

Część II. Kilka uwag do sporządzania opinii termowizyjnej wraz z omówieniem wymagań normy PN-EN 13 187

Jerzy Żurawski
ul. Pełczyńska 11, 51-180 Wrocław
tel. +48 71 326-13-43 , fax. +48 71 326
e-mail: cieplej@cieplej.pl , internet: ww.cieplej.pl

WAŻNA UWAGA

Osoba wykonująca pomiary termograficzne nie może ograniczyć się do obsługi sprzętu i obliczeń temperatury termogramu

Powinna wnikliwie przeanalizować analizowany obiekt, wykonać wystarczającą ilość termogramów umożliwiającą przeprowadzenie kompleksowej interpretacji termogramów

CZERWIEC 2009

POLSKI KOMITET NORMALIZACYJNY	POLSKA NORMA	PN-EN 13187
	Właściwości cieplne budynków – Jakościowa detekcja wad cieplnych w obudowie budynku – Metoda podczerwieni	Zamiast:
		ICS 91.120.10

EN 13187:1998, IDT

Termowizja jest metodą badawczą, polegającą na zdalnej i bezdotykowej ocenie rozkładu temperatury na powierzchni badanego ciała. Metoda ta jest oparta na obserwacji i zapisie rozkładu promieniowania podczerwonego wysyłanego przez każde ciało, którego temperatura jest wyższa od zera bezwzględnego i przekształceniu tego promieniowania na światło widzialne.

- ☐ Kontrola jakości izolacji termicznej obiektu budowlanego możliwa jest dla budynku zamkniętego i ogrzewanego najlepiej w porze zimowej za pomocą termowizji
- ☐ Tworzenie obrazu polega na rejestracji przez kamerę promieniowania emitowanego przez obserwowany obiekt, a następnie przetworzeniu na kolorową mapę temperatur. System termowizyjny jest rodzajem termometru, który pozwala mierzyć temperaturę na odległość w wielu miejscach jednocześnie. Moc promieniowania ciała zależy od jego temperatury, dlatego miejsca cieplejsze wydają się jaśniejsze na obrazie widzialnym.
- ☐ Miejsca cieplejsze na powierzchni zewnętrznej odpowiadają gorzej izolowanym obszarom przegrody, niska temperatura powierzchni może świadczyć o dobrych właściwościach izolacyjnych przegrody, choć nie zawsze. Zapisany w ten sposób obraz nazywany jest termogramem.
- ☐ Pomiary cieplne oparte o pomiar promieniowania podczerwonego, nazywane także ilościowymi pomiarami podczerwonymi polegają na emitowaniu przez ciało w temperaturze powyżej zera absolutnego wynoszącego 0,0 K (-273,15 °C) promieniowania elektromagnetycznego, którego intensywność pozwala ustalić temperaturę ciała.

Termowizja

- ☐ Stosowanie badań termowizyjnych jest możliwe tam gdzie można pomierzyć temperaturę powierzchni. Za pomocą termografii można wykrywać nie tylko wady izolacji termicznej przegród zewnętrznych i wszelkie mostki termiczne ale również nieszczelności umożliwiające ucieczkę ciepła w wyniku zintensyfikowanej wentylacji.
- ☐ Należy jednakże pamiętać, iż termografia nie umożliwia bezpośredniej obserwacji jakości izolacji. Wnioski mogą być wyciągane na podstawie zarejestrowanego na termogramie lub obserwowanego na ekranie kamery pola temperatury.
- ☐ Wykorzystanie termowizji w diagnostyce cieplnej budynków umożliwia:
 - ☐ wykonanie oceny jakościowej izolacyjności bez potrzeby ingerencji w przegrody,
 - ☐ duża efektywność i szybkość pracy,
 - ☐ możliwość pracy nawet w dużej odległości od badanego elementu budynku, wymaga jednak wykorzystania drogich teleobiektywów .

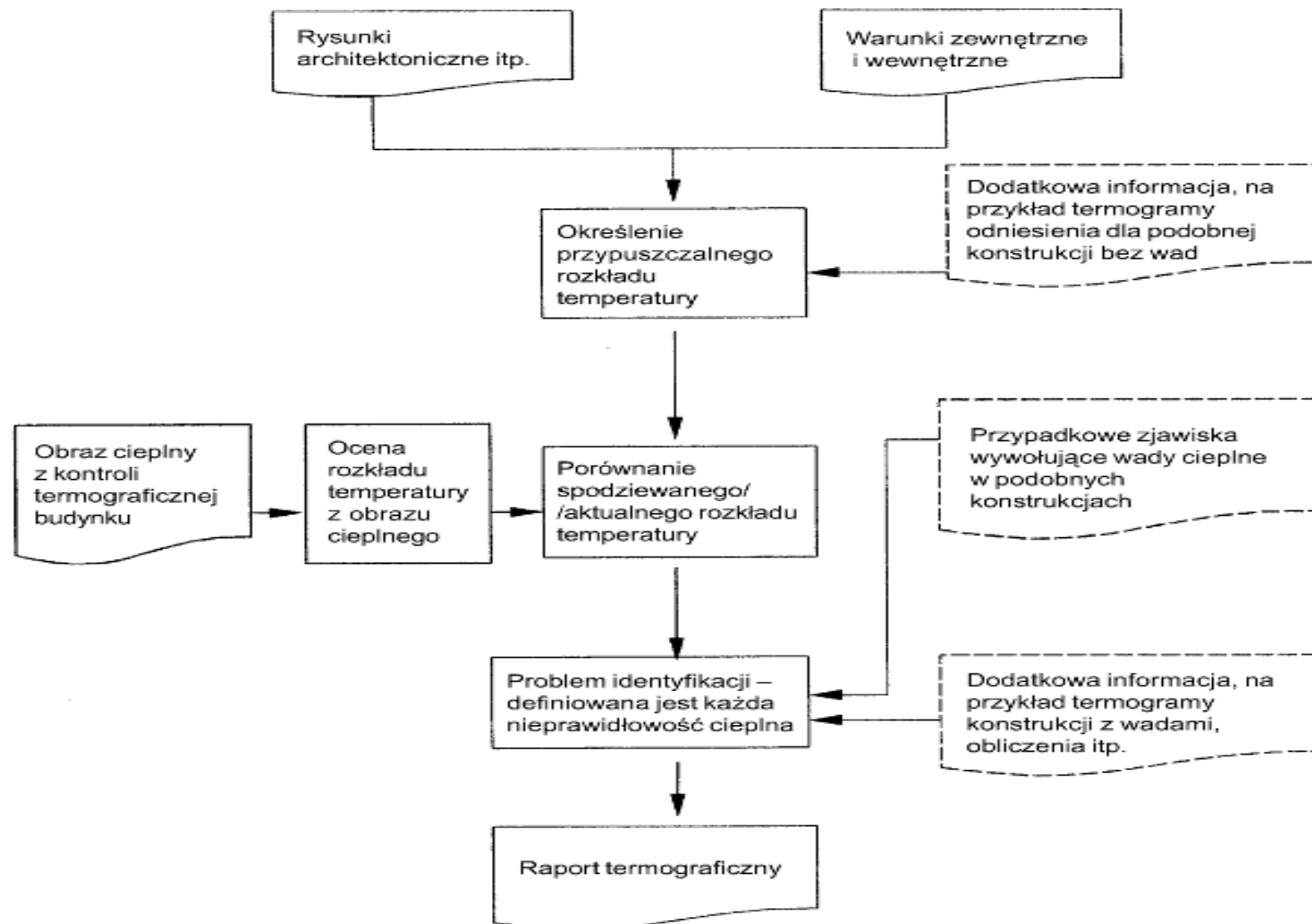
Określenie celu badań termowizyjnych

Cel musi być określony w sposób jednoznaczny:

- ma wpływ na wycenę
- na przygotowanie badań
- zapoznanie się z dokumentacją

W nielicznych przypadkach opracowuje się termogramy do celów archiwalnych

Zdarza się że opracowuje się termogramy dla celów marketingowych



Kreskowanie oznacza zalecenie użycia dodatkowej informacji

Rysunek 1: Ogólna procedura interpretacji obrazów cieplnych w kontroli termograficznej

