

AGENDA KURSU
„Termowizja i termografia.
Podstawy metrologiczne
i praktyka pomiarowa w elektryce, budownictwie i BHP”.
Czas trwania od 3 do 5 godzin:

PODSTAWY TERMOGRAFII.

1. Historia techniki podczerwieni.

2. Zakres promieniowania elektromagnetycznego

- 2.1. Promieniowanie Słońca.
- 2.2. Podział promieniowania, widmo elektromagnetyczne .

3. Podstawowe pojęcia i prawa wykorzystywane w termografii.

- 3.1. Termowizja, termografia.
- 3.2. Efekt wymiany ciepła.
- 3.3. Promieniowanie cieplne .
- 3.4. Egzytancja i luminancja.
- 3.5. Promieniowanie ciała czarnego.
- 3.6. Prawo Plancka.
- 3.7. Prawo przesunięć Wiena .
- 3.8. Prawo Stefana-Boltzmann .
- 3.9. Prawo Kirchhoffa .
- 3.10. Promieniowanie obiektów rzeczywistych.
- 3.11. Emisyjność.

4. Podstawy pomiarów i wskazówki.

- 4.1. Słownik terminów, skrótów i wyrażeń stosowanych podczas pomiaru.
- 4.2. Zjawiska wpływające na zdalne pomiary temperatury .
- 4.3. Błędy pomiarów termowizyjnych .

BUDOWA I ZASTOSOWANIE KAMER TERMOWIZYJNYCH.

5. Budowa kamery termowizyjnej .

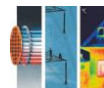
- 5.1. Detektory promieniowania podczerwonego.
- 5.1.1. Parametry metrologiczne dekodowników podczerwieni .
- 5.1.2. Obiektywy kamer termowizyjnych .
- 5.1.3. Urządzenia chłodzące detektory podczerwieni .

6. Zasada działania i rodzaje kamer .

- 6.1. Powstawanie termogramów w kamerach z detektorami FPA .
- 6.2. Podstawowe parametry i wzorcowanie kamer .
- 6.3. Przegląd dostępnego na rynku sprzętu .
- 6.4. Interfejsy stosowane w termowizji.
- 6.5 Przegląd oprogramowania do obróbki termogramów.

7. Przykładowe zastosowania termowizji.

- 7.1. Termowizja w budownictwie.
- 7.1.1. Problemy z oknami
- 7.1.2. Mostki cieplne przyczyną znacznych strat ciepła
- 7.1.3. Lokalizowanie źródeł zawilgocenia ścian i stropów
- 7.1.4. Lokalizowanie strat ciepła za pomocą termowizji
- 7.1.5. Lokalizowanie przebiegu ogrzewania podłogowego
- 7.1.6. Infiltracja zimnego powietrza
- 7.1.7. Energooszczędność a pleśń w budynkach
- 7.1.8. Przegląd instalacji elektrycznej w budynkach.
- 7.1.9. Wykrywanie miejsc awarii instalacji wodnych
- 7.2. Termowizja w elektroenergetyce .
- 7.3. Termowizja w energetyce.
- 7.4. Termowizja w zastosowaniach przemysłowych.



- 7.5. Termowizja w chłodnictwie.
- 7.6. Termowizja w nauce i technice.
- 7.7. Termowizja w weterynarii.
- 7.8. Termowizja w medycynie.
- 7.9. Termowizja w badaniach przesiewowych temperatur ciała ludzkiego.

8. Podstawowe zasady wykonywania termogramów i ich obróbka

- 8. 1. Omówienie aktów prawnych i norm z zakresu termografii.
- 8. 2. Raport termowizyjny. Przedstawienie oprogramowania do sporządzania raportów termowizyjnych.
- 8. 3. Obsługa kamery termowizyjnej.

Z poważaniem Gabriel Miczka

Audytor efektywności energetycznej oraz audytor wiodący systemu zarządzania energią ISO 50001.

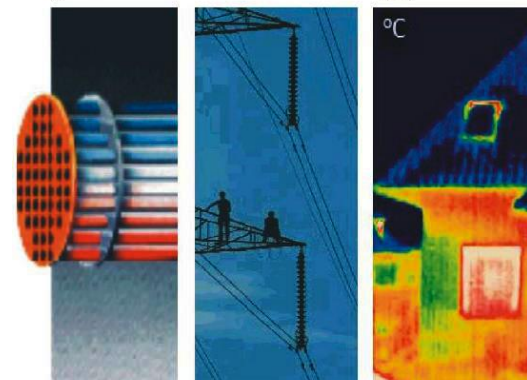
Audytor energetyczny w zakresie budynków mieszkalnych i użyteczności publicznej.

Członek Zrzeszenia Audytorów Energetycznych.

Założyciel i członek Polskiego Stowarzyszenia Budownictwa Ekologicznego PLGBC.



powerauditing.com



yourthermo.com

Termowizja i termografia.

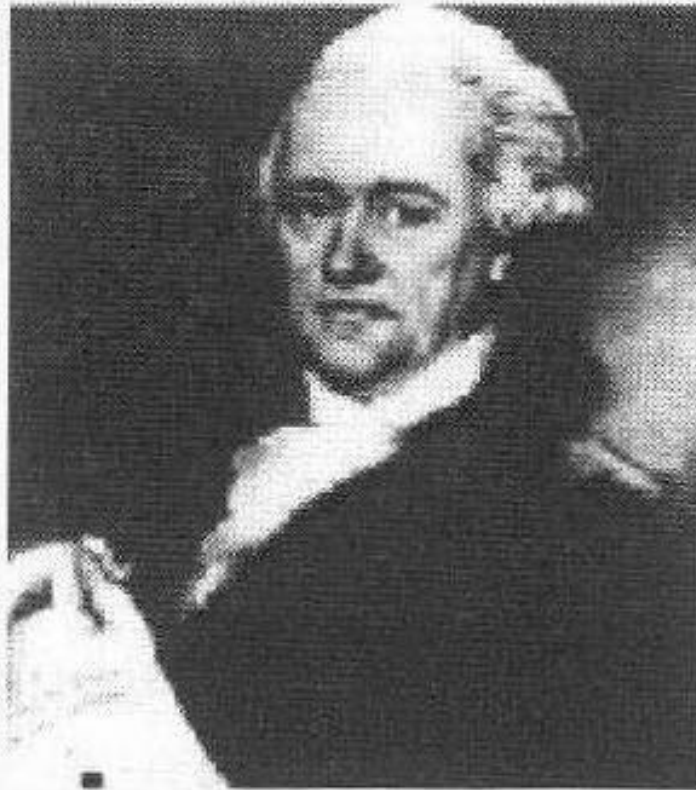
Podstawy metrologiczne
i praktyka pomiarowa w
elektryce, budownictwie i BHP.

"...jeżeli potrafisz mierzyć to o czym mówisz i wyrazić to w liczbach, to znaczy, że wiesz coś na ten temat..." – Lord Kelvin.



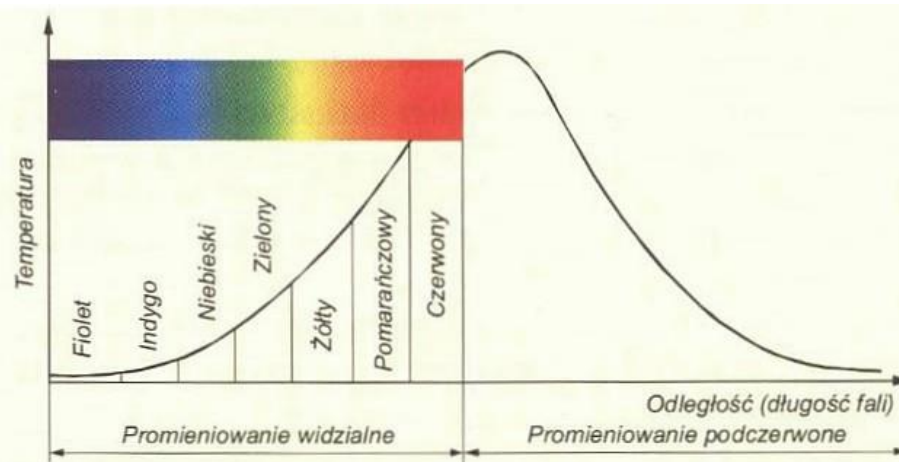
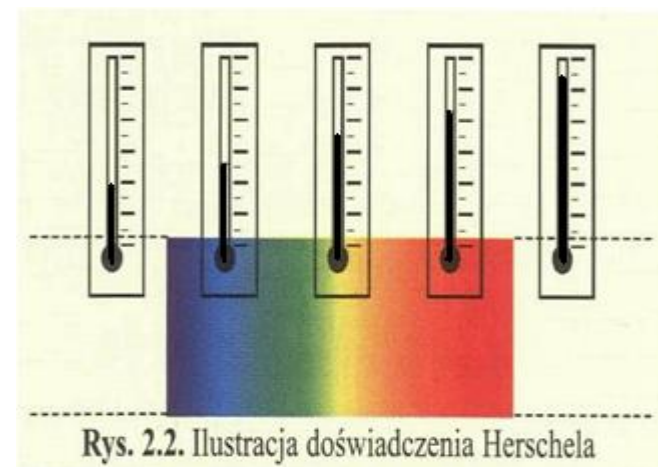
Thermography

Odkrywca promieniowania ciepłego.

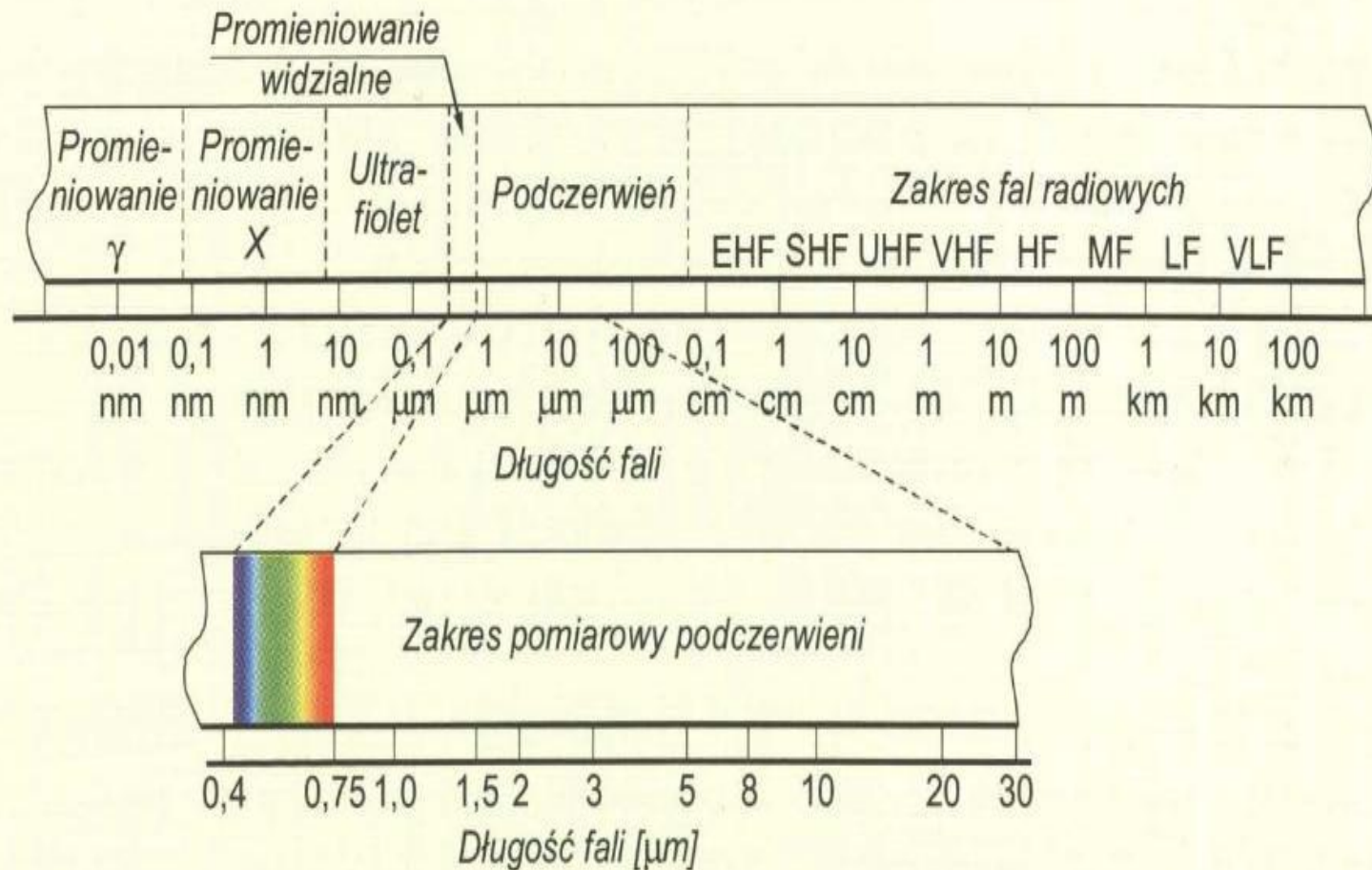


Rys. 2.1. Sir William Herschel (1738-1822)

Sir Herschel powtórzył
doświadczenie
Newton'a z pryzmatem
rozszczepiającym
światło słoneczne.



Rys. 2.3. Krzywa rozkładu temperatur wskazywanych przez termometry umieszczone w różnych kolorach widma promieniowania słonecznego. W artykule [8] Herschel nie definiuje skali temperatury



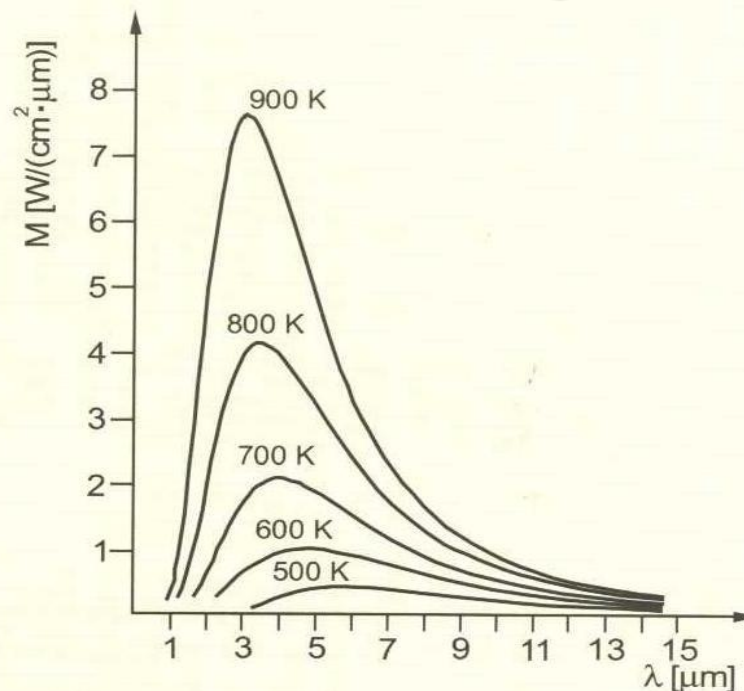
Rys. 2.5. Podział promieniowania występującego w przyrodzie w zależności od długości fali λ

Gustaw Robert Kirchhoff, 1824–1887 opisał prawo wyjaśniające zasadę równoważności całego wypromieniowanego i pochłanianego promieniowania przez ciało doskonale czarne.

Max Planck rozwinął to prawo w oparciu o teorie kwantów i opisał gęstość widmową takiego promieniowania dla ciała doskonale czarnego.



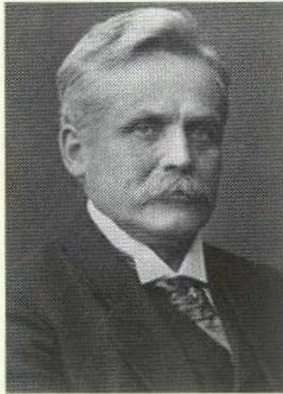
Rys. 2.8. Max Planck (1858-1947)



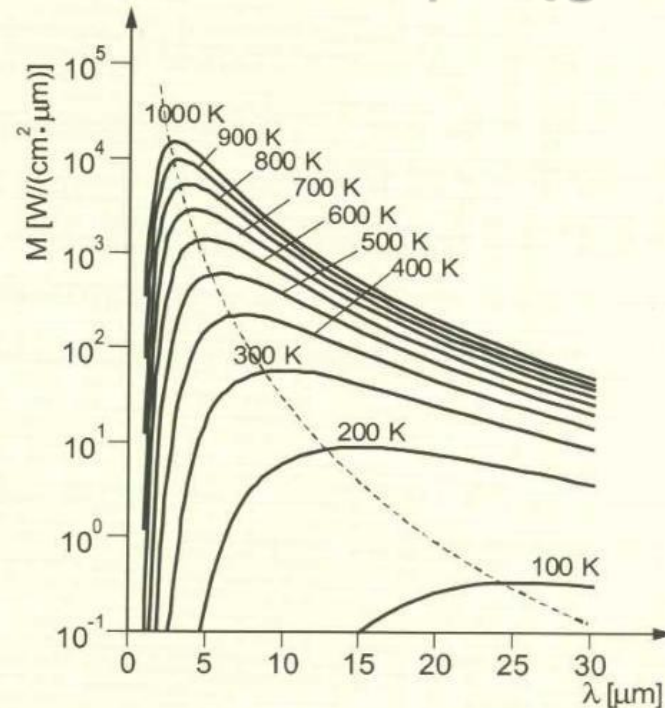
Rys. 2.9. Gęstość widmowa egzytancji ciała czarnego wyrażona przez prawo Plancka

Wilhelm Wien uprościł równania Plancka do postaci dającej błędy mniejsze niż 1%.
Jest to prawo przesunięć Wiena.

