame, Proc. AI-METH 2002, International Seminar on Methods of Artificial Intelligence in Mechanics and Mechanical Engineering, T. Burczyński, W. Cholewa and W. Moczulski eds, Gliwice
- Białecki R.A., Kuhn G. 1993: Upgrading BETTI: introducing nonlinear material, heat radiation and multiple right hand sides options, Rept.No.019 2 0199894 2 9 under contract with Mercedes Benz A. G., Lehrstuhl fur Technische Mechanik, Universitat Erlangen Nurnberg, Erlangen, Germany
- Björk F. Lundblad D. Ödeen K. 1997: Transport of air, tracer gas and moisture through a cellulose fibre insulated structure. *Nordic Journal of Building Physics* Vol. 1
- Brebbia C.A., Telles J.C.F., Wrobel L.C.: 1984. Boundary element techniques, theory and applications in engineering. New York, Springer Verlag
- Bruhns H., Isaacs N. 1996: Building Quality Assessment, [w]: Baird G., Gray J., Isaacs N., Kernohan D., McIndoe G., Building Evaluation Techniques, The McGraw – Hill Companies, Inc., New York
- CEN, 1998, CEN CR 1752: Ventilation for Buildings – Design Criteria for the Indoor Environment, European Committee for Standarisation
- Chrzanowski K. 1996a: „Błędy metod zdalnego pomiaru temperatury za pomocą urządzeń podczerwieni”, Rozprawa habilitacyjna, Instytut Optoelektroniki, WAT, Warszawa.
- Chrzanowski K. 1996b: „Ograniczenia pomiarowych kamer termowizyjnych”. Materiały III Ogólnopolskiej Konferencji Termografii i Termometrii w Podczerwieni, Warszawa
- Dahlsveen T., Petráš D. 2003: Energy Audit of Buildings. Jaga, Bratislava
- Davis G., Szigeti F. 1996: Serviceability Tools and Methods (STM): Matching Occupant Requirements and Facilities, [w]: Baird G., Gray J., Isaacs N., Kernohan D., McIndoe G., Building Evaluation Techniques, The McGraw – Hill Companies, Inc., New York
- De Jonge H., Gray J. 1996: The Real Estate Norm (REN), [w]: Baird G., Gray J., Isaacs N., Kernohan D., McIndoe G., Building Evaluation Techniques, The McGraw – Hill Companies, Inc., New York
- Duerk D. P. 1993: Architectural Programming. Information Management for Design, Van Nostrand Reinhold, New York
- Fluent.Inc. 2002.Fluent 6.0: User`sguide. Technical report, Fluent.Inc
- GBT2k v.1.07 Building Performance Rating System. 2000. [w]: Joint Conference of: Sustainable Building 2000 and Green Building Challenge 2000, materiały konferencyjne, Natural Resources Canada, Maastricht, The Netherlands
- Głąb A. i Steidl T. 2005: “Energooszczędność na dwa sposoby –Sposób pierwszy: dom oddychający”, *Architektura – Murator*, 1, 95-100
- Green Building Assessment Tool – GBTool 1.3. 1998. [w]: Green Building Challenge '98 - An International Conference on the Performance Assessment of Buildings, materiały konferencyjne, Vancouver, Canada
- Hiroshi E. Kogyo E. 1996: Building provided with measture-proof structure. Patent JP 101183789
- Interpretation Document to European Council Directive 89/106/EEC. Basis requirements no. 3 – Hygiene, health and environment.