Przygotowanie badań termowizyjnych

Zebranie informacji o obiekcie
Planowanie i wykonywanie zobrażeń

Przygotowanie i opracowanie informacji o obiekcie

- ☐ Do najważniejszych należą: wielkości budynku usytuowaniu ,geometrii oraz budowie przegród, charakterze powierzchni (chropowatości-emisyjność)

- informacja o zastosowanych materiałach,
- technologii wykonania szyb (czy są z powłoką niskoemisyjną)
- występowanie pustki powietrznej,
- technologia wykonania została zachowana

Materiałem źródłowym jest projekt, wizja lokalna, dane producenta

- ☐ Rozpoznać należy również otoczenie budynku w sensie oddziaływania termicznego: powierzchnie ziemi, niebosłonu-konieczny jest wywiad terenowy

- ☐ Termika obiektu:,

- stałość temperatury w czasie
- cykliczność zmian temperatury
- Sposób ogrzewania budynku

- ☐ Warunki pogodowe na kilka dni przed wykonaniem badań

- temperaturę powietrza,
- zachmurzenie
- opady
- prędkość wiatru

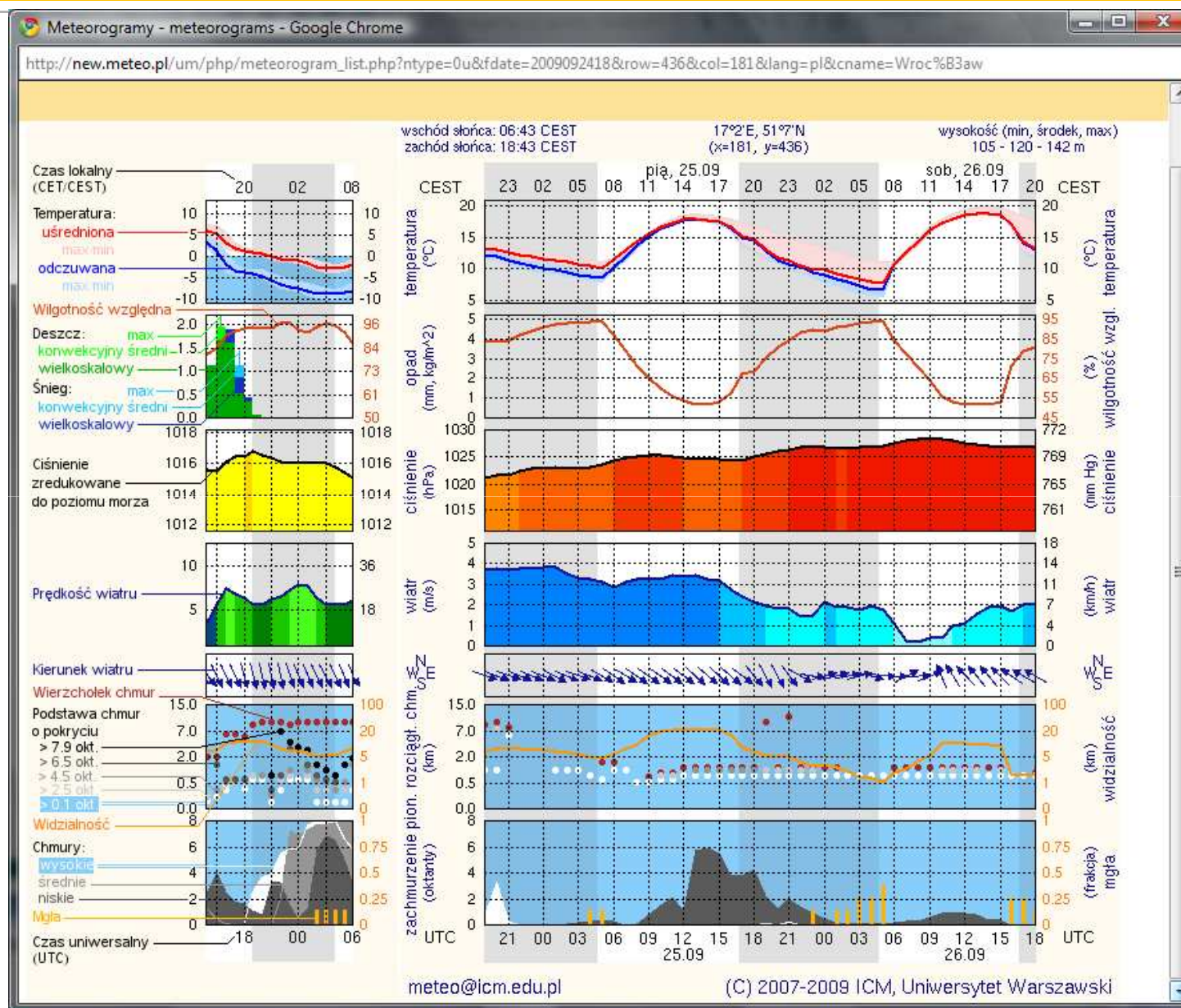
Planowanie i wykonanie termogramów

Poprawne wykonanie termogramów jest warunkiem prawidłowej interpretacji.

Wymaga to starannego zaplanowania. Należy określić

- ☐ porę wykonywania termogramów-czas
- ☐ skalę termogramów, ich liczbę oraz krotność obrazowania
- ☐ warunki otoczenia jakie powinny być spełnione
- ☐ zaplanować pozyskanie uzupełniających informacji mających związek z prawidłową interpretacją
 - pomiar temperatury powietrza i otoczenia oraz wewnętrznej temperatury w budynku oraz w pomieszczeniu, dla którego części wykonywane są badania
 - prędkość wiatru
 - wilgotność powietrza
 - zebranie informacji uzupełniających o stanie obiektu w momencie obrazowania
- ☐ ustalić po której stronie będzie wykonywane badanie
- ☐ w czasie wykonywania termogramów należy wykonać analizę poligonową

PROGNOZOWANIE POGODY - ICM



Interpretacja termogramów

- ☐ Interpretacja zdjęć termowizyjnych to proces cech bezpośrednich związanych z obiektem. Chodzi o wyjaśnienie, wytłumaczenie, skomentowanie zapisanych termogramów (nie chodzi tu tylko o odczytywanie)
- ☐ Interpretacja to proces wnioskowania dedukcyjnego na podstawie cech bezpośrednich – widocznych na termogramie oraz informacji z innych zgromadzonych źródeł, wiedzy interpretatora i wyjaśnienie cech obiektu oraz związku między obiektami i zachodzącymi zjawiskami
- ☐ CECHY OBIEKTU:
 - ☐ Kształt-cecha pozwalająca na interpretację
 - ☐ Wielkość obrazu obiektu (wielkość obiektu a rozdzielczość urządzeń zapisu termo)
 - ☐ Ton i barwa (ma znacznie przy wykonywaniu termogramów w czasie dnia)
 - ☐ Struktura i tekstura (gładka, drobnoziarnista, gruboziarnista) jakość obrazu zależy od rozdzielczość oraz skala oraz powiązanie z budową wewnętrzną
 - ☐ Pośrednie cechy rozpoznawcze: pozwala sformułować wnioski o przedmiotach i zjawiskach niewidocznych na obrazach w sposób bezpośredni. Rozpoznanie wpływu cech pośrednich wymagają od interpretatora wiedzy, doświadczenia w zakresie budownictwa oraz termowizji.

Zależą od zjawisk zewnętrznych i procesów zapisanych na termogramie. Do cech pośrednich należą:

- ❑ Lokalizacja obiektu
- ❑ Powiązania z innymi obiektami
- └ Związki pomiędzy działalnością obiektu a otoczeniem
- ❑ Zależność temperatury od zewnętrznej powierzchni budynku
- └ Zależność temperatury zewnętrznej od pory dnia
- ❑ Zależność temperatury zewnętrznej od nasłonecznienia
- ❑ Zależność temperatury zewnętrznej od pojemności cieplnej budynku
- └ Zależność temperatury zewnętrznej od rodzaju i barwy materiału budowlanego na elewacji

Cień i odbite promieniowanie

Na termogramach zazwyczaj nie występuje cień własny. Powierzchnie o temperaturze wyższej od 0 K oświetlają się same dlatego należy od tym pamiętać przy wykonywaniu interpretacji.

Odbite promieniowanie pojawia się kiedy w otoczeniu badanego obiektu występuje ciało nawet o temperaturze zbliżonej do temperatury badanej.