Josef Stefan i Ludwig Boltzman, zaś opisali moc emitowaną przez ciało doskonale czarne jako zależność temperatury w Kelwinach do 4 potęgi.

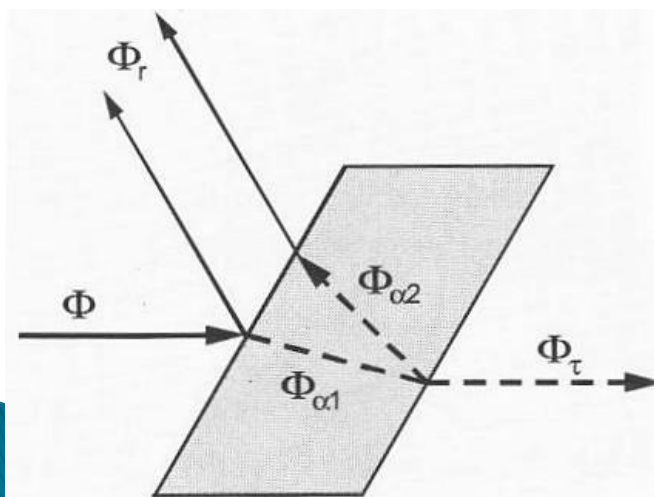


Rys. 2.10. Wilhelm Wien (1864-1928)



Rys. 2.11. Krzywe Plancka w zakresie od 100 do 1000 K. Linia kropkowana reprezentuje miejsce występowania maksimum egzytancji dla każdej temperatury, zgodnie z prawem przesunięć Wiena

Każde rzeczywiste ciało pochłania, przepuszcza lub odbija promieniowanie elektromagnetyczne. Robi to różnie w różnych zakresach tego promieniowania. Np. promieniowanie rentgenowskie nie jest odbijane przez żaden znany materiał.



Zjawiska te ilustruje rys. 2.12, przy czym dla ciał częściowo przezroczystych występują wielokrotne wewnętrzne odbicia oraz związane z tym wielokrotne pochłanianie promieniowania. Wyróżnia się następujące wyidealizowane przypadki szczególne:

- $\alpha=1, r=0, \tau=0$ - ciało czarne (ang. *perfect blackbody*), tj. ciało, które pochłania całe padające nań promieniowanie,
- $r=1, \alpha=0, \tau=0$ - ciało białe (ang. *perfect mirror*), tj. ciało, które odbija całe padające nań promieniowanie,
- $\tau=1, \alpha=0, r=0$ - ciało przezroczyste (ang. *perfect transparent body*), tj. ciało, które przepuszcza całe padające nań promieniowanie.

Dla każdego przypadku słuszna jest zależność opisana prawem Kirchhoffa:

$$\alpha + r + \tau = 1 \quad (2.15)$$

Relacja ta jest również słuszna dla promieniowania monochromatycznego, stąd zależność:

$$\alpha_\lambda + r_\lambda + \tau_\lambda = 1 \quad (2.16)$$

Podstawowe prawa promieniowania cieplnego,

wypis z „Pomiary termowizyjne w praktyce”. Praca zbiorowa pod redakcją Henryka Madury.

Promieniowanie cieplne jest promieniowaniem elektromagnetycznym powstającym w wyniku pobudzenia termicznego cząstek materii takich jak atomy, cząsteczki czy jony. Każde ciało jest więc źródłem takiego promieniowania, jeśli jego temperatura jest wyższa od zera bezwzględnego. Widmo promieniowania cieplnego jest widmem ciągłym i obejmuje cały zakres promieniowania optycznego tj. promieniowania elektromagnetycznego o długościach fal położonych między obszarem przejścia do fal rentgenowskich, a obszarem przejścia do mikrofal. Można zatem rozpatrywać promieniowanie cieplne jako fale elektromagnetyczne lub jako zbiory kwantów energii promieniowania - fotonów. Fale elektromagnetyczne charakteryzowane są przez długość fali λ , prędkość rozchodzenia się c oraz częstotliwość ν , które są związane zależnością:

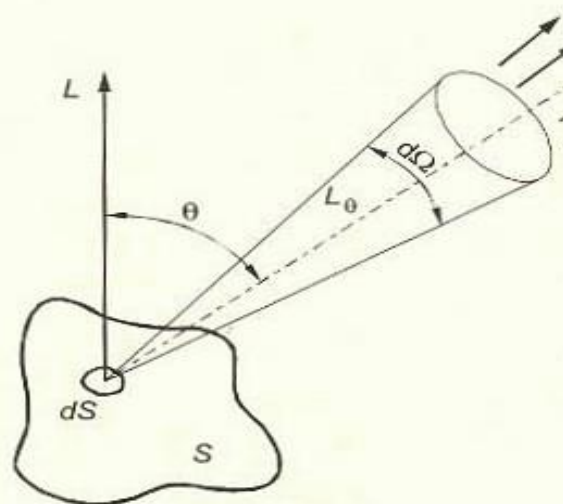
$$\lambda = \frac{c}{\nu} \quad (2.1)$$

Prędkość rozchodzenia się fal elektromagnetycznych w próżni jest największa i wynosi:

$$c_0 = 2,9979 \cdot 10^8 \text{ m/s} \quad (2.2)$$

Przy rozważaniach teoretycznych przeważnie jest stosowana częstotliwość, która nie zmienia się, gdy promieniowanie przechodzi z jednego ośrodka do drugiego. W praktyce wygodniej jest stosować i mierzyć długość fali.

W opisie promieniowania podczerwonego i w analizie pracy urządzeń termowizyjnych stosuje się kilka podstawowych wielkości radiometrycznych, których definicje zgodne z normą PN-90/E-01005 przytoczono poniżej.



Egzytancja energetyczna lub emitancja (ang. *exitance*) jest definiowana jako gęstość powierzchniowa strumienia energii promieniowania Φ z powierzchni S do półprzestrzeni. W niektórych podręcznikach wielkość ta jest nazywana gęstością strumienia emisji.

$$M = \frac{d\Phi}{dA} \quad [W \cdot m^{-2}] \quad (2.3)$$

Luminancja energetyczna jest to gęstość powierzchniowa strumienia energii promieniowania Φ z powierzchni S w jednostkowym kącie bryłowym $d\Omega$.

$$L_\theta = \frac{\partial^2 \Phi}{\partial \Omega \cdot \partial S \cdot \cos \theta} \quad [W \cdot sr^{-1} \cdot m^{-2}] \quad (2.4)$$

Rys. 2.6. Ilustracja wielkości w definicji luminancji energetycznej z powierzchni S w kierunku Z_θ .

Każdą z powyższych wielkości można odnieść do elementarnego przedziału widma. Mówimy wtedy o gęstościach widmowych wielkości, np.

$$M_\lambda = \frac{dM}{d\lambda} \quad [W \cdot m^{-2} \cdot \mu m^{-1}] - \text{gęstość widmowa egzytancji} \quad (2.5)$$

$$L_\lambda = \frac{dL}{d\lambda} \quad [W \cdot sr^{-1} \cdot m^{-2} \cdot \mu m^{-1}] - \text{gęstość widmowa luminancji} \quad (2.6)$$

Dla powierzchni lambertowskiej, dla której luminancja nie zależy od kierunku promieniowania można wykazać, że luminancja ma (z dokładnością do stałej) taki sam rozkład przestrzenny i widmowy jak egzytancja.

Matematyczno-fizyczny opis praw fizycznych przeważnie zawsze wymaga pewnych założeń lub uproszczeń. Dla lepszego zrozumienia praw rządzących promieniowaniem cieplnym wprowadzono do fizyki pojęcie „ciała doskonale czarnego” (w literaturze zazwyczaj pomija się wyraz „doskonale” używa się określenia „ciało czarne”).

Ciało czarne to obiekt, który pochłania całe padające na niego promieniowanie niezależnie od długości fali. Nazwa ciało czarne użyta w stosunku do przedmiotu emitującego promieniowanie jest wyjaśniona przez prawo Kirchhoffa (od nazwiska Gustava Roberta Kirchhoffa, 1824-1887), które mówi, że ciało zdolne do absorpcji całego promieniowania o dowolnej długości fali jest również zdolne do emitowania tego promieniowania.

Egzystencja tego promieniowania zależy przede wszystkim od temperatury obiektu. Obiekty o temperaturze poniżej 525°C emitują fale w zakresie promieniowania podczerwonego natomiast obiekty o temperaturze wyższej od 525°C stają się źródłem promieniowania widzialnego i wówczas tylko część widma promieniowania takiego obiektu znajduje się w podczerwieni.

Kształty wnęk o własnościach bliskich własnościom ciała czarnego przedstawiono na rys. 2.7. Charakterystyka promieniowania otworu izotermicznej wnęki wykonanej z nieprzezroczystego materiału pochłaniającego promieniowanie niemal dokładnie odpowiada właściwościom ciała czarnego. Całe promieniowanie wpadające przez otwór jest rozpraszane i pochłaniane wskutek wielokrotnych odbić, tak że jedynie niewielki jego ułamek może wydostać się z powrotem. Wyposażając taką izotermiczną wnękę w odpowiedni grzejnik uzyskuje się tak zwany promiennik wnękowy. Równomiernie rozgrzewana wnęka generuje promieniowanie, którego charakterystyka zależy wyłącznie od temperatury wnęki. Takie promienniki wnękowe są często używane w laboratoriach jako źródła odniesienia do kalibrowania (wzorcowania) kamer termowizyjnych.

Na podstawie teorii kwantów Max Planck opisał rozkład widmowy promieniowania ciała czarnego czyli gęstość widmową egzytancji energetycznej (emitancji) ciała czarnego następującym wyrażeniem:

$$M_{\lambda}(T) = \frac{2\pi h c_0^2}{\lambda^5 (e^{hc_0/\lambda kT} - 1)} \text{ [W/(m}^2\cdot\mu\text{m)]} \quad (2.7)$$

przy czym: h - stała Plancka $\approx 6,626 \cdot 10^{-34}$ [J·s], k - stała Boltzmana $\approx 1,381 \cdot 10^{-23}$ [J/K], T - temperatura bezwzględna ciała czarnego [K], λ - długość fali [μm].

Równanie (2.7) nosi nazwę wzoru Plancka lub prawa Plancka. Wprowadzając oznaczenia:

$c_1 = 2\pi h c_0^2$ - pierwsza stała promieniowania (pierwsza stała Plancka),

$c_2 = hc_0 / k$ - druga stała promieniowania (druga stała Plancka),

wyrażenie (2.7) przyjmuje postać:

$$M_{\lambda}(T) = \frac{c_1 \cdot \lambda^{-5}}{e^{c_2/\lambda T} - 1} \quad (2.8)$$

gdzie: $c_1 = 3,7417749 \cdot 10^8$ [W·m²· μm^4], $c_2 = 4387,69$ [$\mu\text{m} \cdot \text{K}$]

Prawo Plancka łatwiej zrozumieć jeżeli dla różnej temperatury ciała czarnego przedstawimy je w postaci graficznej (rys. 2.9).

Jeżeli składnik $e^{c_2/\lambda T} \gg 1$ to wzór Plancka można uprościć.

$$M_{\lambda}(T) = \frac{c_1 \cdot \lambda^{-5}}{e^{c_2/\lambda T}} \quad (2.9)$$

Powyższy wzór dla $\lambda T < 3000$ [$\mu\text{m} \cdot \text{K}$] daje błędy mniejsze od 1% i nazywany jest wzorem Wiena. Różniczkując (2.8) względem λ i wyznaczając maksimum pochodnej otrzymujemy:

$$\lambda_{max} = \frac{2898}{T} \text{ [mm]} \quad (2.10)$$

Powyższe wyrażenie zwane jest prawem Wiena (lub prawem przesunięć Wiena) i określa długość fali, dla której widmowa egzytancja ciała czarnego osiąga maksimum. Podstawiając (2.10) do wzoru Plancka otrzymuje się:

$$M_{\lambda}(T) = 1,286 \cdot 10^{-15} T^5 \text{ [W/(cm}^2\cdot\mu\text{m)]} \quad (2.11)$$

Całkując wzór Plancka w granicach od $\lambda=0$ do $\lambda=\infty$, otrzymujemy całkowitą egzytancję (emitancję) ciała czarnego:

$$M_B = \sigma T^4 \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (2.12)$$

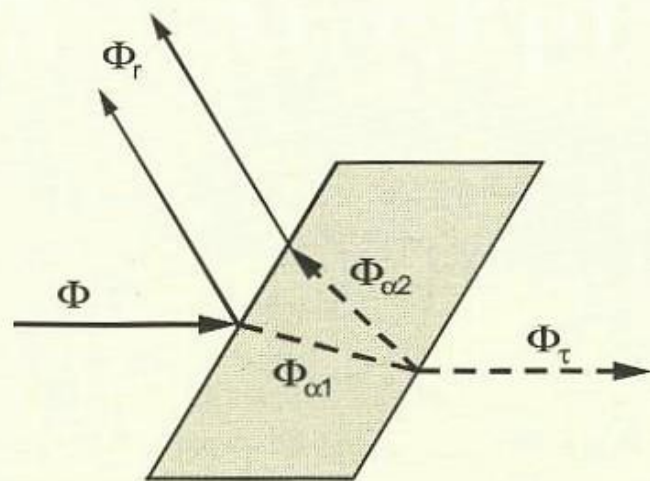
przy czym:

$$\sigma = \frac{\pi^4}{15} \cdot \frac{c_1}{c_2^4} = 5,66943 \cdot 10^{-8} \text{ [W/(m}^2\text{·K}^4\text{)]} - \text{stała Stefana-Boltzmana} \quad (2.13)$$

Jest to wzór Stefana-Boltzmana (od nazwisk Josefa Stefana, 1835-1893 i Ludwiga Boltzmana, 1844-1906), z którego wynika, że całkowita moc emitowana przez ciało czarne jest proporcjonalna do czwartej potęgi jego temperatury bezwzględnej. W interpretacji graficznej M_B to pole pod krzywą Plancka dla danej temperatury.

T_1	T_1	T_2	T_2	$dM=M_2/M_1=T_2^4/T_1^4$
[°C]	[K]	[°C]	[K]	[W/W]
0	273,15	38	311,15	1,68
20	293,15	38	311,15	1,27
36,6	309,75	38	311,15	1,02
20	293,15	170	443,15	5,22

Rozważania przedstawione w poprzednim podrozdziale dotyczyły wyidealizowanego ciała czarnego. W rzeczywistości (w przyrodzie) ciała stałe częściowo pochłaniają, częściowo odbijają i częściowo przepuszczają promieniowanie elektromagnetyczne (czyli promieniowanie ciepłe również).



Zakładając, że na powierzchnię ciała o określonej grubości pada strumień promieniowania Φ (ilość energii w jednostce czasu), z którego strumień Φ_α został pochłonięty, Φ_r odbity, Φ_τ przepuszczony, wprowadza się następujące określenia:

- współczynnik pochłaniania (absorpcji, ang. *absorptance*)
 $\alpha = \Phi_\alpha / \Phi$,
- współczynnik odbicia (refleksyjności, ang. *reflectance*)
 $r = \Phi_r / \Phi$ (2.14),
- współczynnik przepuszczania (transmisji, ang. *transmittance*)
 $\tau = \Phi_\tau / \Phi$.

Rys. 2.12. Rozkład strumienia promieniowania elektromagnetycznego Φ padającego na ciało częściowo przezroczyste

Zjawiska te ilustruje rys. 2.12, przy czym dla ciał częściowo przezroczystych występują wielokrotne wewnętrzne odbicia oraz związane z tym wielokrotne pochłanianie promieniowania. Wyróżnia się następujące wyidealizowane przypadki szczególne:

- $\alpha=1, r=0, \tau=0$ - ciało czarne (ang. *perfect blackbody*), tj. ciało, które pochłania całe padające nań promieniowanie,
- $r=1, \alpha=0, \tau=0$ - ciało białe (ang. *perfect mirror*), tj. ciało, które odbija całe padające nań promieniowanie,
- $\tau=1, \alpha=0, r=0$ - ciało przezroczyste (ang. *perfect transparent body*), tj. ciało, które przepuszcza całe padające nań promieniowanie.