- ISO prEN 832 2002: Thermal Performance of Building. Calculation of Energy Use for Heating – Residential Building
- Jałowicki B. 1982: Proces waloryzacji przestrzeni miejskiej
- Jesch L.F 1994.: Transparent Insulation Technology. *THERMIE PROGRAMME ACTION*
- Król M. 2004: Optymalizacja parametrów termicznych wybranych typów okien; Rozprawa doktorska, Politechnika Śląska, Gliwice
- Król M., Białecki R. A. 2003a: Optimization of the window frame by BEM and genetic algorithm; *International Journal for Numerical Methods in Heat and Fluid Flow*, Vol.13 No.5

- Król M., Białecki R.A.; 2001a: Optimization of the window frame by genetic algorithm, Proc. AI-MECH 2001, International Seminar on Methods of Artificial Intelligence in Mechanics and Mechanical Engineering, T. Burczyński and W. Cholewa eds, Gliwice
- Kujawski W. 2001: Sustainable Building 2000 – wyzwanie rzucone budynkom o wysokich parametrach użytkowych oraz ekologicznych. *Architektura – Murator, Warszawa, 2*
- Lenartowicz K. 1992: O psychologii architektury. Próba inwentaryzacji badań, zakres przedmiotowy i wpływ na architekturę, Kraków
- M. Król, R. A. Białecki; 2001b: Konwekcja swobodna między szybami wkładu okiennego. Model numeryczny i porównanie z istniejącymi korelacjami., VII Ogólnopolskie Sympozjum pt. Zastosowanie mechaniki płynów w inżynierii i ochronie środowiska, Wisła
- M. Król, R. A. Białecki; 2003b: Ograniczenie strat ciepła przez wkłady okienne, VIII Ogólnopolskie Sympozjum pt. Zastosowanie mechaniki płynów w inżynierii i ochronie środowiska, Wisła
- Masły D. 2004: Kierunki rozwojowe oceny jakości środowiska zbudowanego na przykładzie wybranych metod badań jakościowych w architekturze. Koncepcja oceny jakości budynków biurowych w warunkach polskich. Praca doktorska, Politechnika Śląska, Gliwice
- Michihiro O. Mitsubishi C. 1996: Structural panel and moisture-proof structure of the building. Patent JP 10068175
- Mikoś J. 2000: Budownictwo ekologiczne. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice
- Niezabitowska E. (red. nauk.), Niezabitowska E., Niezabitowski A., Bielak M., Fross K., Winnicka-Jasłowska D., Tymkiewicz J., Komar B., Baron A., Sitek M., Masły D., Staniszewski Z. 2004: Wybrane elementy Facility Management w architekturze, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice
- Niezabitowska E. (red. nauk.), Niezabitowska E., Niezabitowski A., Komar B., Kucharczyk-Brus B., Sitek M: Oceny jakości środowiska zbudowanego i ich znaczenie dla rozwoju budynku zrównoważonego. Opracowanie przygotowywane do druku
- Niezabitowska E. 1998: Metoda POE jako podstawowa działalność FM, [w]: Fross K. (red.), Facility management w obiektach biurowych, tom2 serii Jakość i zarządzanie w przestrzeni architektonicznej pod redakcją A. Niezabitowskiego, KOS, Katowice
- Niezabitowska E. 1998: Związki pomiędzy programowaniem a oceną jakości w architekturze, [w]: Żmudzińska-Nowak M. (red.), *Praktyka w architekturze i architektura w praktyce, Materiały III Sympozjum w Rybniej*, Politechnika Śląska, Gliwice
- Niezabitowski A. 1979: O budowie przestrzennej dzieła architektury, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Gliwice
- Niezabitowski A. 1987: Study of Residential Environment and Psychological Needs, *Design Studies*, Vol 8 No.2
- Niezabitowski A. 1993: Some Ideas on the Evaluation of Architectural Work. Theoretical Bases Environment Criticism, Times of Disney, Barcelona
- Niezabitowski A., Niezabitowska E. 1996: Badania jakościowe w architekturze i urbanistyce, [w]: Architektura z. 33, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Politechnika Śląska, Gliwice