Cień może się pojawić przy badaniach wykonywanych podczas dnia-wpływ promieniowania słonecznego na przegrody. Ustabilizowanie temperatury na powierzchni przegrody wymaga nawet kilku godzin przerwy (zależy od budowy przegrody)

Cień

- ❑ Cień może mieć obniżoną temperaturę w stosunku do sąsiedztwa gdy badania wykonywane są przy bezchmurnym nieboskłonie, który promieniuje jako ciało doskonale czarne o znacznie niższej od temperatury powietrza i obiektów.
- ❑ Jeżeli nad obiektem nastąpi zasłonięcie nieboskłonu wówczas nie wystąpi obniżenie temperatury i dodatkowo dojdzie do zwiększonego odbicia od fragmentów obiektu-wystąpi ciepły cień (tam gdzie nie doicera zimne promieniowanie nieboskłonu)
- ❑ Wpływ cienia ciepłego może zostać niezauważony przy interpretacji termogramów a lokalne podwyższenie temperatury może być przypisane innym czynnikom. Przykłady ciepłego cienia są obszary pod okapami

Uwagi ogólne

Różnica temperatur po obu stronach obudowy powinna być wystarczająco duża, aby pozwolić na wykrycie nieregularności cieplnych. Dla ułatwienia interpretacji, kontrolę termograficzną należy wykonywać przy stałej różnicy temperatur i ciśnień po obu stronach ściany osłonowej. (Interpretacja termogramów w nieustalonych warunkach wymaga większego doświadczenia i wiedzy z zakresu fizyki budowli.) Wynika stąd, między innymi, że kontroli nie powinno się wykonywać, gdy temperatury powietrza zewnętrznego i wewnętrznego mogą się znacznie zmieniać, albo kiedy obiekt jest wystawiony na bezpośrednie działanie promieniowania słonecznego lub gdy wiatr będzie się znacznie zmieniał.

6.2 Procedura

Należy wykorzystać, o ile są dostępne, rysunki i inne dokumenty opisujące obudowę badanego budynku. Emisyjność materiałów powierzchniowych należy ocenić na podstawie odpowiednich tablic.

Należy zapisać informację odnośnie do temperatury powietrza zewnętrznego, zachmurzenia, opadów i jakiegokolwiek wilgoci na zewnątrz budynku wraz z oceną wiatru. Należy też zapisać orientację budynku w stosunku do stron świata.

Należy oszacować wpływ efektów wytwarzanych przez wentylowane warstwy powietrzne, np. w ścianach lub przez źródła ciepła (jeśli są) zainstalowane w budynku (zamurowane rury, kanały dymów itd.), na temperaturę badanej obudowy. Jeżeli to możliwe, źródła ciepła, które mogłyby przeszkadzać w kontroli, należy wyłączyć przed rozpoczęciem kontroli. Meble, obrazy itd., które mogą wpływać na wynik, powinny być usunięte, żeby na obszarze prób nie było przeszkód. Wymaganych zmian należy dokonać w taki sposób, aby uniknąć efektów przejściowych.

Tuż przed rozpoczęciem kontroli, wewnętrzną i zewnętrzną temperaturę powietrza należy określić z dokładnością do $\pm 1^{\circ}\text{C}$. Kiedy ma być określona różnica ciśnień po obu stronach obudowy, to zaleca się zmierzenie jej z dokładnością do $\pm 2\text{ Pa}$ na stronie zawietrznej i nawietrznej dla każdego piętra. Zaobserwowane wartości należy zapisać. Jest bardzo ważne, żeby określić zwrot różnicy ciśnień na przekroju obudowy i położenie płaszczyzny neutralnej, jeżeli taka jest.

Zmiany pozornej temperatury promieniowania w obszarze obrazu cieplnego na powierzchni obudowy budynku należy mierzyć z dokładnością do 10 % lub $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, którakolwiek jest większa. Kiedy potrzebne są temperatury odniesienia powierzchni, to zaleca się określenie ich z dokładnością do $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$.

Pozycje części prezentowanych na termogramach należy wskazać na planie lub szkicu budynku.

Aby zdecydować, czy zmiana dotycząca promieniowania jest spowodowana odbiciem od innej powierzchni, to najlepiej jest zbadać powierzchnię z różnych pozycji, ponieważ zazwyczaj odbicie będzie zmieniało się wraz z pozycją.

Wzór pozornej temperatury promieniowania należy obliczyć zgodnie ze wskazówkami użycia systemu detekcji promieniowania podczerwonego. W szczególności istotne jest, żeby wziąć pod uwagę lub skompensować emisyjność i efekty odbicia, jeżeli te wzory zostaną użyte do obliczenia faktycznych zmian temperatury na powierzchni.

Jeżeli termogramy wykazują wpływ powietrza, to jeżeli można, należy zmierzyć prędkość ruchu powietrza. Jeżeli potrzeba, należy ocenić czynniki, które mają wpływ na współczynnik przejmowania ciepła na wewnętrznej powierzchni obudowy (ruch powietrza, promieniowanie cieplne, kondensacja wilgoci).

Temperatura promieniowania oraz temperatura pozorna

Temperatura promieniowania, parametr charakteryzujący całkowitą energię niesioną przez promieniowanie termiczne danego ciała. Temperatura promieniowania T_r danego ciała związana jest z bezwzględną temperaturą ciała T zależnością:
$$T_r = (\varepsilon)^{1/4} T,$$

gdzie ε - zdolność emisyjna danego ciała. Zależność tę można otrzymać stosując prawo Stefana-Boltzmana

Temperatura pozorna (Apparent temperature °C) to wskaźnik wyrażający wpływ temperatury powietrza i zawartości pary wodnej w powietrzu na organizm człowieka

6.3 Ocena termogramów

Przewidywany rozkład temperatury dla badanych części należy określić za pomocą rysunków i innych dokumentów odnoszących się do obudowy budynku i systemu ogrzewania i wentylacji badanego budynku. W tym celu można wykorzystać obliczenia, doświadczenia, badania laboratoryjne lub termogramy odniesienia obudowy budynków bez defektów.

UWAGA 1: Termogramy odniesienia można wykonać albo w laboratorium, albo otrzymać w badaniach terenowych, wykonywanych na rzeczywistych budynkach. Termogramy odniesienia należy tak wybierać, aby dobrze reprezentowały obiekt i warunki kontroli, były maksymalnie zbliżone do badanej konstrukcji i otoczenia podczas kontroli. Patrz załączniki A, B i C.

Rozkład temperatury należy oceniać z termogramów. Jeżeli rozkład temperatury różni się od oczekiwanego, należy to odnotować. Jeżeli nieregularności nie można wyjaśnić na podstawie projektu obudowy, zgodnie z rysunkami lub efektami źródeł ciepła lub nie można ich przypisywać zmianom emisyjności albo wartości współczynnika przejmowania ciepła, nieregularność powinna być określana jako defekt.

UWAGA 2: Nieregularności izolacji cieplnej, szczelność powietrza i struktura budynku będą tworzyły różne wzory temperatury powierzchni. Pewne typy defektów mają charakterystyczny kształt na obrazie cieplnym. W ocenie termogramów należy wziąć pod uwagę następujące charakterystyczne wzory:

- a) równomierność temperatury pozornej promieniowania odnoszącej się do części powierzchni o podobnej budowie, gdzie nie ma mostów cieplnych;
- b) regularność i wymiary zimniejszych i cieplejszych części, np. na słupkach i narożach;
- c) położenie konturów i charakterystyczny kształt zimniejszych i cieplejszych części;
- d) zmierzona różnica pomiędzy "normalną" temperaturą powierzchni budynku i temperaturą wybranej zimniejszej lub cieplejszej części;

Nieregularności pojawiające na termogramach często wskazują na defekty obudowy budynku. Wygląd termogramu odnoszącego się do konstrukcji z defektem może się znacząco różnić.

6.4 Przykłady charakterystyk wzoru

- a) Wypływ powietrza (często przy stykach i połączeniach) w obudowie budynku często wytwarza nieregularne kształty z nierównymi granicami i dużymi zmianami temperatur;
- b) Brak izolacji tworzy regularne i dobrze zdefiniowane kształty nie związane z cechami konstrukcji budynku. Obszar defektu ma względnie równe zmiany temperatury;
- c) Wilgoć obecna w konstrukcji normalnie tworzy plamkowy i rozproszony wzór. Zmiany temperatury nie są najwyższe w granicach tego wzoru.