Dla każdego przypadku słuszna jest zależność opisana prawem Kirchhoffa:

$$\alpha + r + \tau = 1 \quad (2.15)$$

Relacja ta jest również słuszna dla promieniowania monochromatycznego, stąd zależność:

$$\alpha_\lambda + r_\lambda + \tau_\lambda = 1 \quad (2.16)$$

Wartości współczynników α , r i τ zależą od rodzaju materiału i stanu jego powierzchni, zaś współczynników α_λ , r_λ , τ_λ dodatkowo od długości fali. Należy dodać, że czasami współczynniki te mogą zależeć także od temperatury.

Dla materiałów nieprzezroczystych współczynnik $\tau=0$ i równanie (2.16) upraszcza się do postaci:

$$\alpha_\lambda + r_\lambda = 1 \quad (2.17)$$

Jak wspomniano wcześniej, wszystkie ciała stałe, ciecze i gazy, których temperatura jest wyższa od zera bezwzględnego wysyłają promieniowanie cieplne. Jednak emitowany strumień promieniowania cieplnego jest zazwyczaj różny dla wielu ciał pomimo, że ich temperatura jest taka sama. Dzieje się tak dlatego, że każde ciało ma określoną zdolność do emitowania promieniowania, którą to zdolność charakteryzuje się współczynnikiem zwanym emisyjnością.

Emisyjność jest parametrem fizycznym charakteryzującym właściwości promienne ciał rzeczywistych. Wartość emisyjności obiektu zależy od jego parametrów fizyko-chemicznych. W szczególności są to: temperatura, skład chemiczny, stan fizyczny powierzchni (chropowatość, warstwy tlenków, fizyczne i chemiczne zanieczyszczenia). Większość z tych parametrów i cech fizycznych jest niepowtarzalna i charakterystyczna dla danego przedmiotu.

Oznacza to, że w przypadku technik pomiarowych opartych o wykorzystanie mocy promieniowania emitowanego przez obiekt, niepewność określenia emisyjności decyduje o niepewności całego pomiaru.

Pod względem zdolności do emitowania promieniowania, powierzchnie charakteryzowane są przez różnie zdefiniowane emisyjności.

Emisyjnością ε danego ciała dla całkowitego zakresu promieniowania, zwaną emisyjnością całkowitą (półprzestrzenną), nazywa się stosunek egzytancji $M(T)$ powierzchni danego ciała do egzytancji $M_B(T)$ ciała czarnego, znajdującego się w tej samej temperaturze:

$$\varepsilon = \frac{M(T)}{M_B(T)} \quad (2.18)$$

Stosunek gęstości widmowej egzytancji ciała do gęstości widmowej egzytancji ciała czarnego w tej samej temperaturze i dla tej samej długości fali nazywa się emisyjnością widmową (spektralną) - patrz rys. 2.13:

$$\varepsilon_\lambda = \frac{M_\lambda(\lambda, T)}{M_{B\lambda}(\lambda, T)} \quad (2.19)$$

Rozróżnia się trzy podstawowe rodzaje źródeł promieniowania, których egzytancja zależy od długości fali:

- ciało czarne, dla którego $\varepsilon_\lambda = \varepsilon = 1$,
- ciało szare, dla którego $\varepsilon_\lambda = \varepsilon = \text{const.} < 1$,
- ciało promieniujące selektywnie, dla którego ε zależy od długości fali.

Powyżej stwierdzono, że emisyjność zależy od temperatury i długości fali. Należy również pamiętać, że emisyjność jest zależna od kąta obserwacji, a jej wartość dla rzeczywistego obiektu może zmieniać się w czasie [1, 13, 21].

Można więc zapisać, że emisyjność ε danego ciała jest funkcją kąta obserwacji θ , długości fali λ , temperatury ciała T oraz czasu t :

$$\varepsilon = f(\theta, \lambda, T, t) \quad (2.20)$$

Zgodnie z prawem Kirchhoffa dla dowolnego ciała emisyjność widmowa i widmowy współczynnik pochłaniania (dla jednakowej temperatury i długości fali) są sobie równe, a zatem:

$$\varepsilon_{\lambda} = \alpha_{\lambda} \quad (2.21)$$

Należy zaznaczyć, że w przypadku promieniowania cieplnego, współczynnik pochłaniania jest równy emisyjności tylko wtedy, gdy promieniowanie to nie powoduje wzrostu temperatury ciała.

Dla ciała nieprzeźroczystego, zgodnie z (2.17) otrzymujemy:

$$\varepsilon_{\lambda} + r_{\lambda} = 1 \quad (2.22)$$

czyli inaczej:

$$\varepsilon_{\lambda} = 1 - r_{\lambda} \quad (2.23)$$

Ta ostatnia zależność jest szczególnie użyteczna, ponieważ często łatwiej jest zmierzyć współczynnik odbicia niż bezpośrednio zmierzyć emisyjność.

Dla ciał półprzezroczystych współczynnik emisyjności można przedstawić wzorem [19, 25]:

$$\varepsilon_{\lambda} = \frac{(1 - r_{\lambda})(1 - \tau_{\lambda})}{1 - r_{\lambda}\tau_{\lambda}} \quad (2.24)$$

W stanie równowagi termodynamicznej natężenie promieniowania emitowanego musi być równe natężeniu promieniowania pochłoniętego przez dane ciało. Zatem żaden inny obiekt o takiej samej temperaturze jak ciało czarne nie może wypromieniować więcej energii niż ciało czarne. Dla ciał rzeczywistych, we

wzorach na gęstość widmową egzytancji (2.7), (2.8) należy uwzględnić współczynnik emisyjności $\varepsilon(\lambda, T)$, który jest mniejszy od 1. Wzór Plancka przyjmie wtedy postać:

$$M_{\lambda}(\lambda, T) = \frac{\varepsilon(\lambda, T) \cdot c_1}{\lambda^5 \cdot \left[\exp\left(\frac{c_2}{\lambda \cdot T}\right) - 1 \right]} \quad (2.25)$$

Na rys. 2.14 przedstawiono charakterystyki gęstości widmowej egzytancji, odpowiednio dla ciała czarnego, szarego oraz promieniującego selektywnie.

Po scałkowaniu wzoru (2.25) względem długości fali λ w granicach $0 \div \infty$, otrzymuje się zależność opisującą egzytancję ciała rzeczywistego zgodnie z prawem Stefana-Boltzmann'a:

$$M(T) = \frac{\pi^4}{15} \frac{c_1}{c_2^4} \cdot \varepsilon(T) \cdot T^4 = \varepsilon(T) \cdot \sigma \cdot T^4 \quad (2.26)$$

Emisyjność ma prostą interpretację fizyczną, natomiast praktyka dowodzi, że jest to parametr trudny do określenia (pomiaru), ponieważ emisyjność zależy od wielu czynników. Dokładność określenia emisyjności determinuje dokładność termowizyjnych pomiarów temperatury. Z tego względu prowadzone były - i są nadal - badania emisyjności różnych materiałów i powierzchni, a także jej modelowanie [23].

Mimo, że emisyjność zależy od wielu czynników, to w literaturze podawane są zazwyczaj wartości emisyjności całkowitej w kierunku normalnym (dla danej temperatury i długości fali). Rzadziej zamieszczane są informacje o temperaturowej zależności emisyjności $\varepsilon(T)$ - rys. 2.15.

Dla ciała ludzkiego (skóry) emisyjność ma współczynnik bliski jedności, podobnie jest dla typowych tkanin ubraniowych. Na rys. 2.16 przedstawiono zmiany emisyjności w funkcji długości fali dla różnych tkanin. Na rysunku zmiany są widoczne, lecz dla kamer termowizyjnych tak niewielkie zmiany (poniżej 1%) mają mały wpływ na dokładność pomiaru temperatury.

W wielu podręcznikach i katalogach podaje się wartość emisyjności w postaci tabelarycznej. Do niedawna najczęściej były publikowane dane o emisyjności dla pirometrii optycznej. Emisyjność wyznaczano dla długości fali $\lambda=650$ nm. Publikowane dane o emisyjności widmowej są niepełne i najczęściej dotyczą fragmentu widma optycznego związanego z jakąś aplikacją opisywaną przez autorów.

Wyznaczanie emisyjności obiektu. Najdokładniejsze wyniki pomiaru widmowej emisyjności kierunkowej danego materiału można uzyskać przez pomiar współczynnika odbicia za pomocą specjalistycznej, drogiej aparatury pomiarowej (np. fourierowskiego spektrometru podczerwieni). Przy pomiarach temperatury za pomocą pirometrów lub kamer termowizyjnych uwzględnia się w nastawach wartość średnią emisyjności monochromatycznej w kierunku normalnym do powierzchni w przedziale widmowym, w którym pracuje dany przyrząd pomiarowy. Wielkość ta dla przedziału widmowego λ_1 - λ_2 jest opisywana zależnością:

$$\bar{\varepsilon}(\lambda_1, \lambda_2, T) = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \varepsilon(\lambda) \cdot M_\lambda(\lambda, T) \cdot d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} M_\lambda(\lambda, T) \cdot d\lambda} \quad (2.27)$$

gdzie: $M_\lambda(\lambda, T)$ - gęstość widmowa egzytancji energetycznej ciała doskonale czarnego,

Znane są metody wyznaczania uśrednionej emisyjności materiałów z zastosowaniem kamer termowizyjnych. W celu wyznaczenia przybliżonej wartości emisyjności obiektu należy:

- nakleić na badany obiekt materiał o znanej emisyjności i dobrze przewodzący ciepło lub pomalować go specjalną farbą o znanej, wysokiej emisyjności - uzyskuje się punkt (obiekt) odniesienia,
- podgrzać obiekt do temperatury wyższej przynajmniej o 50°C od temperatury otoczenia,
- ustawić punkt pomiarowy kamery na obiekcie w miejscu gdzie znajduje się obszar pomalowany farbą o znanej emisyjności i odczytać temperaturę obiektu odniesienia,
- skierować punkt pomiarowy kamery poza zamalowany obszar,
- tak dobierać nastawę emisyjności, aby kamera wskazywała taką samą temperaturę jak w punkcie odniesienia.

Podobna metoda polega na wyznaczeniu emisyjności obiektu z zastosowaniem stykowych metod pomiaru temperatury. Należy tak dobierać wartość emisyjności w kamerze, aby wskazała taką samą temperaturę jaką uzyskano stosując metodę stykową. Inna metoda pomiaru temperatury obiektu polega na nawierceniu w nim otworu o głębokości co najmniej sześć razy większej od średnicy. Taki otwór można traktować jak ciało czarne.

Do pomiaru uśrednionej emisyjności (w zadanym paśmie) można wykonać miernik emisyjności o schemacie blokowym przedstawionym na rys. 2.17.

Pomiar polega na tym, że modulowane promieniowanie podczerwone, wysyłane przez promiennik podczerwieni, po przejściu przez płytkę dzielącą (płytką krzemową lub germanową) odbija się od badanej powierzchni i poprzez filtr oraz soczewkę pada na detektor. Wartość sygnału z detektora jest proporcjonalna do współczynnika odbicia badanej powierzchni, a zastosowany odbiór synchroniczny znacznie polepsza stosunek sygnału do szumu i zwiększa rozdzielczość miernika. Do wzorcowania (kalibracji) miernika są stosowane płytki wzorcowe o znanej emisyjności.

Jak wcześniej wspomniano współczynnik emisyjności oraz luminancja energetyczna obiektu (patrz wzór 2.4) zależą od kąta obserwacji. W pomiarach termowizyjnych można więc zaobserwować pozorne różnice temperatury dla obiektu wykonanego z tego samego materiału i znajdującego się w jednakowej temperaturze (rys. 2.18). Mapa rozkładu temperatury na monecie, skorelowanego z widocznymi wypukłościami, jest równocześnie mapą rozkładu emisyjności.

Modele emisyjności widmowej. Nie ma jednego, uniwersalnego modelu emisyjności. Proponowane modele wynikają albo z teorii fizycznych albo obserwacji eksperymentalnych, na podstawie których są opracowywane formalne modele matematyczne. Podstawowym równaniem modelu fizycznego jest równanie opisujące emisyjność spektralną wynikające z teorii Maxwella. Równanie to jest modyfikowane przez wielu autorów, lecz te modyfikacje nie mają praktycznego zastosowania, ponieważ dotyczą ogólnego modelu ciała stałego. Ponadto, określenie stałych występujących w równaniach jest wyjątkowo trudne.

Praktycznie wykorzystywane są modele emisyjności związane z prawem Hagena-Rubensa dla emisyjności metali. Z elektrodynamiki wynika, że dla metali w zakresie promieniowania długofalowego emisyjność zależy od oporności powierzchniowej i częstotliwości (długości fali) promieniowania elektromagnetycznego:

$$\varepsilon(\lambda) = \sqrt{\frac{8\pi \cdot r}{\lambda \mu_0 c_0}} \equiv \frac{0,365 \cdot \sqrt{r}}{\sqrt{\lambda}} \quad (2.28)$$

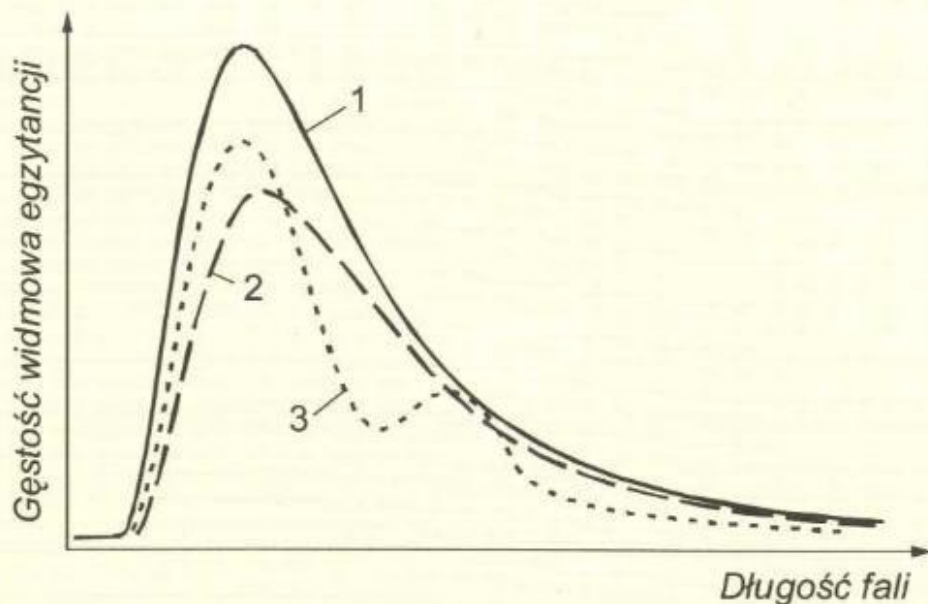
gdzie: r - oporność powierzchniowa [$\Omega \text{mm}^2/\text{m}$], c_0 - prędkość światła w próżni, μ_0 - przenikalność magnetyczna próżni.

Emisyjność większości metali jest dość dobrze zgodna z zależnością (2.28) dla promieniowania o długości fal $\lambda > 10 \mu\text{m}$. Dla promieniowania w zakresie średniej podczerwieni, o długości fali $5 \mu\text{m} < \lambda < 10 \mu\text{m}$ stosowana jest zależność empiryczna:

$$\varepsilon(\lambda) = 0,365 \cdot \sqrt{\frac{r}{\lambda}} - 0,0667 \cdot \frac{r}{\lambda} + 0,0091 \cdot \sqrt[3]{\frac{r}{\lambda}} \quad (2.29)$$

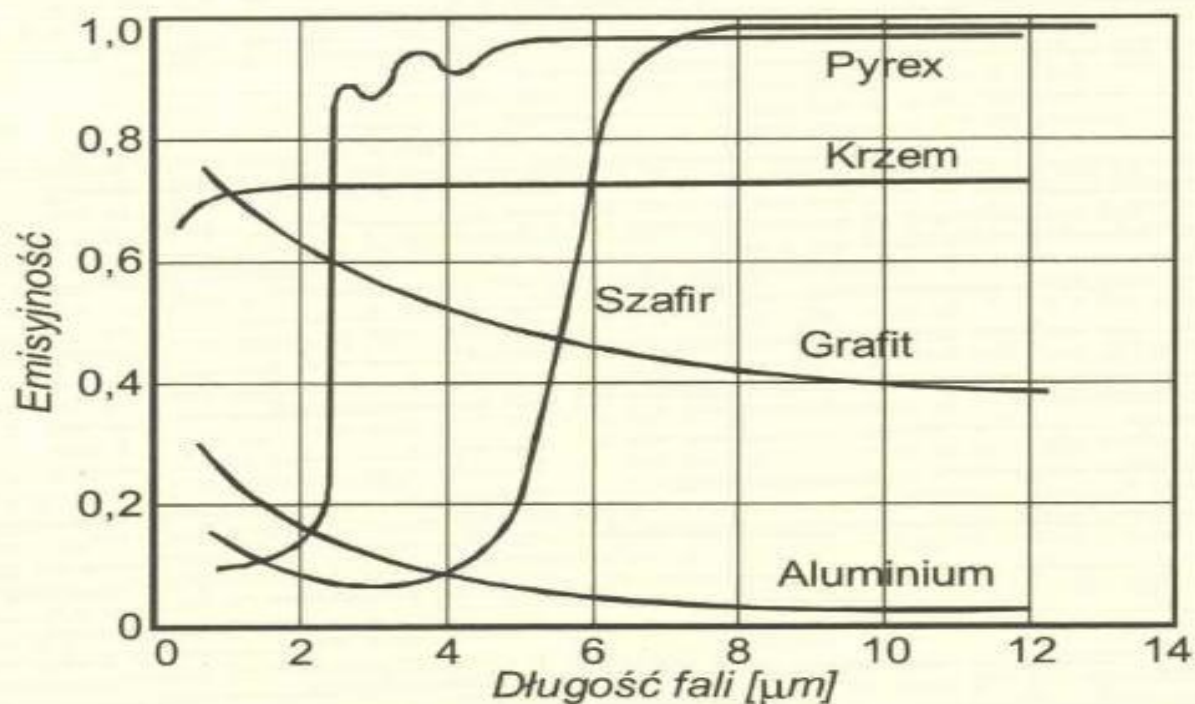
Emisyjność, podobnie jak każdą wielkość fizyczną, można opisać funkcją aproksymującą dane pomiarowe w pewnym zakresie widmowym. Postać przyjętej funkcji aproksymującej zależy zarówno od wartości emisyjności, temperatury i charakteru jej zmian, jak również możliwości wyznaczenia parametrów tej funkcji.