- Nikolaevich S. V. 2000: Design of fence with thermal insulation and active removal of moisture. Patent RU 2145992 C1
- Nilsson P. E, 2003: Achieving the Desired Indoor Climate. Energy Efficiency Aspects of System Design, The Commtech Group, Studentlitteratur 2003
- Parshall S. 1989. A Hospital Evaluation: The Problem – Seeking Method, [w]: Preiser W. F. E., Building Evaluation, Plenum Press, New York
- PN-EN 13187:2001: Thermal performance of buildings. Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes. Infrared method
- PN-EN ISO 9646:2004: Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania
- Popiółek Z, Rusinowska A. 2005: Raport na temat: Pomiar i ocena parametrów środowiska wewnętrznego w NATURALnym DOMu w Gdyni, Politechnika Śląska, Gliwice
- Preiser W. F. E., Rabinowitz H. Z., White E. T. 1988: Post-Occupancy Evaluation, Van Nostrand Reinhold, New York
- Real Estate Norm Netherlands Foundation, we współpracy z członkami grup badawczych, uczestniczących w projekcie, 1992: Real Estate Norm. Method for Advising On and Evaluating Office Locations and Office Buildings. Second Completely Revised Edition, REN Netherlands Foundation, Nieuwegein, The Netherlands
- Repka N.: EAS v1.0 Application manual
- Rymarczyk Z. 1999a: Zastosowanie termografii do badania rozkładu temperatury na powierzchniach elementów instalacji centralnego ogrzewania, *Praca doktorska*, Institute of Heating and Ventilation, Warsaw University of Technology.

- Rymarczyk Z. 1999b: Diagnostyka przegród zewnętrznych budynków z wykorzystaniem termografii”, *Rynek Instalacyjny* 7
- Rymarczyk Z. 2005: Zastosowanie termografii w audytingu energetycznym budynków, Materiały VI Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej Wymagania jakości energetycznej budynku, droga do unormowania i rozwoju rozliczania nośników energii, Polańczyk
- Rymarczyk Z., Dzierzgowski M., Michalski Ł., Zając M., Frączek J. 2004a: Audyty energetyczne 9 budynków mieszkalnych w Łaziskach k/Orońska, ITGS Radom.
- Rymarczyk Z., Rabjasz R., Dzierzgowski M. 2002: Diagnostyka izolacyjności ścian zewnętrznych budynków na podstawie pomiaru gęstości strumienia ciepła i temperatury”, III Konferencja Naukowo-Techniczna Nowe rozwiązania funkcjonowania systemów rozliczeń kosztów ogrzewania drogą do racjonalnej gospodarki ciepłem w budynku, Kazimierz Dolny
- Rymarczyk Zb., Strzeszewski M. 2004b: Zastosowanie termografii do weryfikacji numerycznego modelu wymiany ciepła w przegrodach budowlanych z umieszczonymi przewodami centralnego ogrzewania, Materiały konferencyjne VI Krajowej Konferencji Termografia i Termometria w Podczerwieni, Ustroń-Jaszowiec
- Sanoff H. 1992: Integrating, Programming, Evaluation and Participation in Design. A Theory Z Approach, Avebury, Ashgate Publishing Group, Brookfield, USA
- Schachinger H. 1983: Practical methods for improving thermal measurements, *IV Symposium on Thermogrammetry*, Budapest.
- Śmiechowski 2005: Sposób na naturalny dom. *Murator*, 7, 2005, 62-67
- Stea D. 1965: Space, Territory, and Human Movements, *Landscape*, 15, 1, 1965
- Steidl 2002: Obliczenia potwierdzające właściwe działanie aktywnej ściany oddychającej – załącznik do projektu konkursowego – DOM DOSTĘPNY 2002
- Various ENSI Guidelines
- Wallis A. 1977: Miasto i przestrzeń, *Warszawa*
- [www.cieplej.pl](http://www.cieplej.pl)
- [www.kape.gov.pl](http://www.kape.gov.pl)
- [www.naturalnydom.pl](http://www.naturalnydom.pl)