Należy określić typ defektu. Można tego dokonać przez obliczenie, przez inne dochodzenie, przez doświadczenia albo przez porównywanie rzeczywistych termogramów z termogramami odniesienia dla budynku ze znanymi wadami izolacji cieplnej i przepływami powietrza różnych rodzajów. Takie określenia należy udokumentować w raporcie termograficznym.

Dla tych części ściany osłonowej budynku, w których obecność wad izolacji cieplnej i wpływ powietrza zostały wykryte, typ i rozmiar każdej wady należy krótko przeanalizować.

UWAGA: Wyniki kontroli mogą być sprawdzone przez rozmontowanie części obudowy budynku, uważanej za wadliwą i poddanie jej wizualnej kontroli. Inne dodatkowe badania mogą obejmować pomiary strumienia ciepła i badania ciśnieniowe.

Co powinien zawierać raport

1. Raport szczegółowy
2. Raport uproszczony

Raport powinien zawierać:

Raport szczegółowy

- a) opis kontroli z odniesieniami do tej normy i stwierdzeniem, że została wykonywana *kontrola aparatem IR*, nazwisko klienta i pełny adres obiektu;
- b) krótki opis konstrukcji budynku (Ta informacja powinna opierać się na rysunkach lub innych dostępnych dokumentach);
- c) typ (typy) materiału (materiałów), z którego wykonano powierzchnie ścian budynku i ocenioną wartość (wartości) emisyjności tego (tych) materiału (materiałów);
- d) orientację budynku względem stron świata pokazaną na planie i opis otoczenia (budynki, roślinności, krajozraz itd.);
- e) specyfikację używanego wyposażenia, włączając producenta, model i numer seryjny;
- f) datę i godzinę kontroli;
- g) temperaturę powietrza na zewnątrz; podać co najmniej minimalną i maksymalną zaobserwowaną wartość, i) przez 24 h przed rozpoczęciem kontroli i ii) podczas kontroli;
- h) ogólną informację o warunkach nasłonecznienia, zaobserwowanych podczas 12 h przed rozpoczęciem kontroli i podczas kontroli;
- j) opady, kierunek wiatru i szybkość wiatru podczas kontroli;
- k) wewnętrzną temperaturę powietrza i różnicę temperatury powietrza po obu stronach obudowy podczas kontroli;
- l) różnicę w ciśnieniu powietrza po stronie zawietrznej i nawietrznej, według potrzeb dla każdego piętra;
- m) inne ważne czynniki wpływające na wynik, np. szybkie zmiany warunków meteorologicznych;
- n) stwierdzenie jakichkolwiek odchyłek od odnośnych wymagań kontrolnych;

- o) szkice i/lub fotografie budynku pokazujące pozycje termogramów ■ ■
- p) termogramy wskazujące poziomy temperatury otrzymane z kontroli pokazujące części budynku, gdzie wady zostały wykryte z wskazaniem ich poszczególnych położenia i pozycją aparatu IR w odniesieniu do mierzonej powierzchni wraz z komentarzami do powstałych obrazów cieplnych; jeśli to możliwe to z odniesieniem do części obudowy budynku bez wad; ■ ■
- q) identyfikację kontrolowanej części budynku;
- r) wyniki analizy dotyczącej typu i obszaru każdej wady budynku, która została zaobserwowana ²⁾; względny rozmiar wady przez porównanie wadliwej części obudowy budynku do podobnych części w całym budynku;
- s) wyniki dodatkowych pomiarów i badań;
- t) datę i podpis.

7.2 Raport z uproszczonej kontroli aparatem IR

Sprawozdanie powinno zawierać:

- a) opis kontroli z odniesieniami do tej normy i stwierdzenie, że została wykonana *uproszczona kontrola aparatem IR*, nazwisko klienta i pełny adres obiektu; ■
- b) krótki opis konstrukcji budynku (ta informacja powinna opierać się na rysunkach lub innych dostępnych dokumentach);

- k) wewnętrzną temperaturę powietrza i różnicę temperatur powietrza po obu stronach obudowy podczas kontroli;
- l) różnicę w ciśnieniu powietrza po stronie zawietrznej i nawietrznej, według potrzeb dla każdego piętra;
- m) inne ważne czynniki wpływające na wynik, np. szybkie zmiany warunków meteorologicznych;
- n) stwierdzenie jakichkolwiek odchyłeń od odnośnych kontrolnych wymagań;

- q) identyfikację części kontrolowanej budynku;
- r) typ, rozmiar i położenie każdej dostrzeżonej wady ³⁾;
- s) wyniki dodatkowych pomiarów i badań;
- t) datę i podpis.

A.1 Termogramy odniesienia otrzymane z pomiarów terenowych rzeczywistych budynków

Termogramy wykonane w pomiarach terenowych rzeczywistych budynków można wykorzystać jako termogramy odniesienia, pod warunkiem że charakterystyki badanego budynku, wykonawstwo i warunki w czasie kontroli są dobrze znane i udokumentowane.

A.3 Przedstawianie termogramów odniesienia

Termogramy odniesienia powinny być rejestrowane i prezentowane w dwóch formach, tj.

- a) jako normalny obraz cieplny; i
- b) jako jeden izotermiczny obraz lub kilka, jasno pokazujących rozkład temperatury, który jest charakterystyczny dla kontrolowanej wady.

Przykłady termogramów odniesienia typowej obudowy bez wad (patrz rysunek A.1) są pokazane w załączniku B.

Przykłady termogramów odniesienia typowej obudowy (patrz rysunek A.1) z zamierzonymi wadami są pokazane w załączniku C.

Podział typowej obudowy na ramki termogramów pokazano na rysunku A.2, a pozycje modelowych wad pokazano na rysunku A.3. (Typy wad nie są opisywane szczegółowo.)

Przykładowe zestawienie wymagań dotyczących pomiarów

W tym załączniku wymagania dotyczące kontroli są dostosowane do specyficznych warunków klimatycznych i technologii budowania w Skandynawii. Specjalne krajowe warunki mogą usprawiedliwiać inne zestawy wymagań dla badań w innych regionach.

Dla warunków skandynawskich następujące wymagania dla badań są w stanie w przybliżeniu zapewnić stałe warunki dla lekkich konstrukcji budowlanych ⁴⁾, gdy kontrola termograficzna ma być wykonywana od wewnątrz.

- a) Na co najmniej 24 h przed rozpoczęciem kontroli, temperatura powietrza na zewnątrz nie powinna zmieniać się więcej niż o $\pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ od temperatury na początku kontroli. ■ ■

Dla masywnych konstrukcji z wielką masą cieplną należy rozważyć efekty magazynowania ciepła.

- b) Na co najmniej 24 h przed początkiem kontroli i podczas kontroli, różnica temperatury powietrza po obu stronach ściany osłonowej budynku nie powinna być mniejsza niż liczbowa wartość $3/U$, gdzie U jest teoretyczną wartością współczynnika wypływu ciepła elementu budynku w $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$, ale nigdy nie mniejszą niż $5\text{ }^{\circ}\text{C}$. ■ ■

- c) Zaleca się, aby na 12 h przed rozpoczęciem kontroli i podczas kontroli, powierzchnie kontrolowanej ściany osłonowej były wystawione na bezpośrednie promieniowanie słoneczne.

- d) Podczas kontroli, temperatura powietrza na zewnątrz nie powinna zmieniać się więcej niż $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, a temperatura powietrza wewnątrz nie więcej niż $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ od ich odpowiednich wartości na początku kontroli. Efekty zmian temperatury podczas kontroli mogą być określone przez porównanie badania końcowego z początkowym. Jeżeli zmiana jest mniejsza niż 1 albo $2\text{ }^{\circ}\text{C}$, to wymagania kontrolne zostały spełnione.