Więcej informacji na temat emisyjności większości materiałów występujących w przyrodzie można znaleźć w literaturze [1, 10, 13, 16, 23, 24].



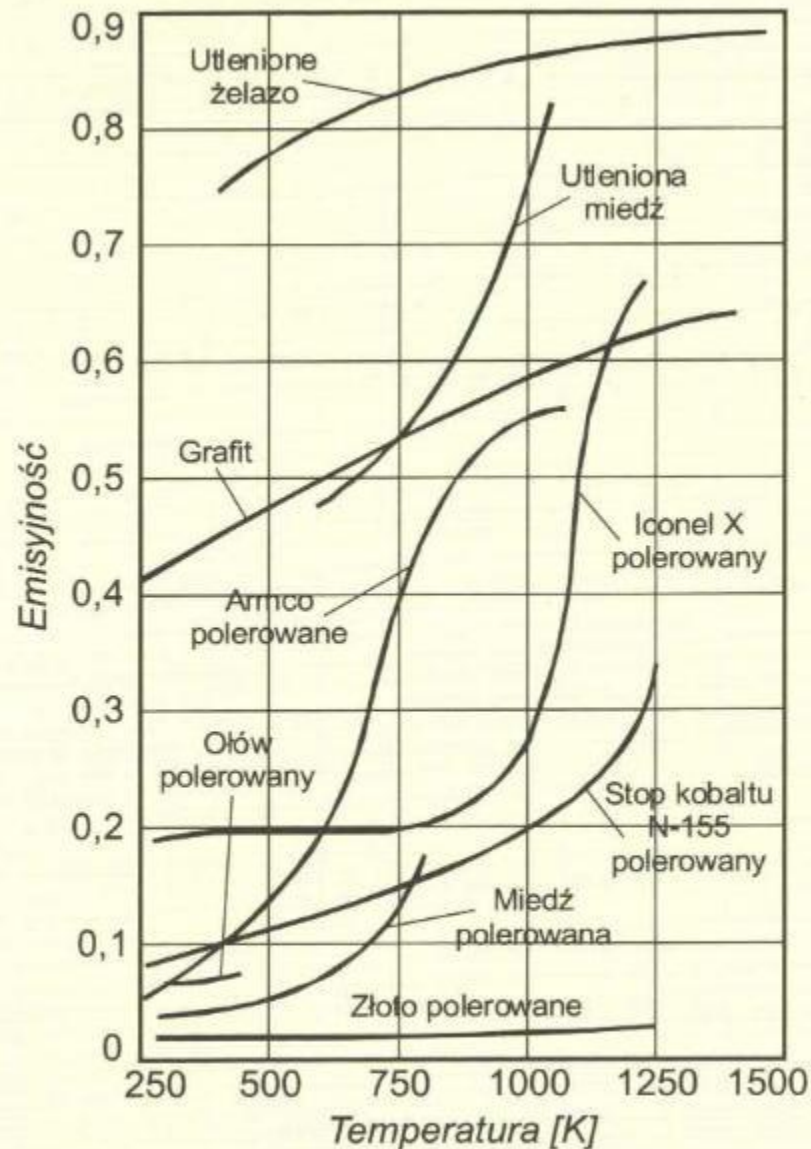
Rys. 2.14. Gęstość widmowa egzytancji dla ciała czarnego (1), szarego (2) oraz promieniującego selektywnie (3)

Teoretyczne określenie współczynnika emisyjności jest bardzo trudne w praktyce pomiarowej. Zależy od wielu zmiennych. Np. od długości emitowanej fali promieniowania elektromagnetycznego.



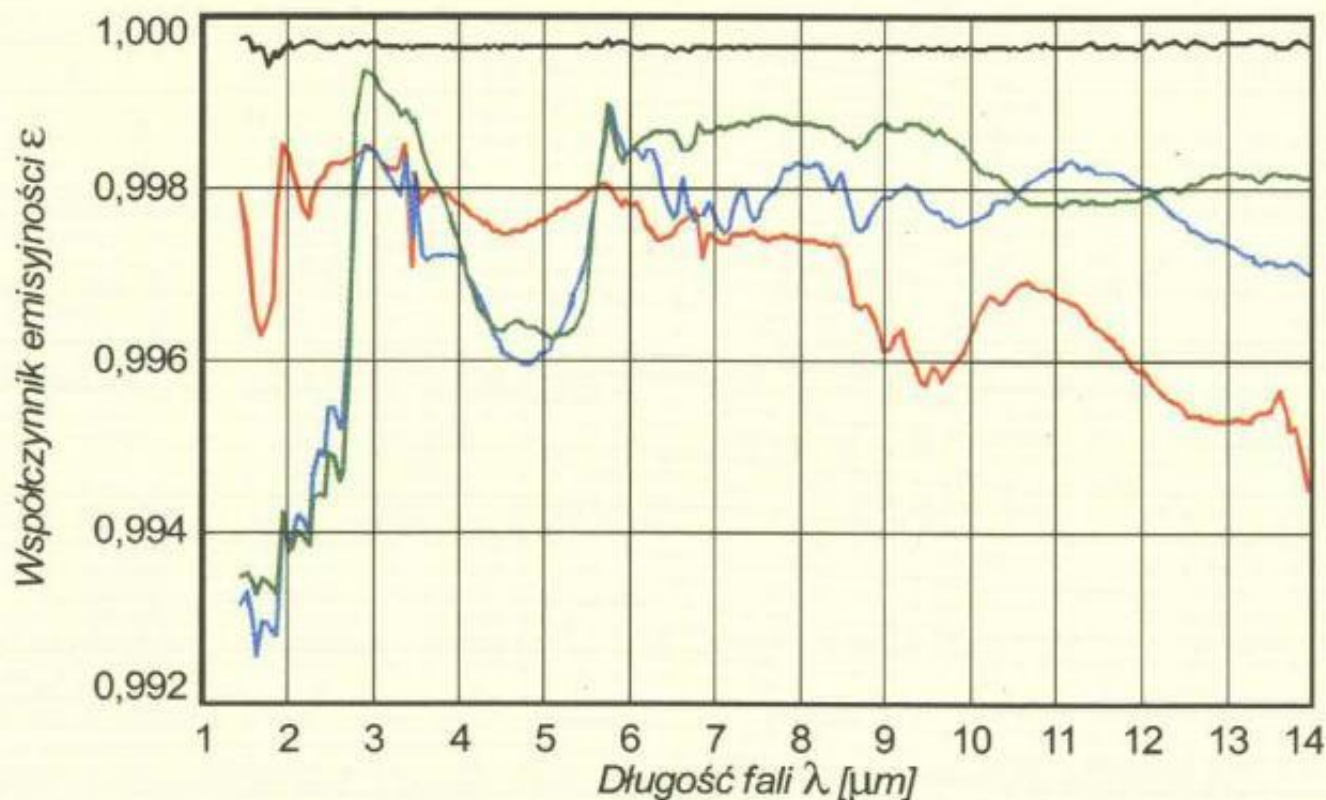
Rys. 2.13. Zmiany emisyjności w funkcji długości fali dla wybranych materiałów

Współczynnik
emisyjności zależy
też od
temperatury ...



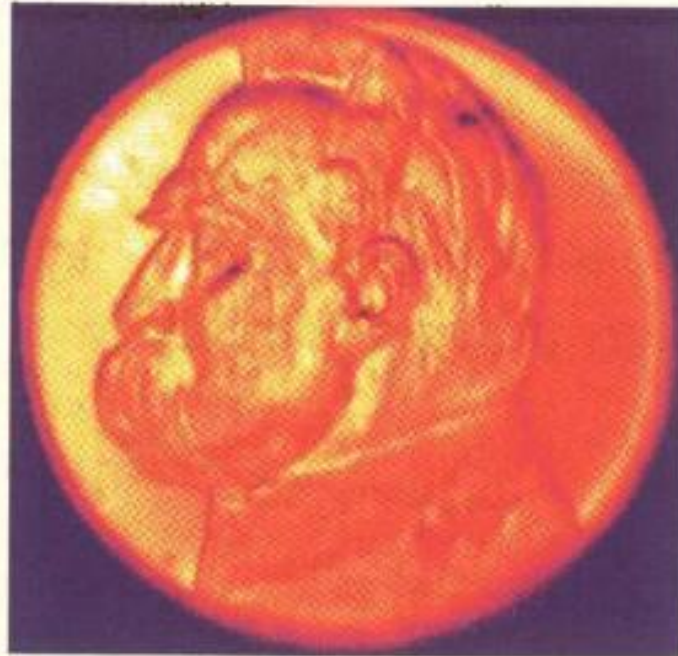
Rys. 2.15. Zmiany emisyjności w funkcji temperatury dla wybranych materiałów

... oraz od rodzaju materiału emitującego falę elektromagnetyczną.



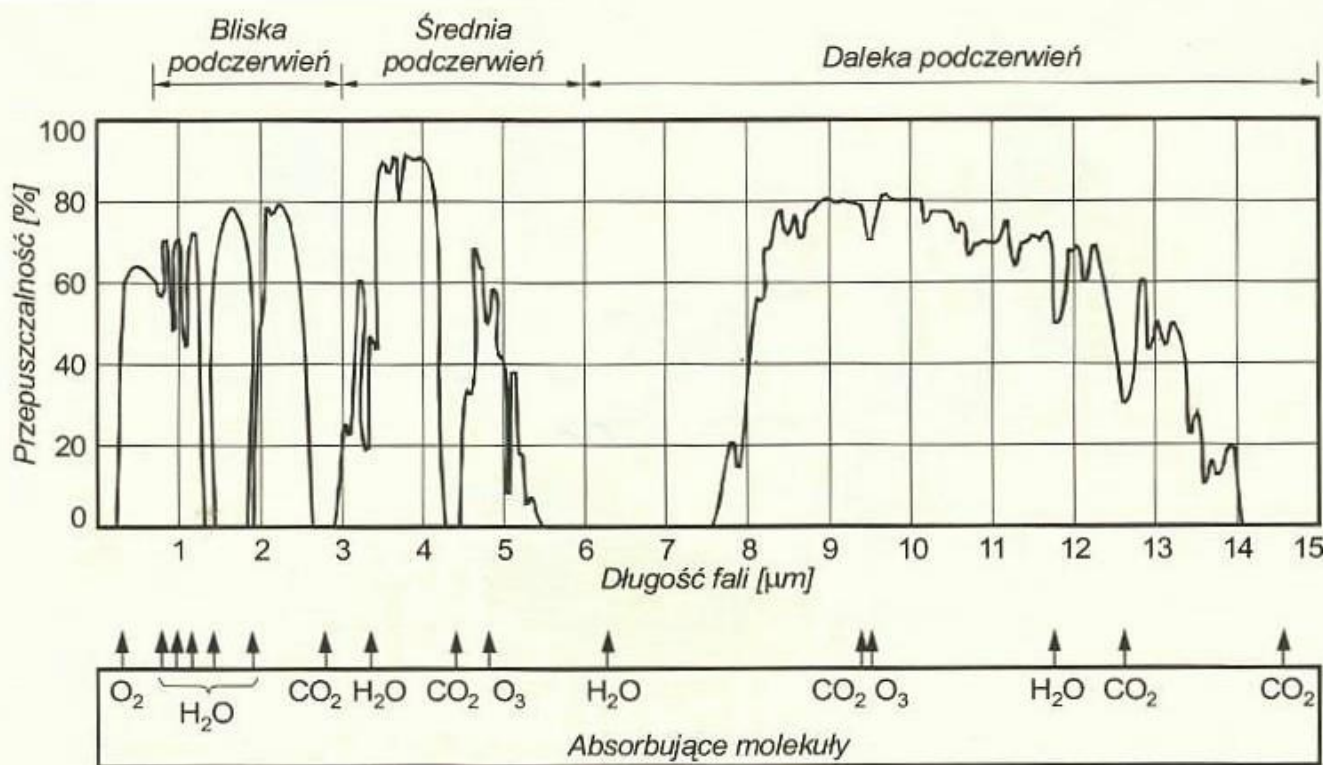
Rys. 2.16. Widmowy współczynnik emisyjności $\varepsilon(\lambda)$ różnych tkanin i skóry ludzkiej (wykres koloru czarnego)

Kierunek obserwacji też ma znaczenie.



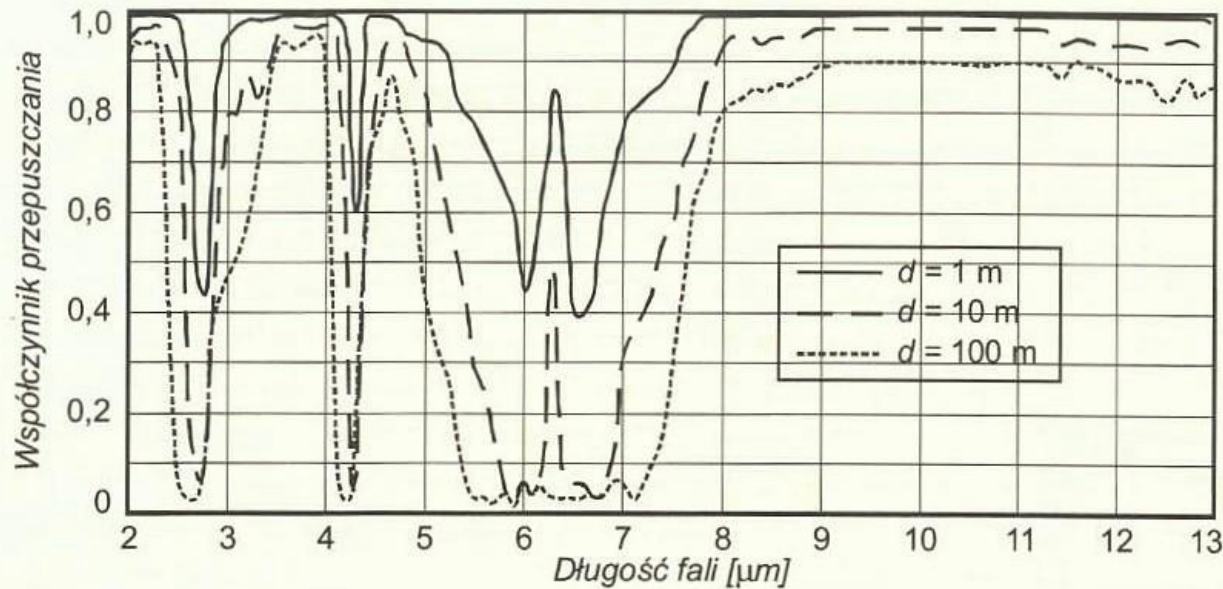
Rys. 2.18. Termogram monety o równomiernej temperaturze ilustrujący wpływ kierunku obserwacji

Kamera termograficzna to narzędzie mierzące natężenie promieniowania elektromagnetycznego w jakimś zakresie fali docierającej do detektora o pewnej czułości.