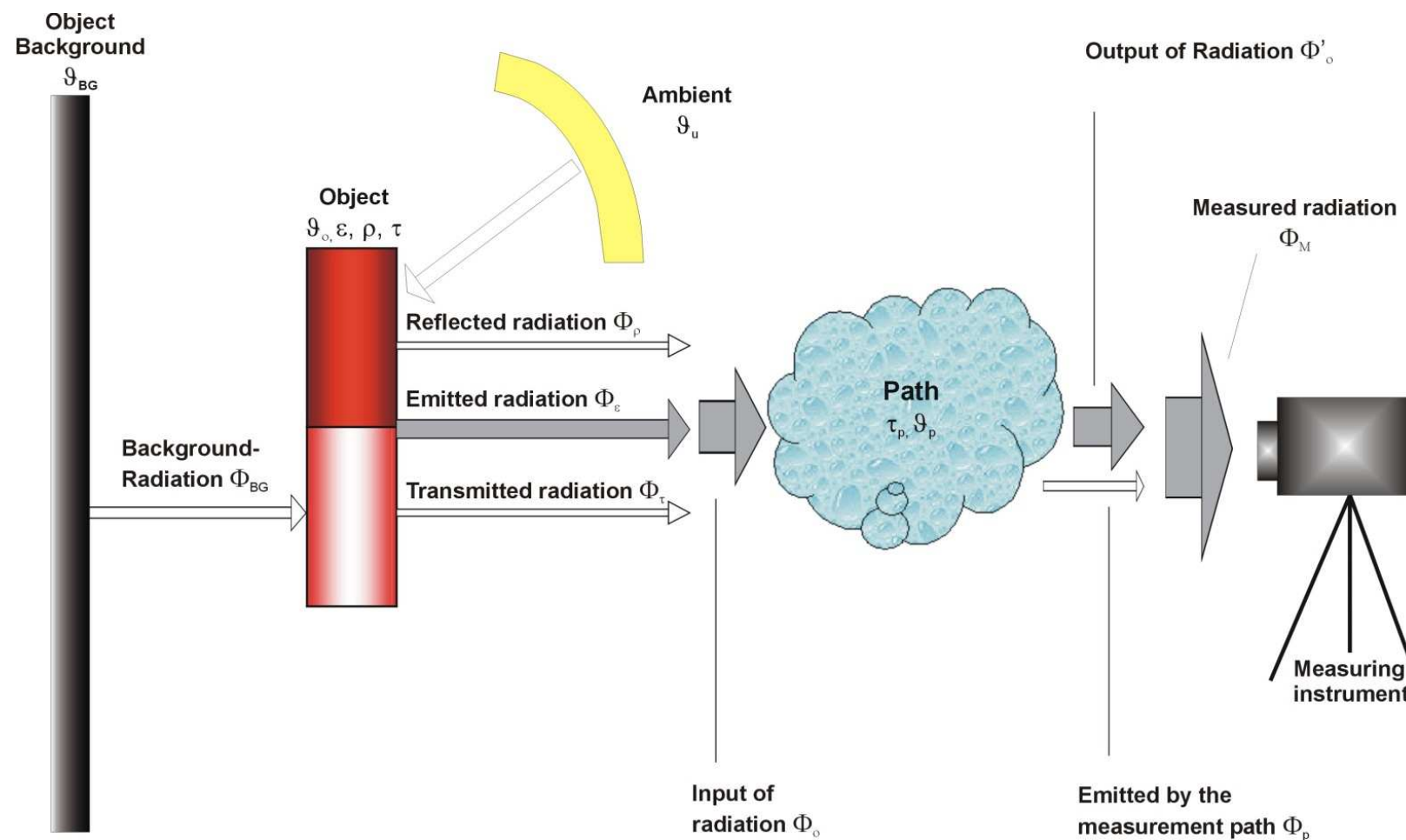
Jeżeli system detekcji promieniowania podczerwonego ma minimalną rozdzielczość $0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, ten zestaw wymagań kontrolnych oznaczałby, co następuje. Dla powierzchni wewnętrznej o oporze $R_{si} = 0,10\text{ m}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{W}$, może być dostrzeżona zmiana w wartości U powyżej 50 %, dla powierzchni wewnętrznej o oporze $R_{si} = 0,20\text{ m}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{W}$ może być dostrzeżona zmiana w wartości U powyżej 25 %.

Jeżeli kontrola jest wykonywana pomimo odstępstw od tych wymagań kontrolnych, zaleca się uwzględnić to przy sprawdzeniu i ocenie wyników oraz wskazać w raporcie termograficznym. ■ ■

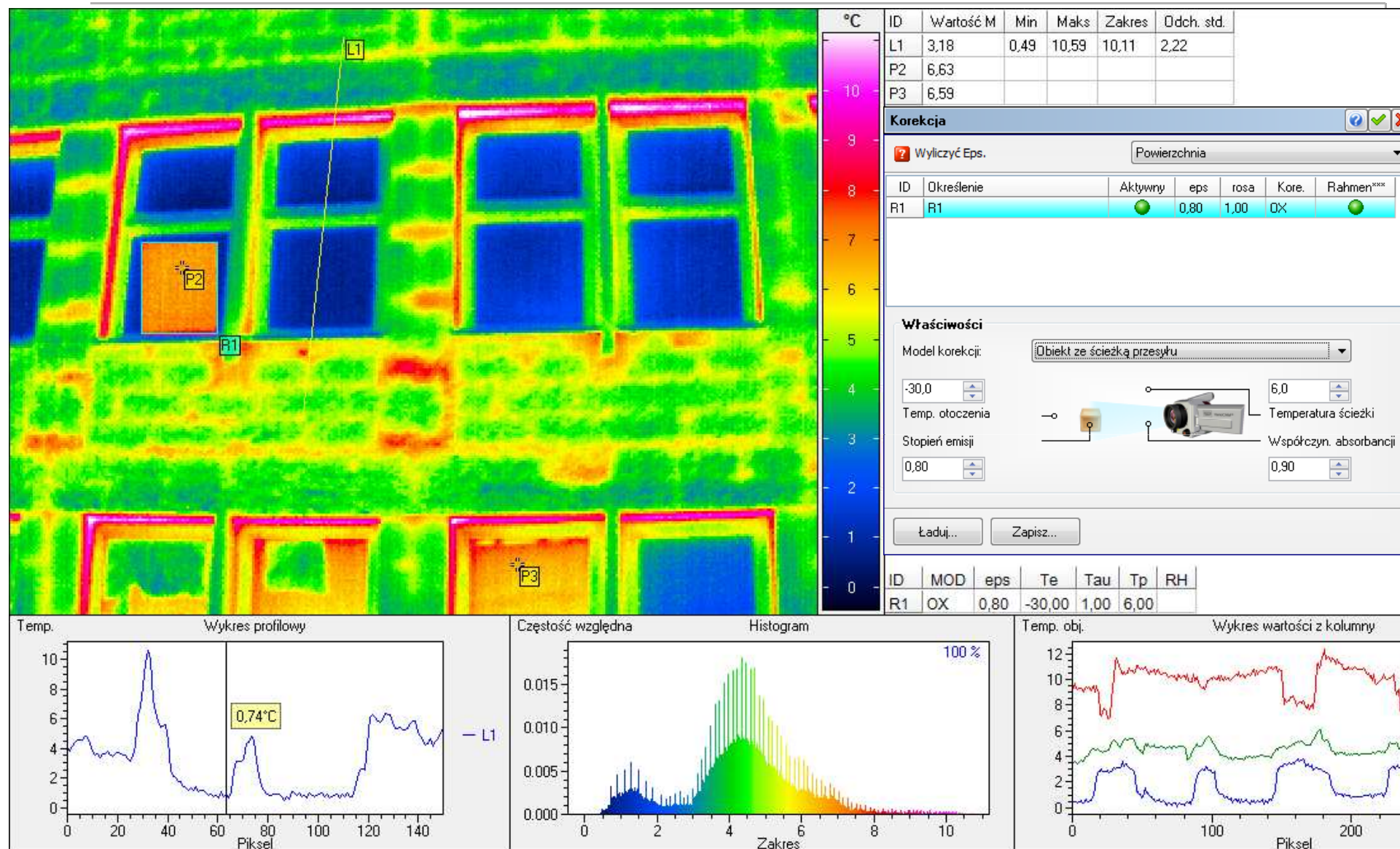
Warunki poprawnego wykorzystywania systemów termowizyjnych

- ☐ Koniecznie należy uwzględniać czynniki zewnętrzne. Nie uwzględniając wpływu czynników zewnętrznych można dokonać niewłaściwej oceny przegrody.
- ☐ Jeżeli wykonujemy badanie w dzień nie może być to dzień słoneczny; w takim przypadku badanie możliwe będzie dopiero po 5-6 godzinach po zachodzie Słońca. Ponadto zakłócenia na termogramach mogą być powodowane przez wszelkie źródła ciepła w zasięgu pola widzenia kamery.
- ☐ Podczas wykonywania badań należy obserwować zmieniające się warunki atmosferyczne i notować ich zmienność, zwłaszcza gdy podczas badania występuje stopniowe ocieplenie atmosfery. Warto też pamiętać, że zmiana warunków atmosferycznych w czasie wykonywania badań nie mają wielkiego wpływu na termogramy wykonywane od strony wewnętrznej budynków.

Pyrometric / Thermographic Basic Equation

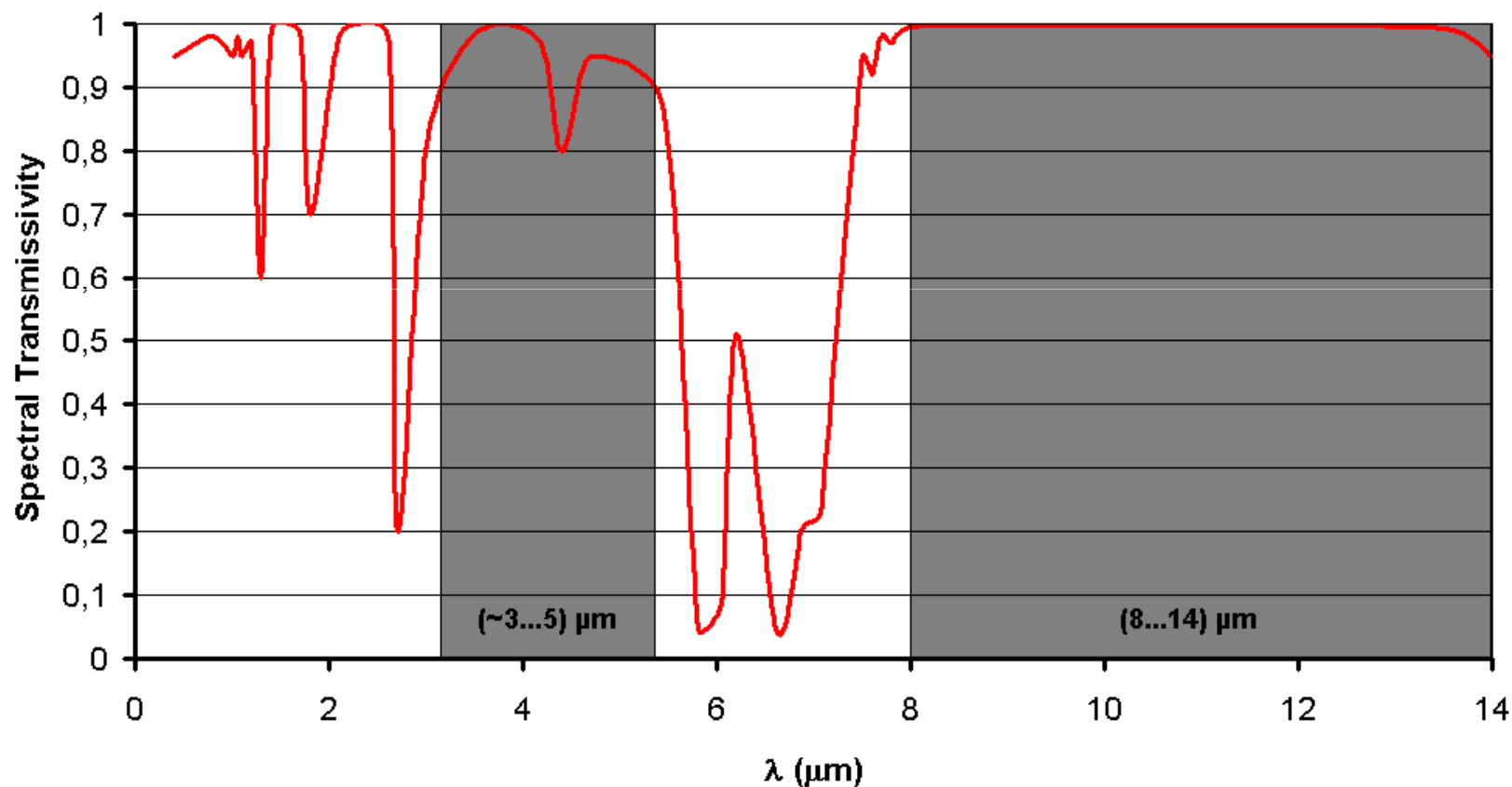


$$\Phi_M = \tau_P \cdot (\varepsilon \cdot \Phi(\vartheta_O) + (1 - \varepsilon) \cdot \Phi(\vartheta_U)) + (1 - \tau_P) \cdot \Phi(\vartheta_P)$$



Atmosferyczne okno

Transmisja w atmosferze silnie zależy od długości fal



Właściwości materiałów

Ogólne Równanie Radiacji

$$\varepsilon_{\lambda} + \tau_{\lambda} + \rho_{\lambda} = 1$$

Przykład	Określenie	Wynik
Czarne ciało	$\varepsilon = 1$	$\tau = 0, \rho = 0$
Idealne lustro	$\rho = 1$	$\varepsilon = 0, \tau = 0$
Idealne okno	$\tau = 1$	$\varepsilon = 0, \rho = 0$
Nontransparent body	$\tau = 0$	$\varepsilon + \rho = 1$

Definicja Emisyjności

$$\text{Emisyjność} = \frac{\text{Radiacja emitowana przez obiekt o temperaturze } T}{\text{Radiacja emitowana przez Ciało Czarne o temperaturze } T}$$

Cechy obiektu, mające wpływ na zdjęcie:

- Rodzaj materiału
- Warstwy na powierzchni
- Szorstkość powierzchni
- Kąt do powierzchni badanej

Wartości emisyjności podane w tabelach nie zawsze mogą się zgadzać

WPLÝW OBIEKTU POMIAROWEGO

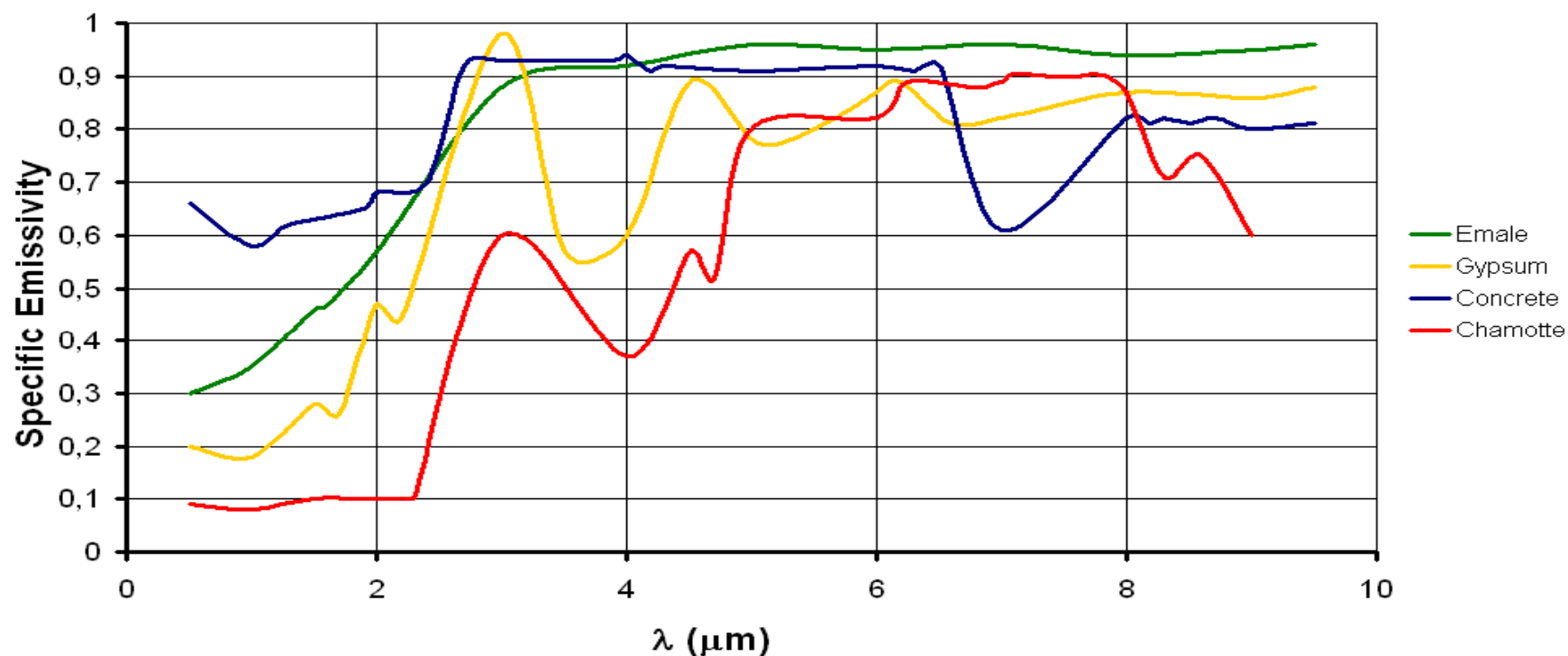
Ciało doskonale czarne, jako fizyczny model promiennika, jest niezbędne do rozpatrywania podstawowych zależności. Praktyczne obiekty pomiarowe często mniej lub bardziej odbiegają od tego modelu i dlatego przy pomiarach staje się konieczne uwzględnienie tej odchyłki. Dlatego wprowadzono pojęcie współczynnika emisyjności, jako wartości określającej możliwości wysyłania promieniowania podczerwonego przez dane ciało. Ciało doskonale czarne posiada współczynnik emisyjności o wartości 1, który jest niezależny od długości fali.