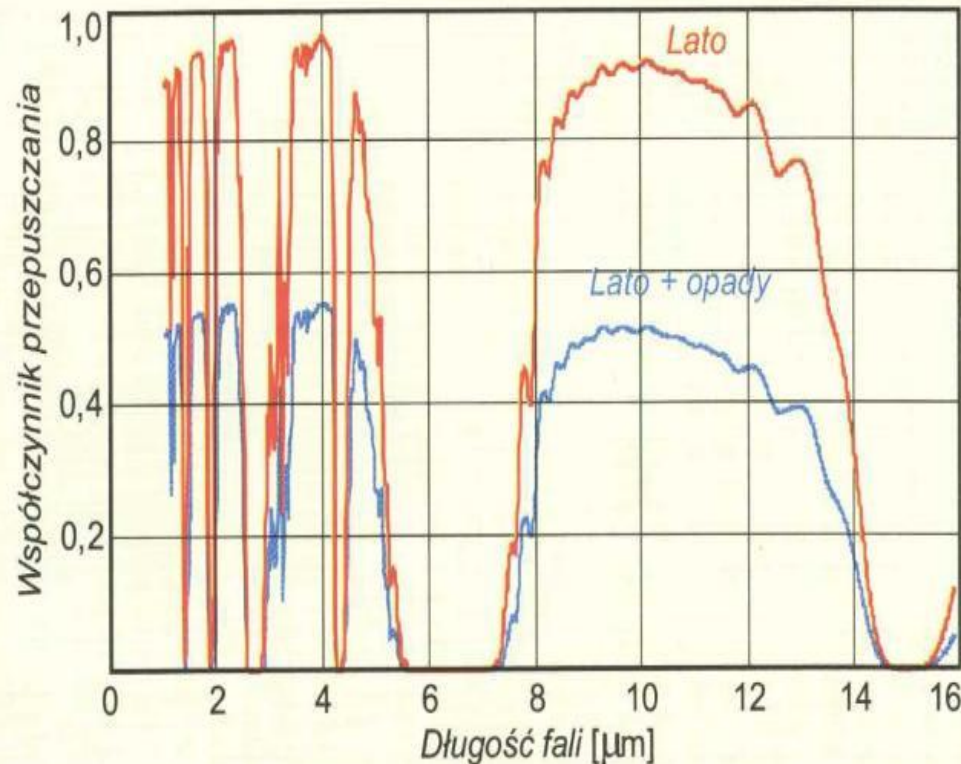
Rys. 2.19. Przepuszczalność atmosfery na poziomie morza (dla odległości 1 mili morskiej) oraz schematyczne położenie pasm absorpcji dla wybranych cząsteczek [5]

Typowe zakresy pomiarowe odpowiadają tzw. oknom atmosfery ziemskiej, mieszczącym się w zakresie od 3 do 5 μm oraz od 7,5 do 13 μm .



Rys. 2.20. Zmiany wartości współczynnika widmowej przepuszczalności atmosfery dla różnej grubości warstwy atmosfery (odległości obiekt-kamera) [11, 22, 23]

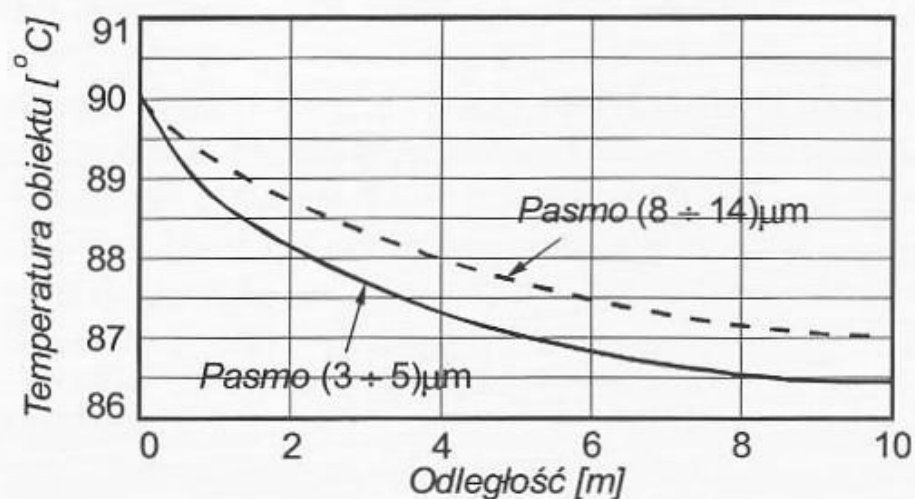
Przepuszczalność atmosfery jest również zmienna w funkcji zawartości wilgoci i wody.



Rys. 2.21. Widmowy współczynnik przepuszczalności atmosfery wyznaczony według modelu Midlatitude Summer, dla terenu zbudowanego, przy widzialności optycznej 5 km, temperaturze 294 K, dla odległości 300 m, przy opadach 12,5 mm/h

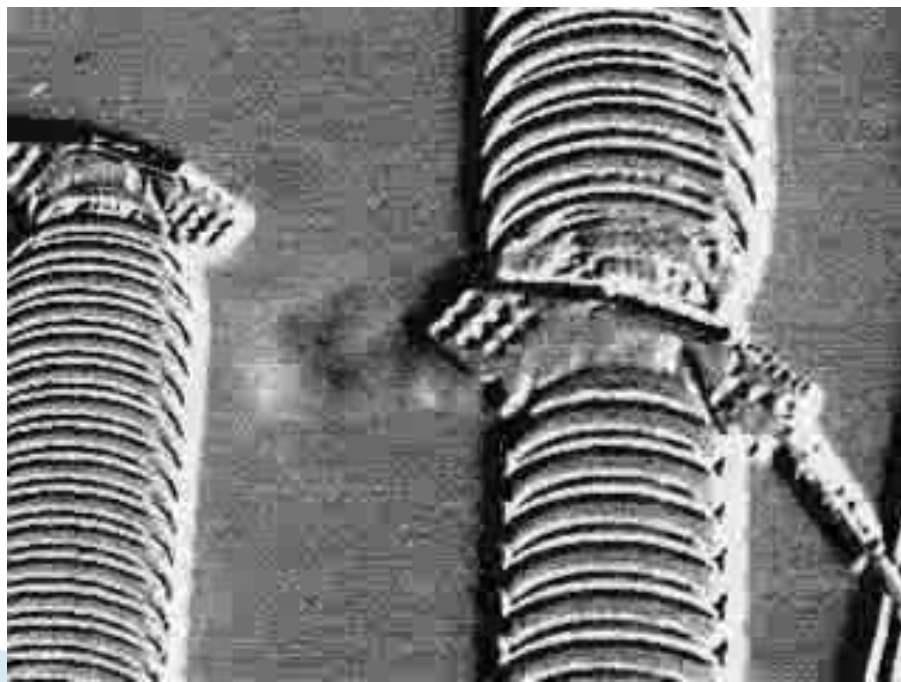
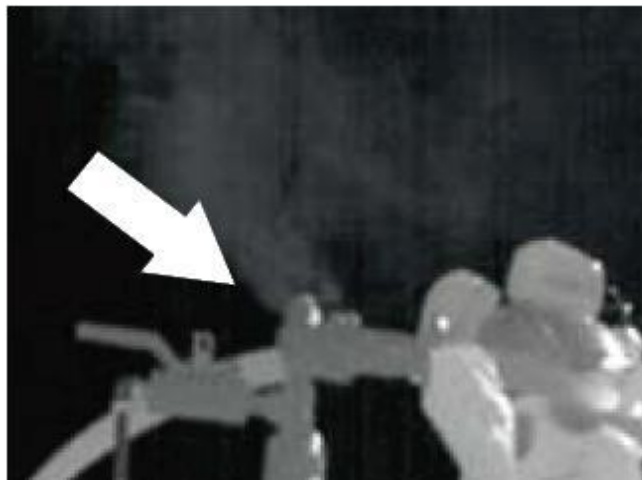
Kamery termowizyjne do zadań pomiarowych czyli kamery termograficzne dlatego konstruowane są na zakres promieniowania elektromagnetycznego od 8 do 14 mikrometrów.

Ten zakres promieniowania jest stosunkowo najmniej zniekształcany przez atmosferę ziemską.



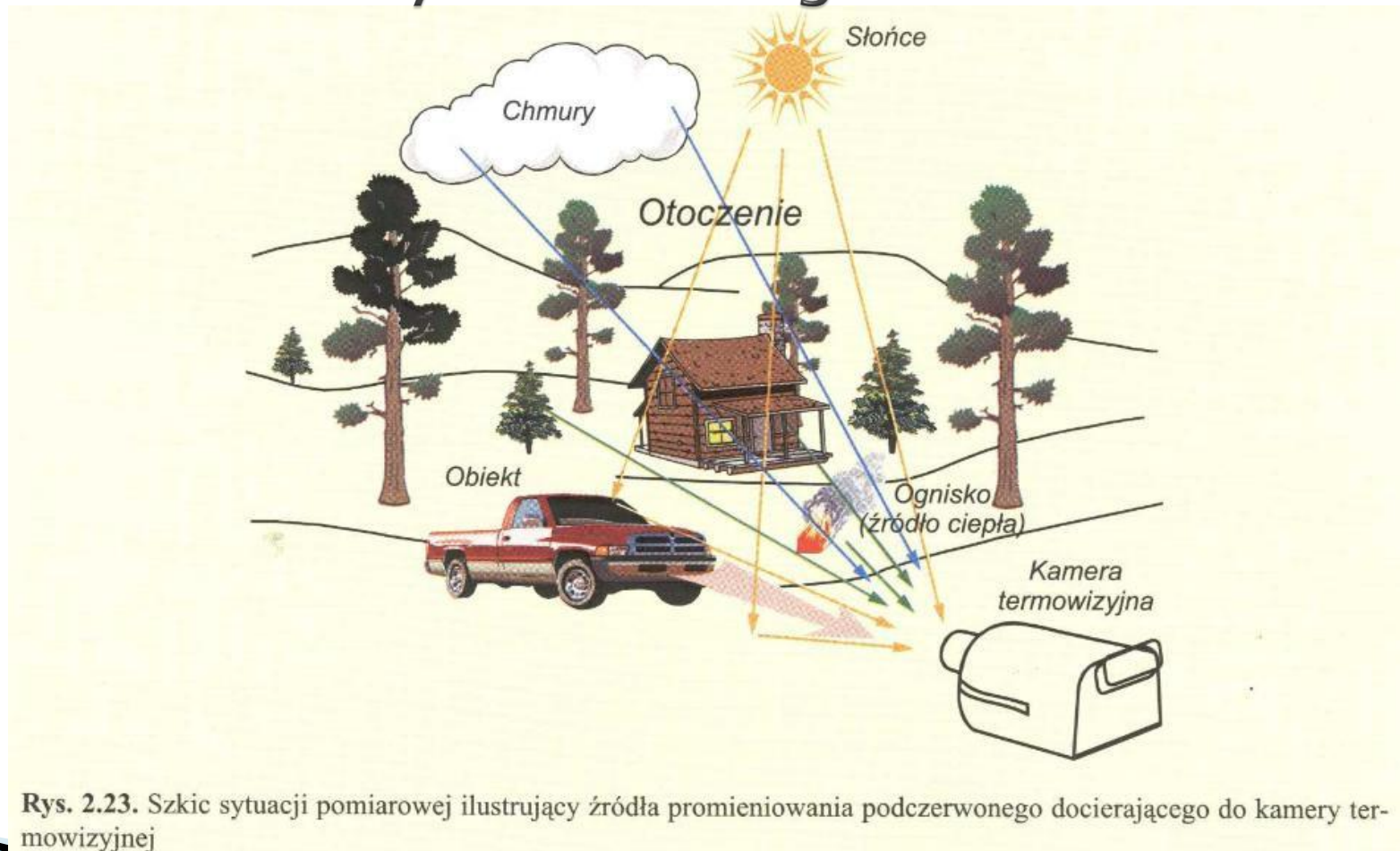
Rys. 2.22. Wyniki przeliczenia spadku temperatury obiektu wraz ze wzrostem odległości kamera-obiekt dla kamer długofalowych i krótkofalowych [10]

Inne typy kamer mogą to zjawisko tłumienia wykorzystywać do wykrywania obecność niektórych gazów np. szesciofluorku siarki SF₆



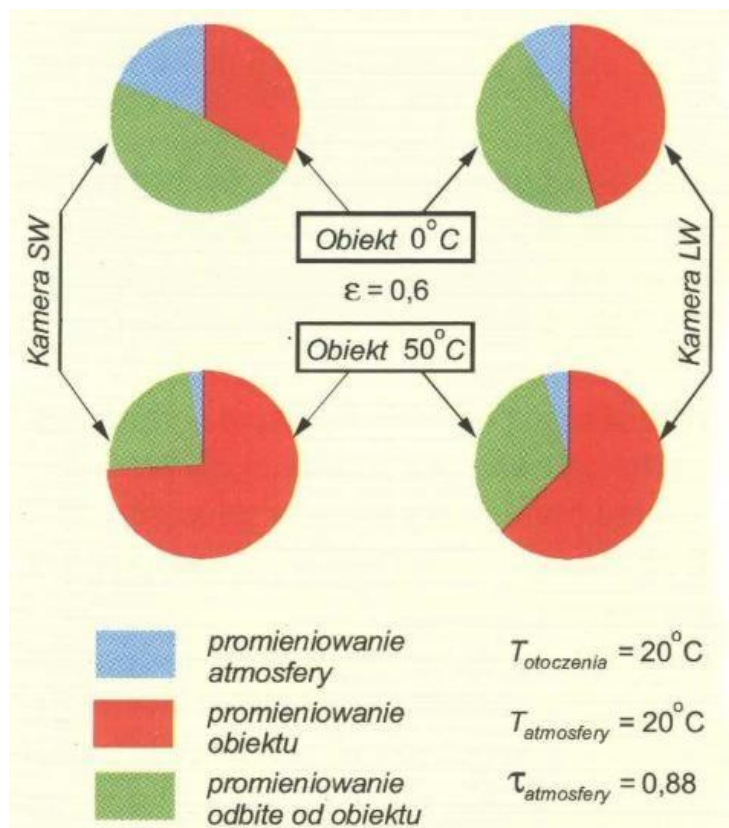
Praktyka pomiarowa.

Co wpływa na jakość pomiaru termowizyjnego czyli na termogram.



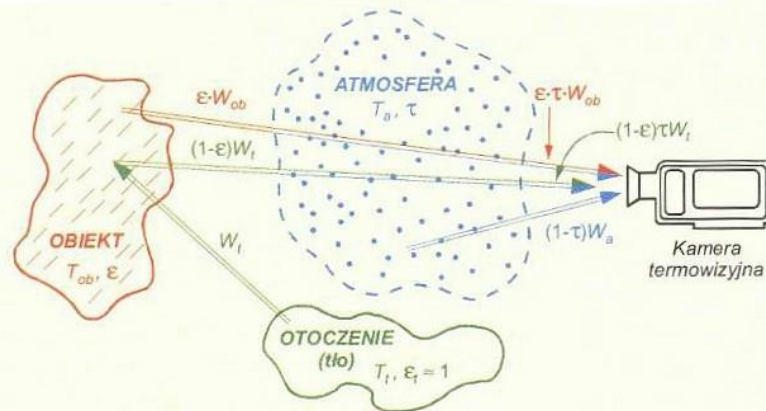
Im wyższa temperatura obiektu mierzonego tym mniejsze znaczenie środowiskowych parametrów pomiaru:

- emisyjność obiektu mierzonego;
- temperatura powietrza otoczenia obiektu;
- odległość między obiektem a kamerą;
- względna wilgotność atmosfery;
- temperatura elementów optycznych kamery;
- współczynnik transmisji zewnętrznych elementów optycznych;
- temperatura i współczynnik transmisji atmosfery.