W przeciwieństwie do tego współczynnik emisyjności rzeczywistych obiektów pomiarowych w mniejszym lub większym stopniu zależy od długości fali. Poza tym możliwy jest wpływ następujących rodzajów zjawisk:

- ☐ zestawienie materiałów
- ☐ utlenienie otoczenia
- ☐ zadymienie otoczenia
- ☐ kąt do powierzchni normalnej
- ☐ temperatura
- ☐ stopień polaryzacji

Kompozycja materiałów

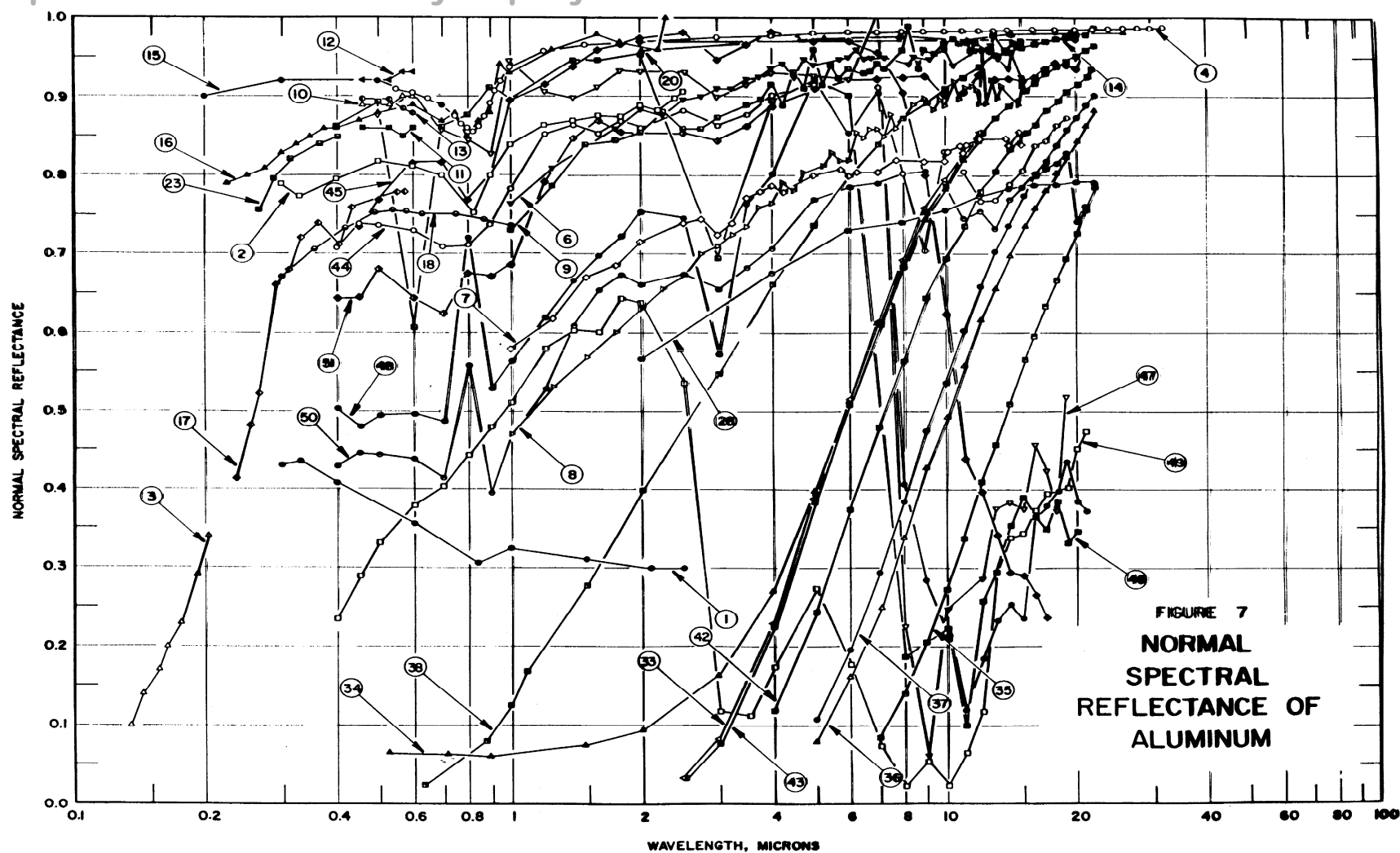
Widmo emisyjności materiałów



- ☐ Stosunkowo wysoka emisyjność (średnie i dalekie fale)
- ☐ Wzrost jak długość fali wzrasta
- ☐ Stosunkowo stała emisyjność bez względu na kompozycję powierzchni

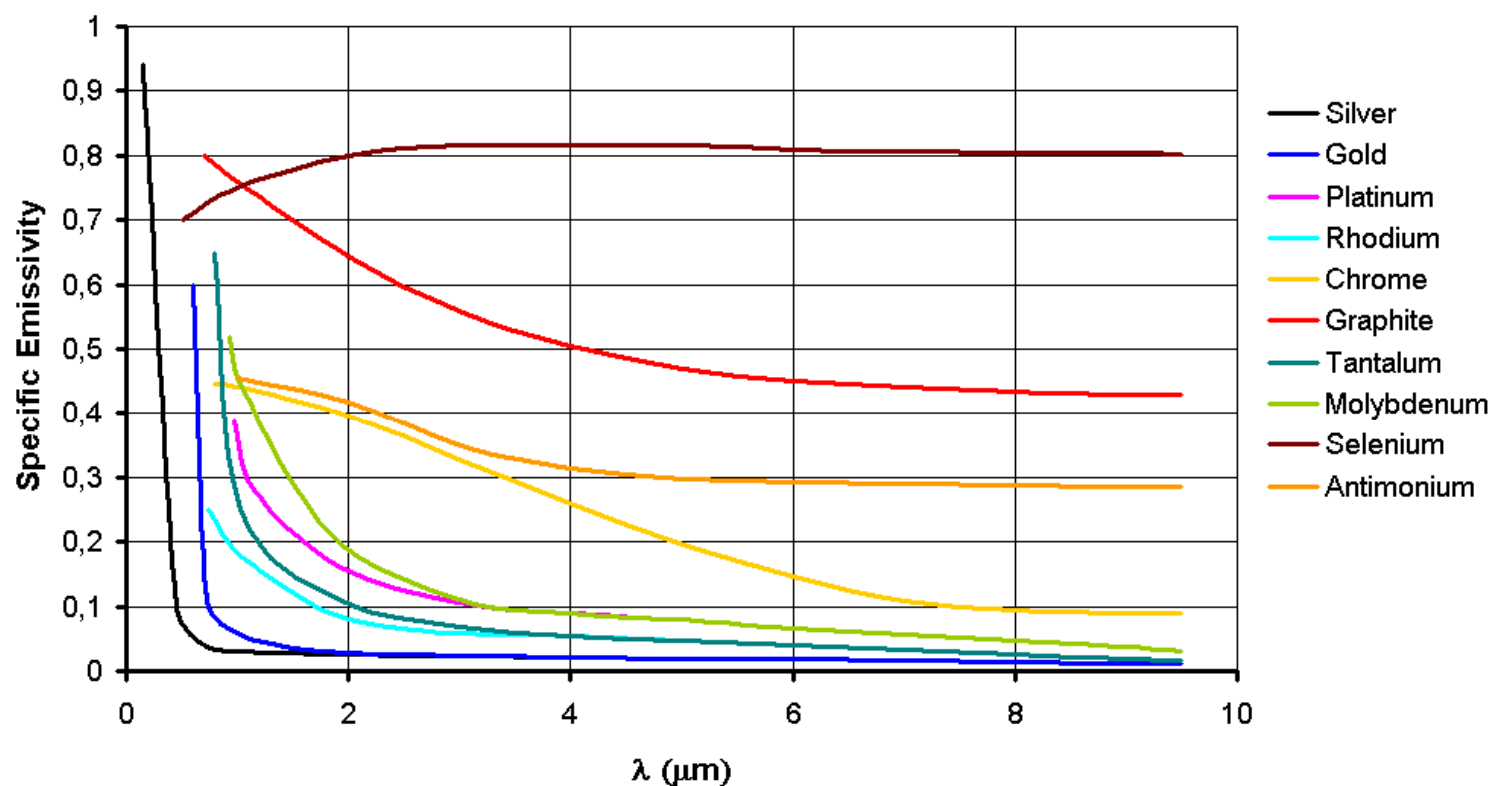
Błąd spowodowany charakterem badanego obiektu