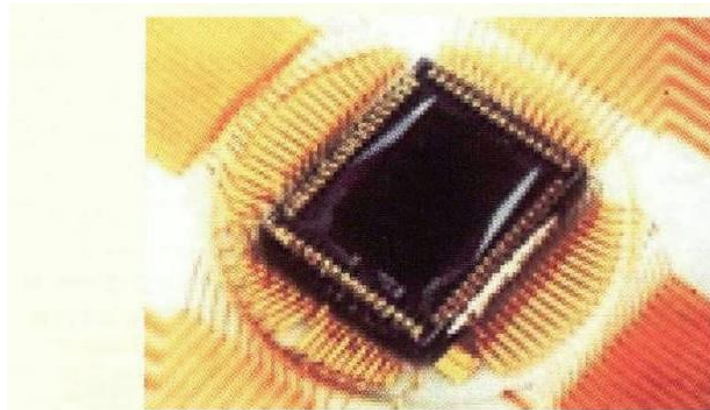


Rys. 2.25. Względne wartości składowych trzech źródeł promieniowania podczerwonego docierającego do kamery SW i LW od dwóch obiektów o tej samej emisyjności, lecz różnej temperaturze

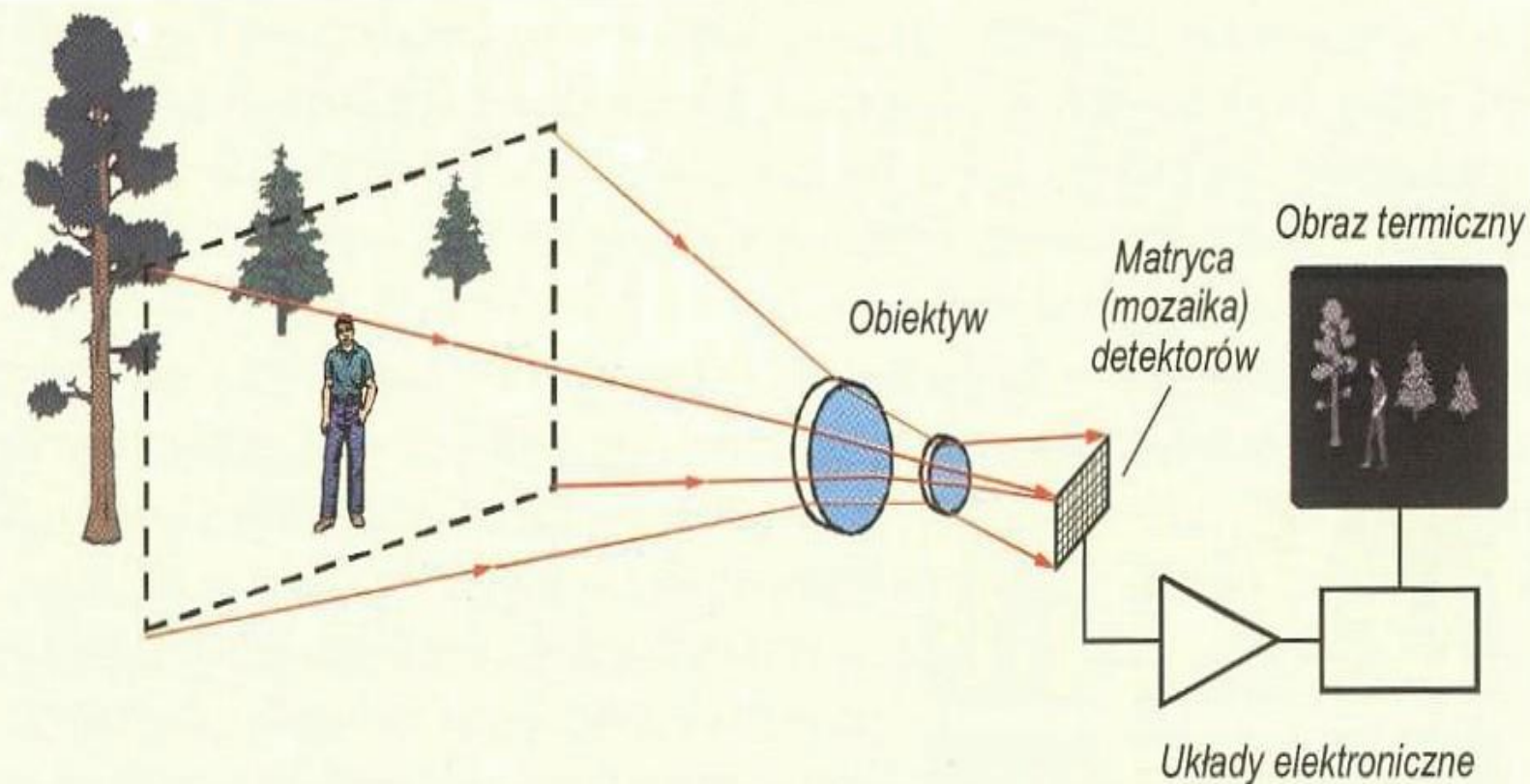
Podstawowe parametry techniczne kamer termograficznych.



Rys. 2.26. Źródła promieniowania podczerwonego w pomiarach termograficznych przyjęte w algorytmie wyznaczenia temperatury w kamerach firmy FLIR Systems AB.

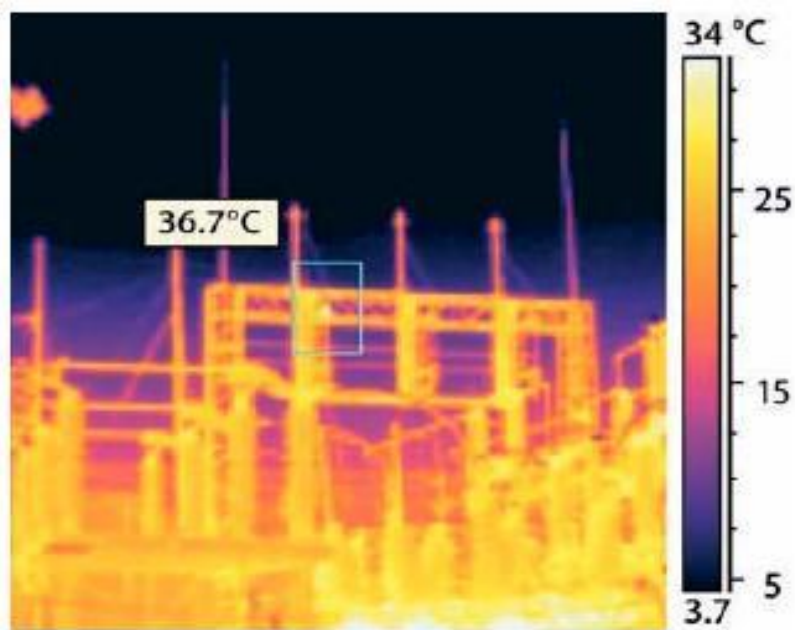


Rys. 3.1. Matryca detektorów podczerwieni oraz widok miniaturowego zespołu chłodzenia (z zamontowanym detektorem)

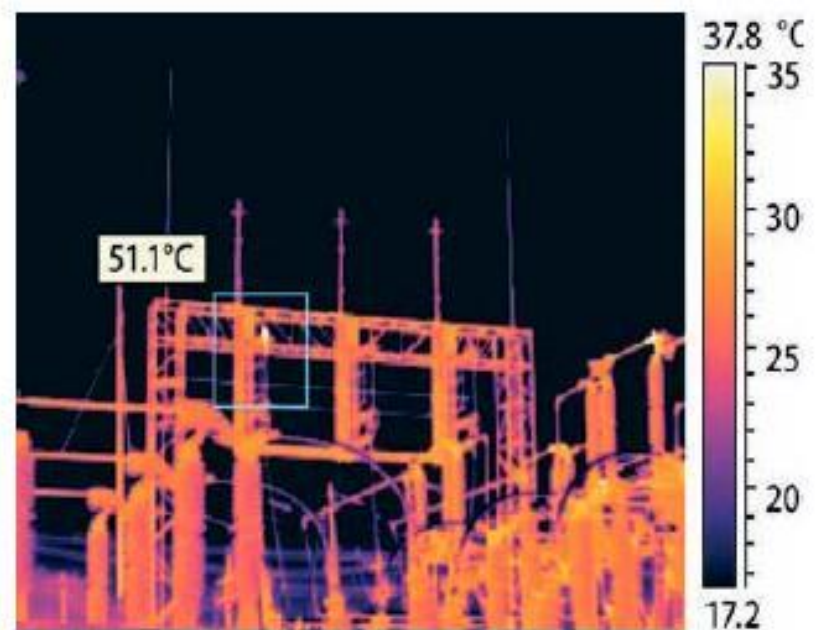


Rys. 3.7. Zasada tworzenia obrazu termicznego w kamerze termowizyjnej z matrycą detektorów

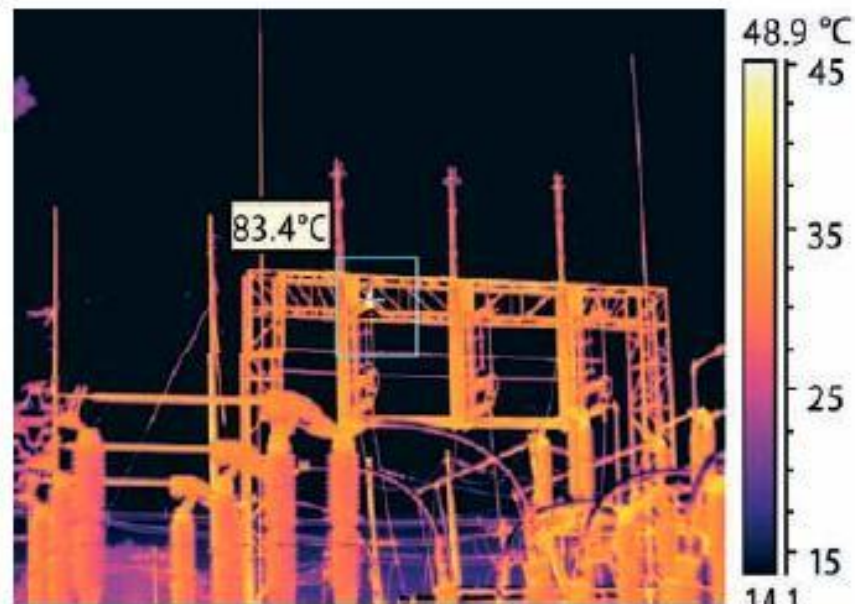
Mnogość typów kamer oraz różne sposoby prezentacji ich parametrów powodują, że porównanie sprzętu na bazie danych producentów nie jest łatwe.



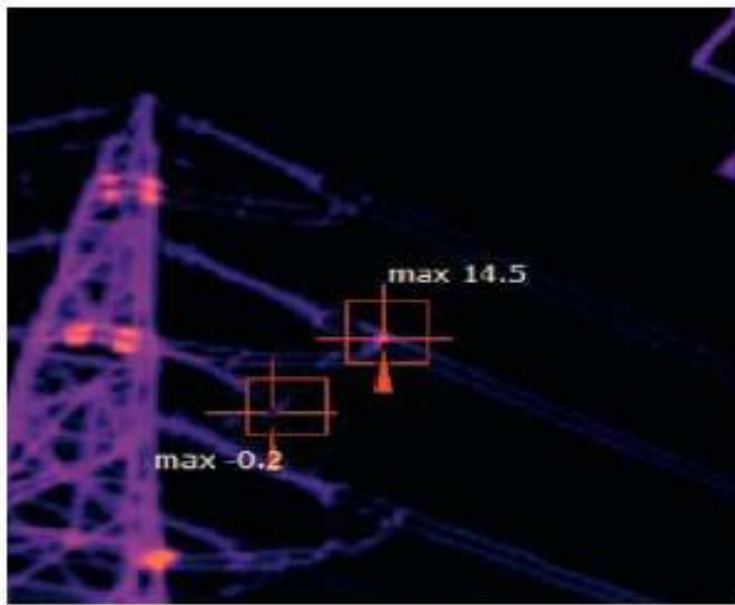
120x120 pikseli



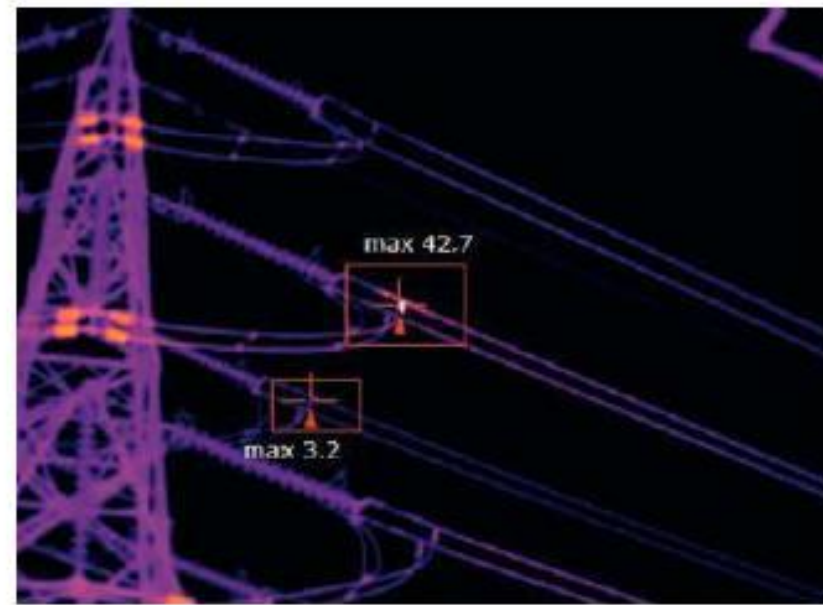
320x240 pikseli



640x480 pikseli



120x120 pikseli

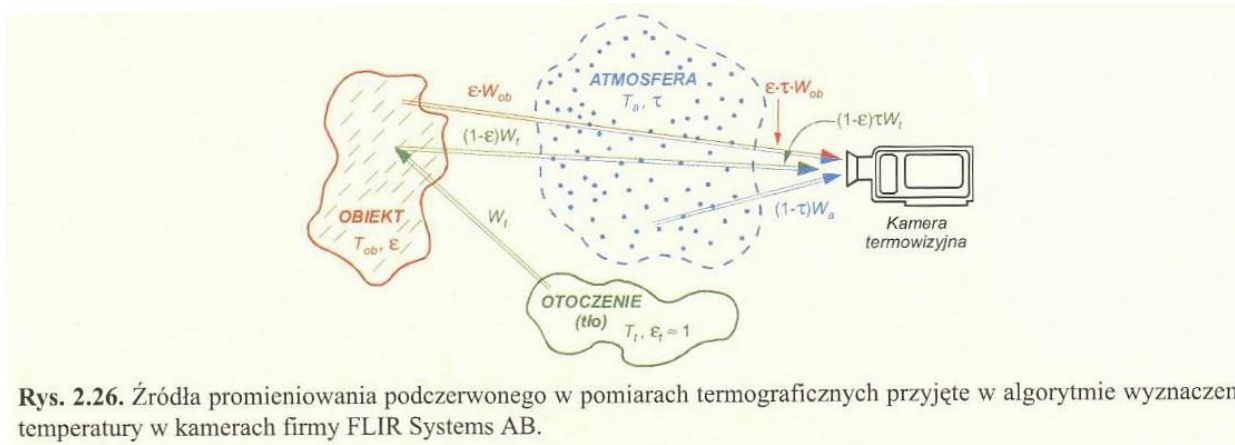


320x240 pikseli



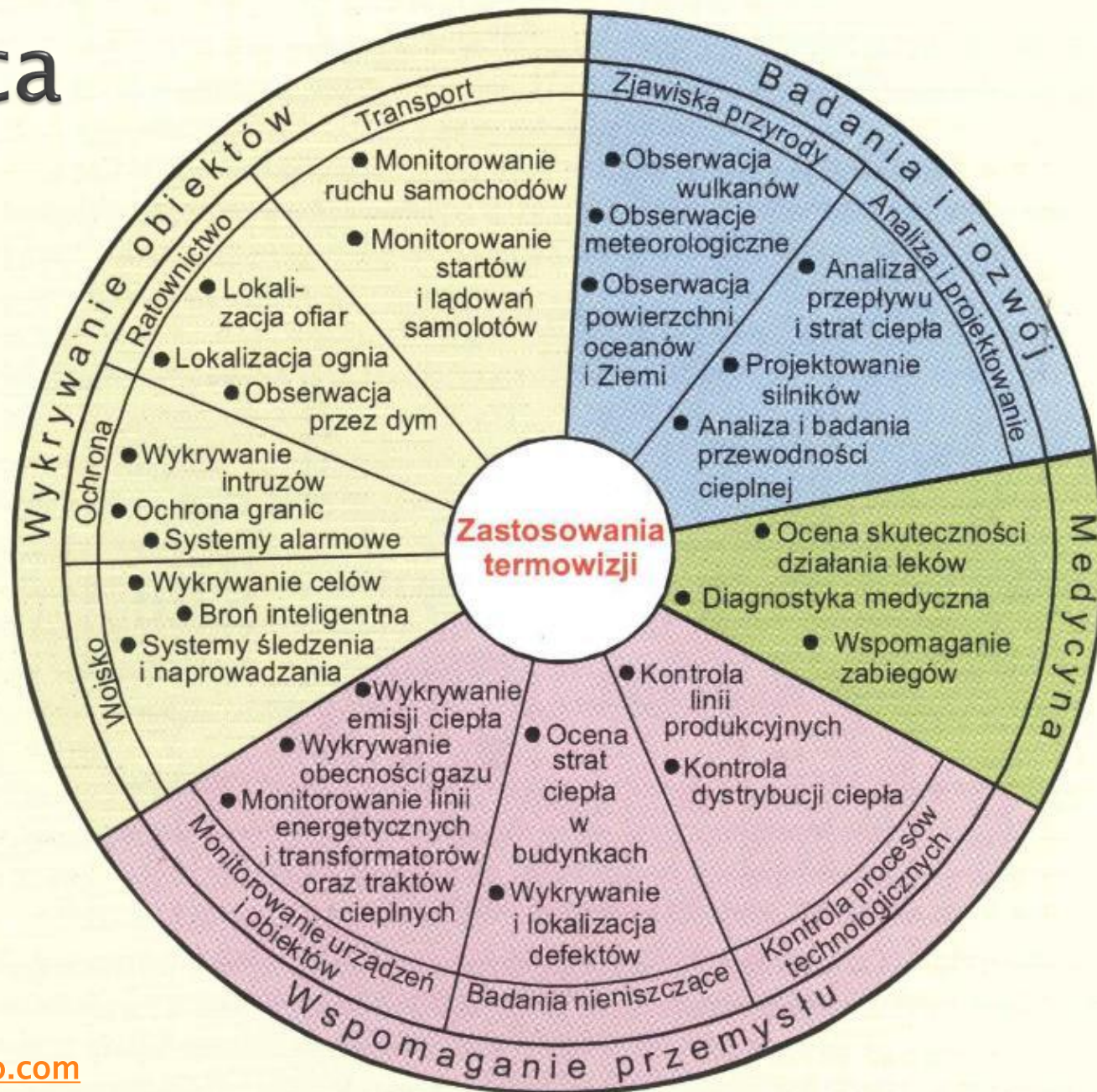
640x480 pikseli

Praktyczne dane określające przydatność kamery termograficznej.

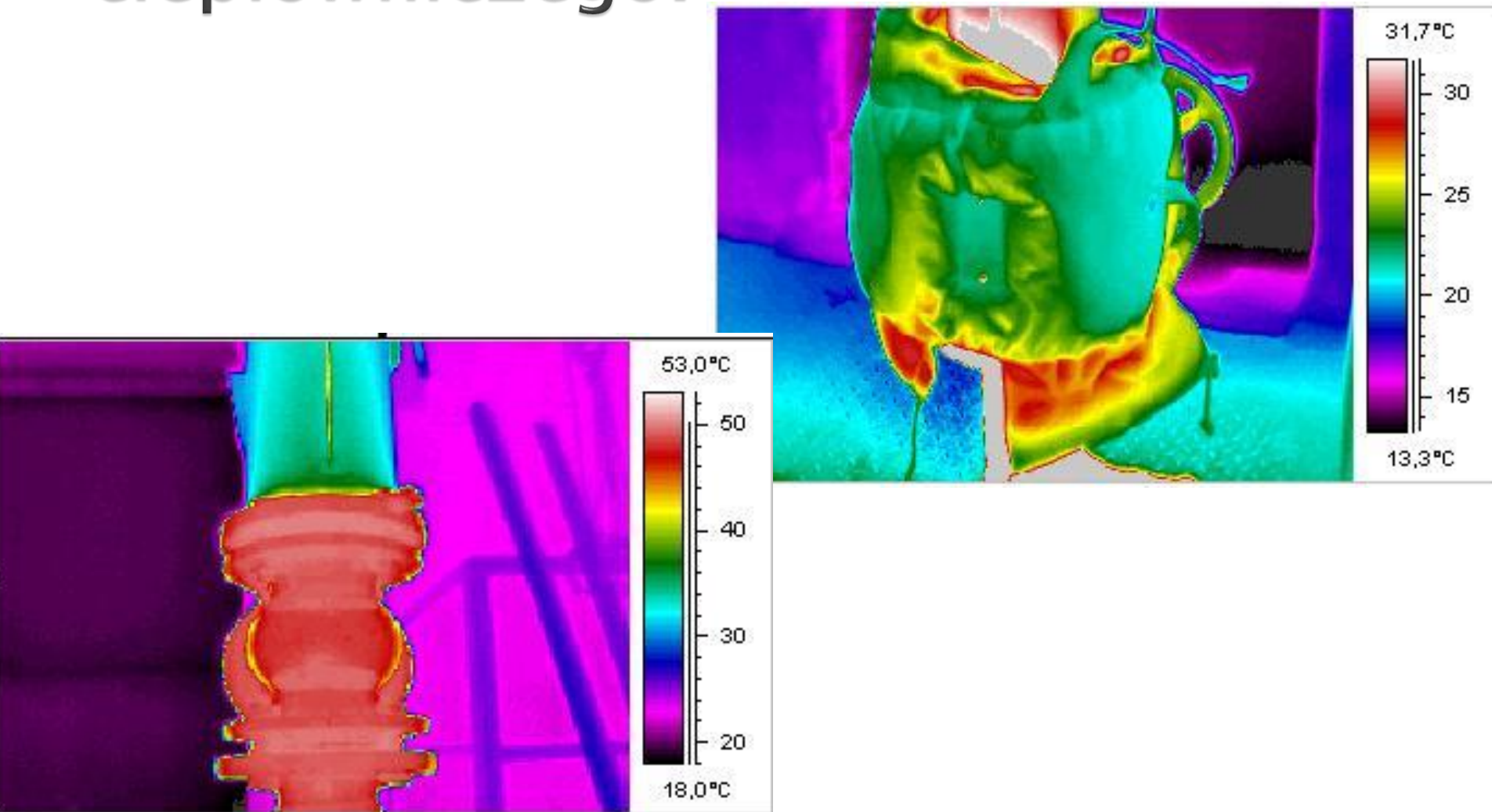


1. Zakres temperaturowy;
2. Rozdzielczość temperaturowa;
3. Rozdzielczość kątowna;
4. Klasa dokładności pomiarowej;
5. Kąty widzenia detektora i optyki;
6. Czas pracy na jednym komplecie akumulatorów;
7. Waga zestawu pomiarowego.

Praca

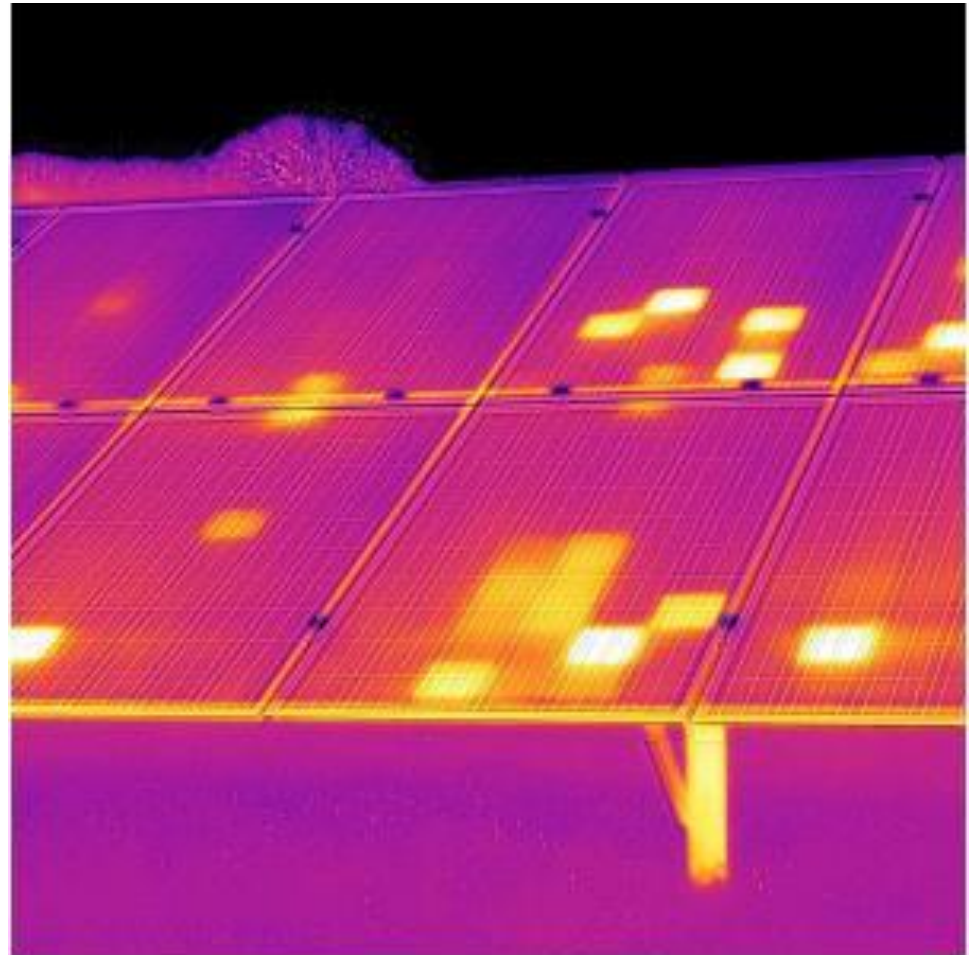
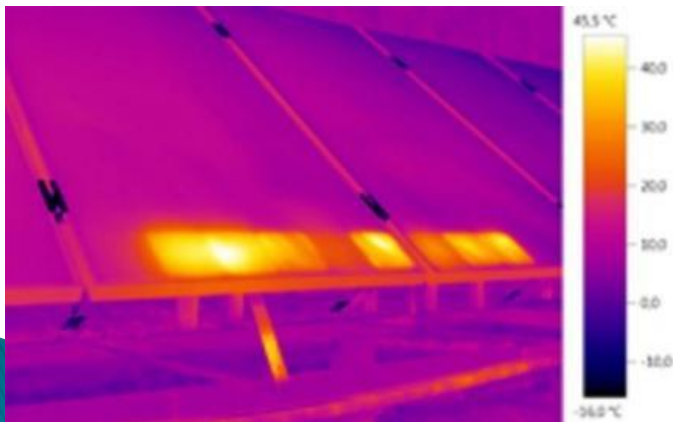
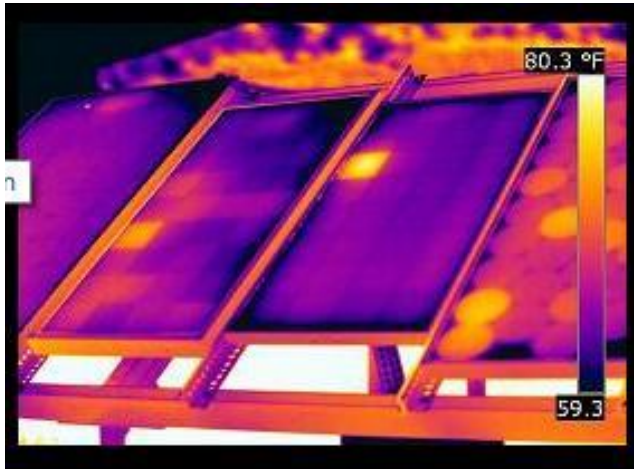


Izolacja zdejmowalna zaworu ciepłowniczego.

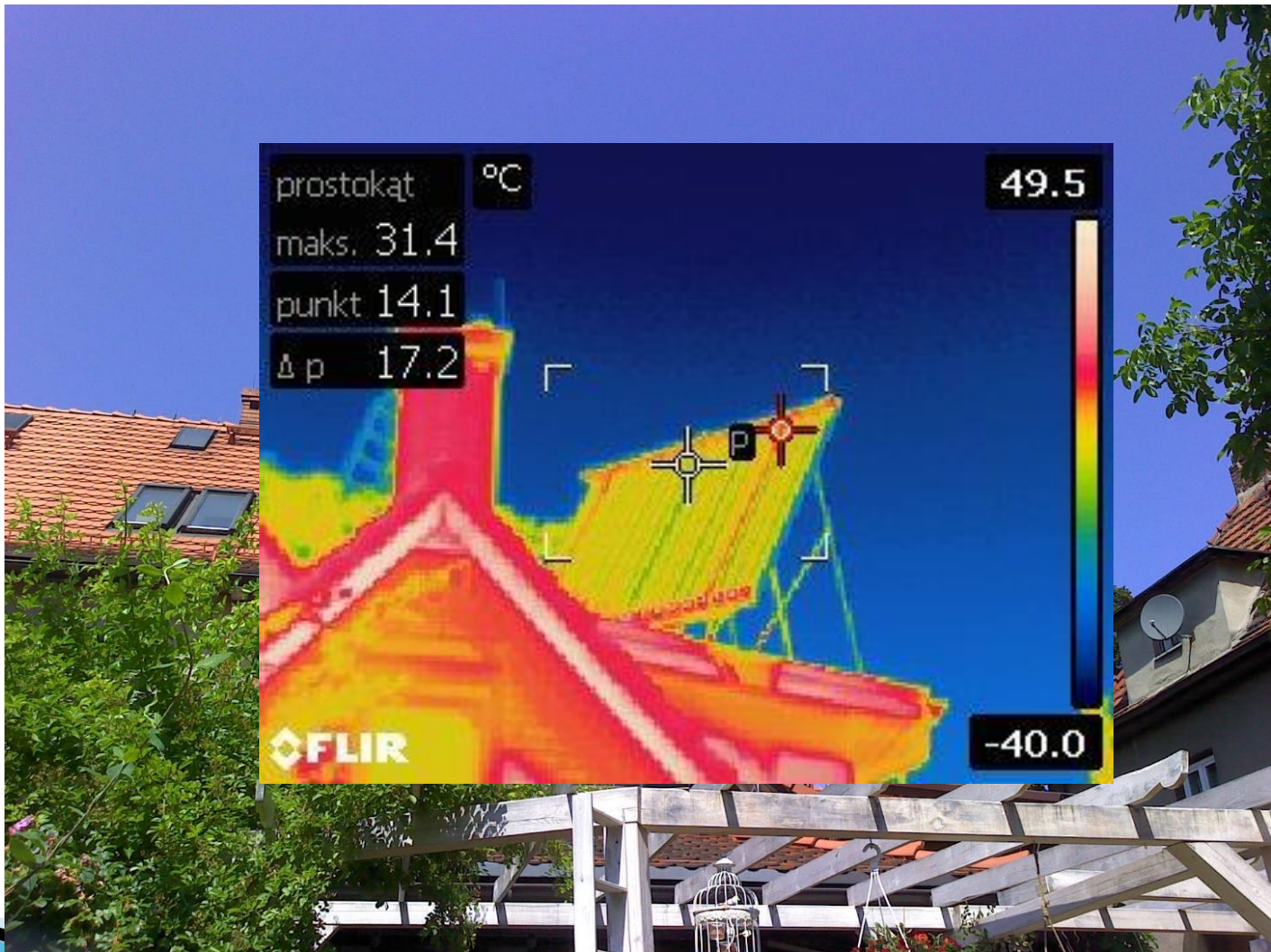


Badanie sprawności kolektorów PV.

W fabryce kolektorów PV protokół z badania wyrobu powinien zawierać termogram wskazujący temperatury ogniw pod obciążeniem.



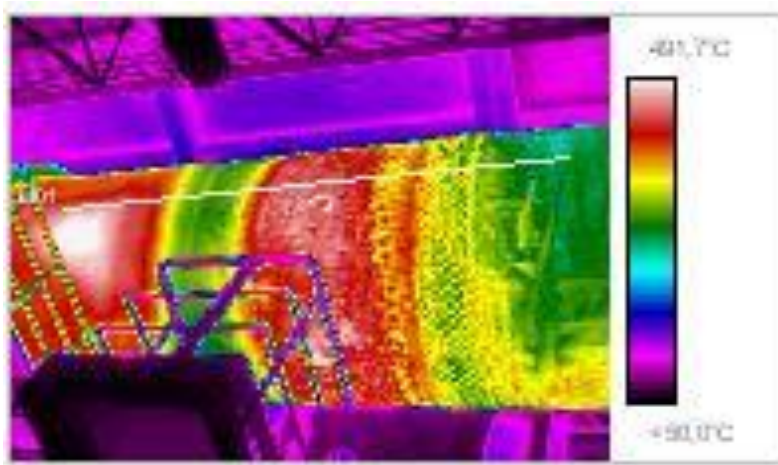
Badanie sprawności kolektorów T.



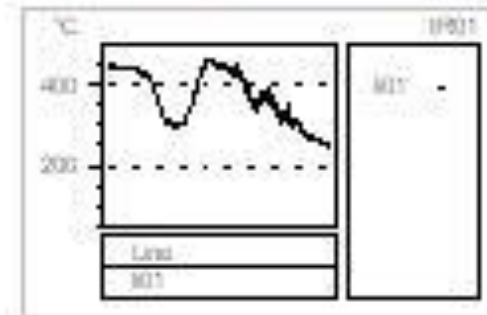
Badanie sprawności kolektorów T.



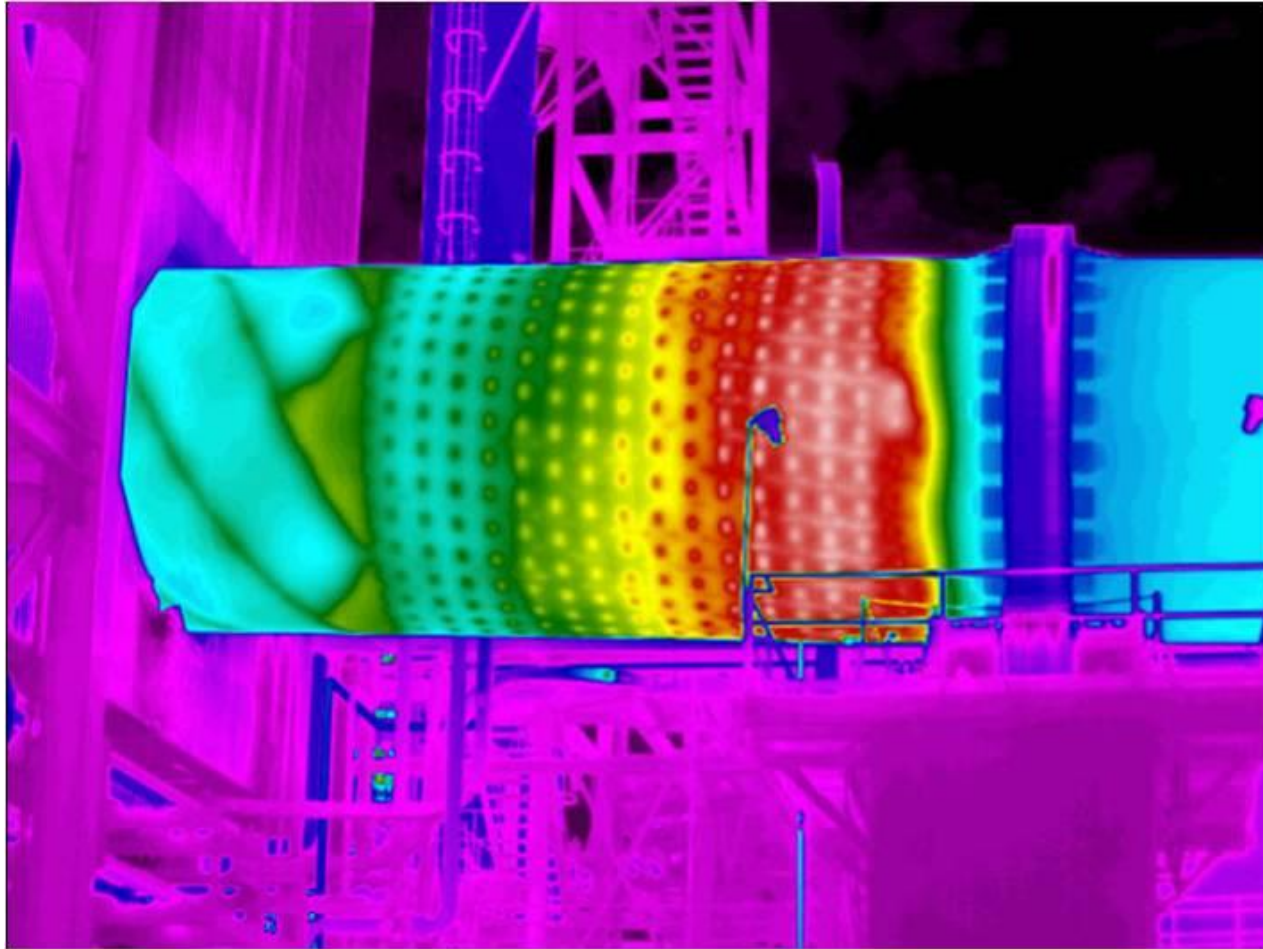
Badanie zużycia wymurówki pieca cementowni.