Spektrum odbicia przykładów aluminium



Kompozycja materiałów

Spektrum emisyjności materiałów



- Stosunkowo niska emisyjność
- Spadek jak długość fali wzrasta
- W dużej mierze zależy od właściwości powierzchni

Szorstkość powierzchni

Effekt szorstkości na emisyjność

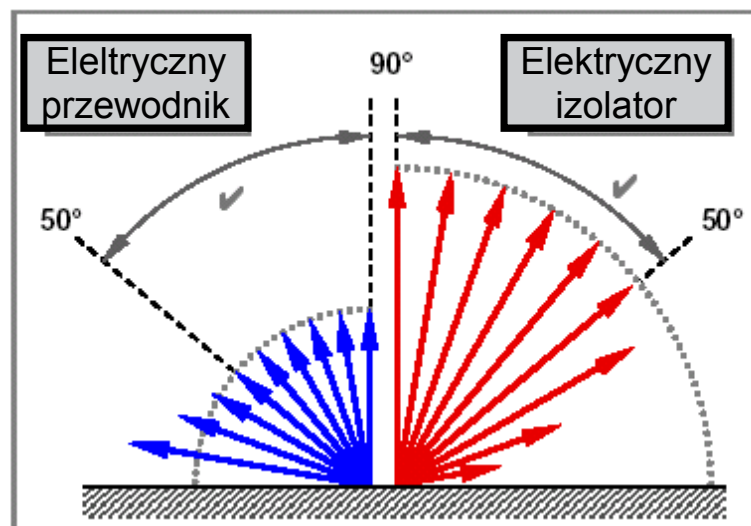
- ☐ Emisyjność wzrasta mikroskopijnej skali microcopic
- ☐ Szorstka powierzchnia ma większą powierzchnię emisyjności
- ☐ Wzrost emisyjności poprzez czyszczenie piaskiem lub papierem ściernym

Material	300K	600K
Wysoko wypolerowana stal	0.04	0.06
Wypolerowana stal nierdzewna	0.17	0.19
Oczyszczona stal nierdzewna	0.22	0.24

Angle to Surface Normal

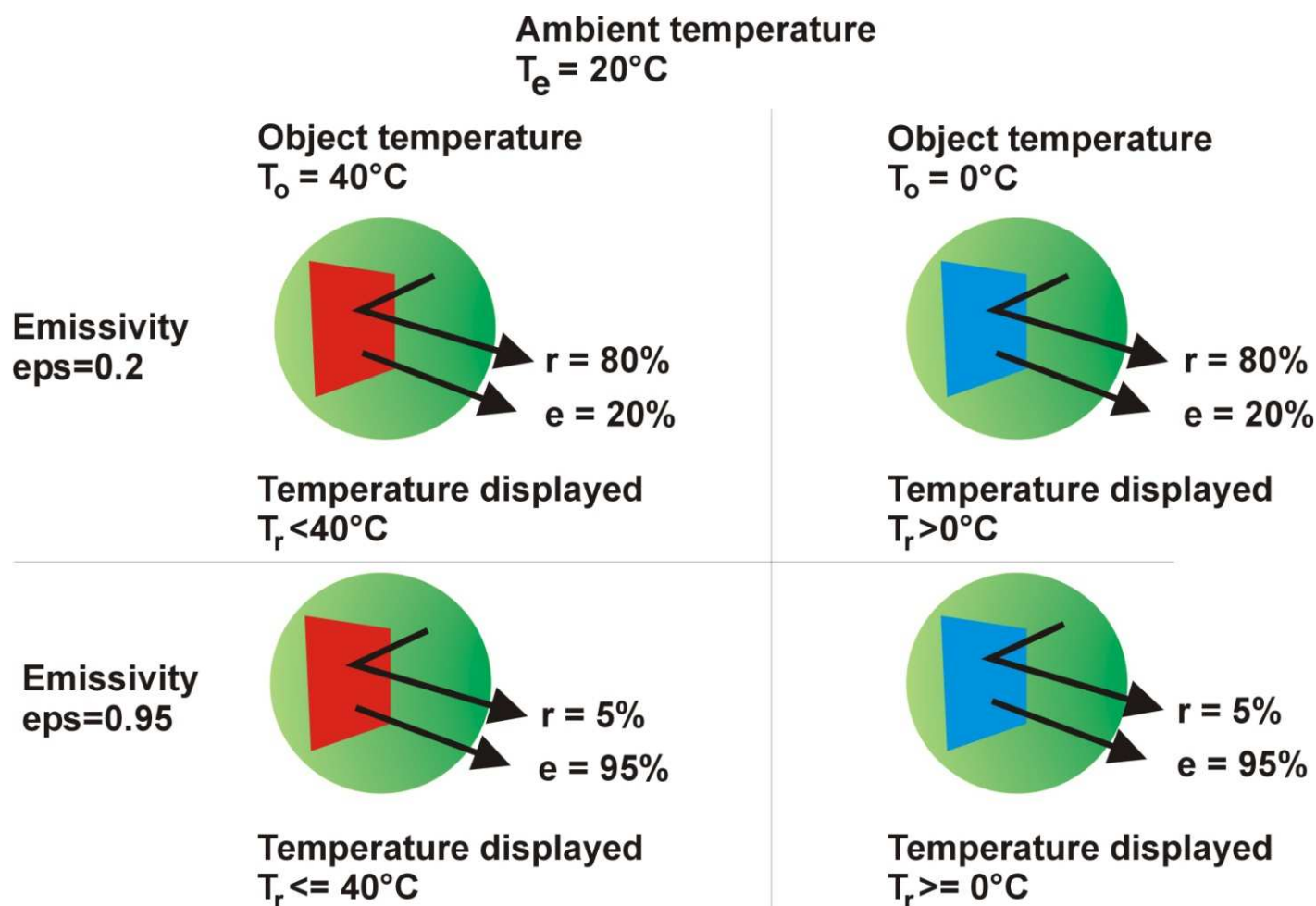
Efekt kąta na wartość emisyjności

- Powierzchnie nie emitują tak samo we wszystkich kątach
- Emisyjność spada gwałtownie w każdym kącie powyżej 45 °C
- Mniej problemów z materiałami o nie odbijającej się powierzchni oprócz długich falach
- Elektryczne przewodniki są cieplejsze w mniejszym kącie



Temperatura tła

Wpływ temperatury otoczenia na rozkład temperatur



Podsumowanie

Osoba wykonująca pomiary termograficzne nie może ograniczyć się do obsługi sprzętu i obliczeń temperatury termogramu

Powinna wnikliwie przeanalizować analizowany obiekt, wykonać wystarczającą ilość termogramów umożliwiającą przeprowadzenie kompleksowej interpretacji termogramów