CE information	Value
Date of creation	2007-02-01
File name	W_0204.jpg
Camera lens	13
Object parameters	Value
Emissivity	0.83
Label	Value
L01 - max	158.0°C
L01 - min	148.9°C



Badanie zużycia wymurówki pieca cementowni.



Termografia instalacji elektro-energetycznych w zakresie sprawności połączeń. Podstawa prawna.

Prawo Budowlane, Ustawa z dnia 7 lipca 1994 z późniejszymi zmianami, w artykule 62, ustęp 1, od punktu 1 do punktu 3 podaje:

1. Obiekty budowlane powinny być w czasie ich użytkowania poddawane przez właściciela lub zarządcę kontroli:
 - 1) Okresowej, co najmniej raz w roku, polegającej na sprawdzeniu stanu technicznego:
 - a) **elementów budynku, budowli i instalacji narażonych na szkodliwe wpływy atmosferyczne i niszczące działania czynników występujących podczas użytkowania obiektu,**
 - b) instalacji i urządzeń służących ochronie środowiska,
 - c) instalacji gazowych oraz przewodów kominowych (dymowych, spalinowych i wentylacyjnych);
 - 2) Okresowej, co najmniej raz na 5 lat, **polegającej na sprawdzeniu stanu technicznego** i przydatności do użytkowania obiektu budowlanego, estetyki obiektu budowlanego oraz jego otoczenia; kontrolą tą powinno być objęte również badanie **instalacji elektrycznej i piorunochronnej w zakresie stanu sprawności połączeń, osprzętu, zabezpieczeń i środków ochrony od porażeń, oporności izolacji przewodów oraz uziemień instalacji i aparatów;**
 - 3) Okresowej w zakresie, o którym mowa w pkt 1, co najmniej dwa razy w roku, w terminach do 31 maja oraz do 30 listopada, w przypadku budynków o powierzchni zabudowy przekraczającej 2000 m² oraz innych obiektów budowlanych o powierzchni dachu przekraczającej 1000 m²; osoba dokonująca kontroli jest zobowiązana bezzwłocznie pisemnie zawiadomić właściwy organ o przeprowadzonej kontroli;

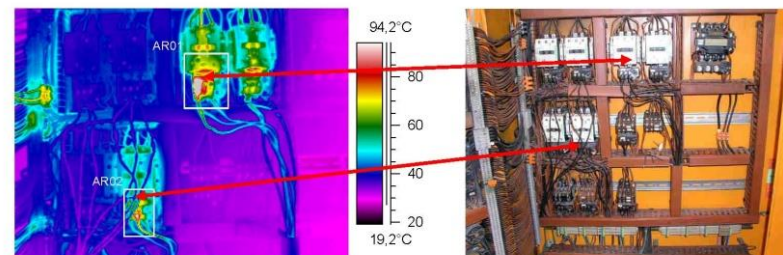
Raport z oględzin termograficznych jako źródło wiedzy o usterkach oraz dowód na prawidłową eksploatację instalacji.

www.gabrielmiczka.com

ISO 9001:2000



Rozdzielnia NN, MCC5B



IR Information	Value
Date of creation	2007-08-23
File name	ir_1214.jpg
Camera lens	45
Object parameter	Value
Emissivity	0.90
Label	Value
AR01 : max	*122.4°C
AR01 : min	37.4°C
AR02 : max	96.2°C
AR02 : min	34.5°C

Uwagi:

Usterka III stopnia.

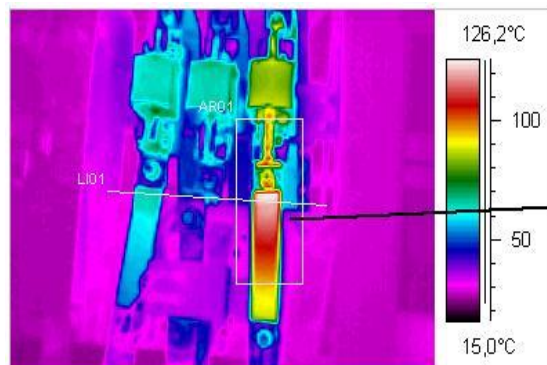
Zalecany przegląd połączeń śrubowych na zabezpieczeniu termicznym - stycznik B35B i parownik B35A.

System oceny usterek w elektryce.

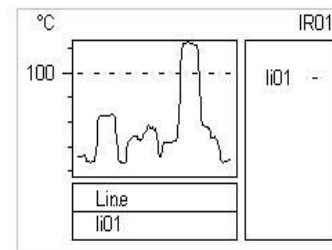
Temperatura oczekiwana jako temperatura prawidłowo działającego aparatu.

Trzy kategorie temperatury odniesienia:

- ▶ Temperatura powietrza otoczenia;
- ▶ Temperatura podobnego aparatu o podobnym obciążeniu;
- ▶ Dopuszczalna maksymalna temperatura aparatu.



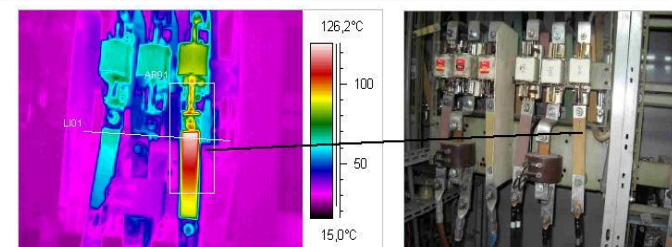
IR information	Value
Date of creation	2008-08-29
Time of creation	10:05:23
File name	Ir_5922.jpg
Camera type	E-Series
Object parameter	Value
Emissivity	0,90
Label	Value
LI01 : max	124,9°C
LI01 : min	26,7°C
AR01 : max	126,6°C
AR01 : min	28,2°C



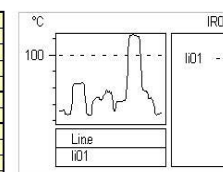
System oceny niebezpieczeństwa wystąpienia awarii aparatu EE wg kwalifikacji stopnia znalezionej usterki.

- ▶ W ocenie stanu urządzeń elektrycznych kierujemy się zasadami wdrożonymi w system jakości ISO-9001-2008 w Gabriel Miczka Przedsiębiorstwo i opracowanymi wg zaleceń International Electrical Commission (I.E.C. 61200-52) oraz Infrared Training Center z USA oraz „Wytyczne oraz przepisy związane z eksploatacją urządzeń, instalacji i sieci elektroenergetycznych” COSIW ŚEP.
- ▶ Uwagi do termogramów dotyczących urządzeń elektrycznych nn i SN opisaliśmy różnymi kolorami i tak:

Stopień usterki	Różnica temperatury od prawidłowej, oczekiwanej	Kolor w opisie	Stan urządzenia	Zalecany termin usunięcia usterki
0	0 ÷ 10°C	czarny	Dobry. Brak anomalii termicznych.	
I	10 ÷ 20°C	zielony	Jeszcze dopuszczalny (zalecana poprawa). Wskazany dodatkowy pomiar termograficzny w celu monitorowania rozwoju uszkodzenia.	W terminie zaplanowanej przerwy eksploatacyjnej
II	20 ÷ 40°C	różowy	Niedopuszczalny. Zalecane uzgodnienie odstawienia z ruchu w dogodnym niezbyt odległym terminie w celu usunięcia usterek.	W pierwszym możliwym terminie odstawienia
III	40°C i więcej	czerwony	Niedopuszczalny. Zalecane natychmiastowe odstawienie urządzenia z ruchu w celu usunięcia usterki.	W dniu wykonywania pomiarów



IR information		Value
Date of creation		2008-08-29
Time of creation		10:05:23
File name		Ir_3922.jpg
Camera type		E-Series
Object parameter		Value
Emissivity		0,90
Label		Value
LI01 : max		124,9°C
LI01 : min		26,7°C
AR01 : max		126,6°C
AR01 : min		28,2°C

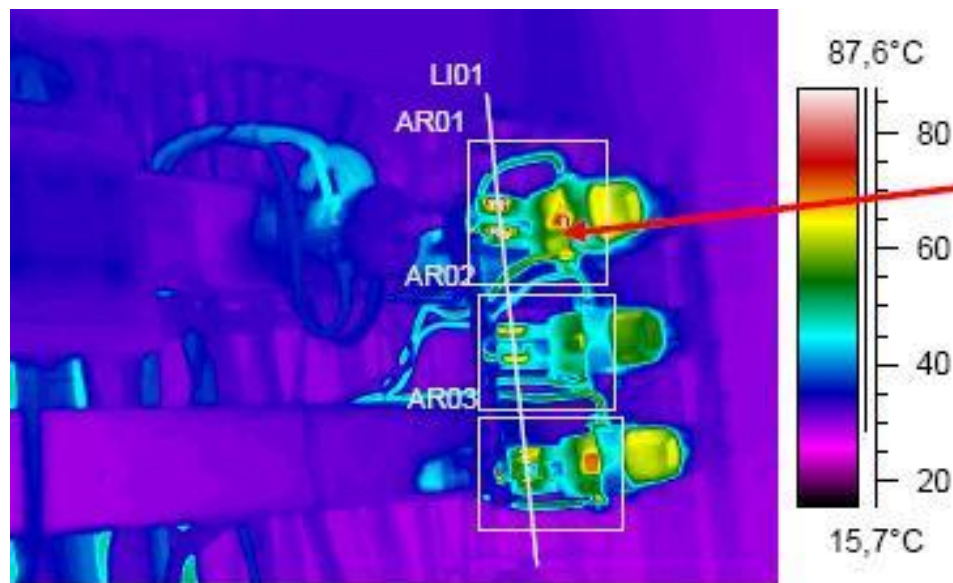


Uwagi do termogramów dotyczących izolacji i torów prądowych urządzeń elektrycznych WN i NN opisaliśmy podobnie, różnymi kolorami i tak:

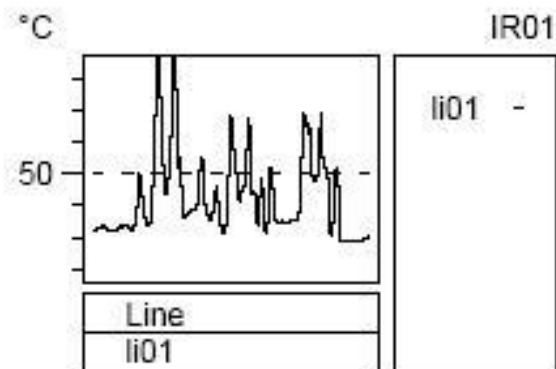
Stopień usterki	Różnica temperatury od prawidłowej, oczekiwanej	Kolor w opisie	Stan urządzenia	Zalecany termin usunięcia usterki
0	0 ÷ 3°C	czarny	Dobry. Brak anomalii termicznych.	
I	4 ÷ 15°C	zielony	Jeszcze dopuszczalny (zalecana naprawa). Wskazany dodatkowy pomiar termograficzny w celu monitorowania rozwoju uszkodzenia.	W terminie najbliższej przerwy eksploatacyjnej
III*	16°C i więcej	czerwony	Niedopuszczalny. Zalecane natychmiastowe odstawienie urządzenia z ruchu w celu usunięcia usterki.	W dniu wykonywania pomiarów

Z powodu wielkiej różnorodności występujących urządzeń przyjęliśmy dopuszczalne bezwzględne temperatury dla urządzeń obwodów normalnie pracujących z podwyższoną temperaturą. Przyjęliśmy co następuje:

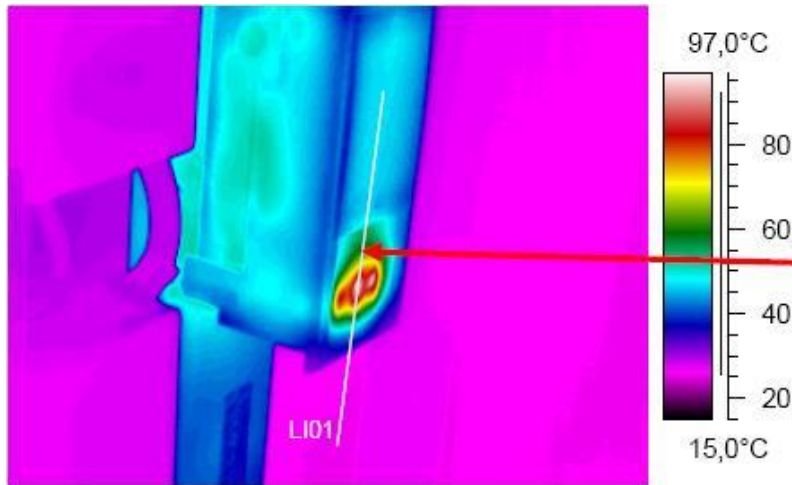
- elementy indukcyjne i rezystancyjne styczników, przekaźników oraz innych elektromechanicznych łączników: 75°C (zalecenie I.E.C);
- elementy elektroniki: 70 °C lub 90°C (wg katalogów firmy Analog Devices);
- cewki dławików i przekładników, rdzenie transformatorów energetycznych suchych: 100°C (wg zaleceń I.E.C);
- wszystkie inne elementy torów prądowych rozdzielni elektrycznych: 70°C (wg katalogów firmy Tele-Fonika Kable).



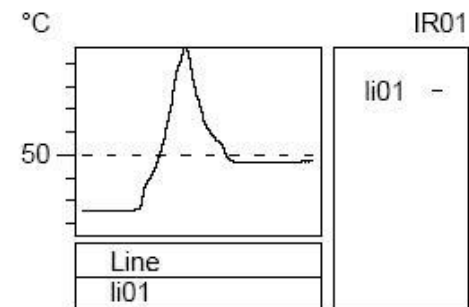
IR information	Value
Date of creation	2009-04-29
Time of creation	12:59:39
File name	Termo marriott 182.jpg
Camera type	FLIR T400 Western
Object parameter	Value
Emissivity	0,90
Label	Value
LI01 : max	99,4°C
LI01 : min	28,6°C
AR01 : max	101,5°C
AR01 : min	30,0°C
AR02 : max	68,4°C
AR02 : min	30,3°C
AR03 : max	80,1°C
AR03 : min	28,6°C

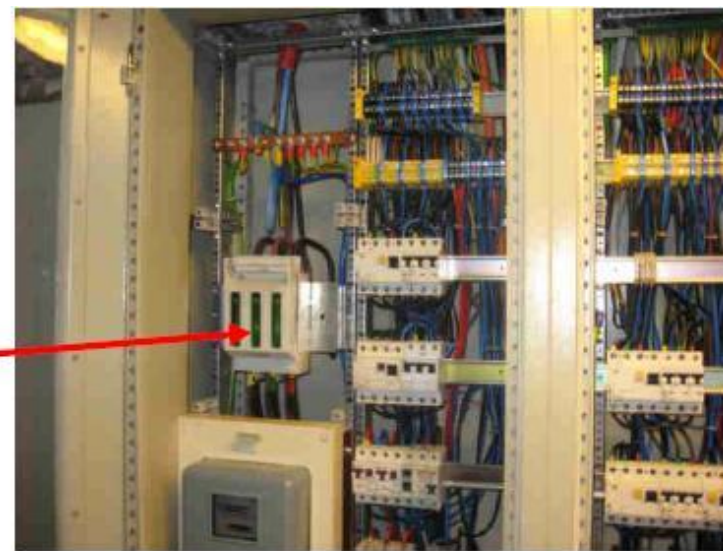
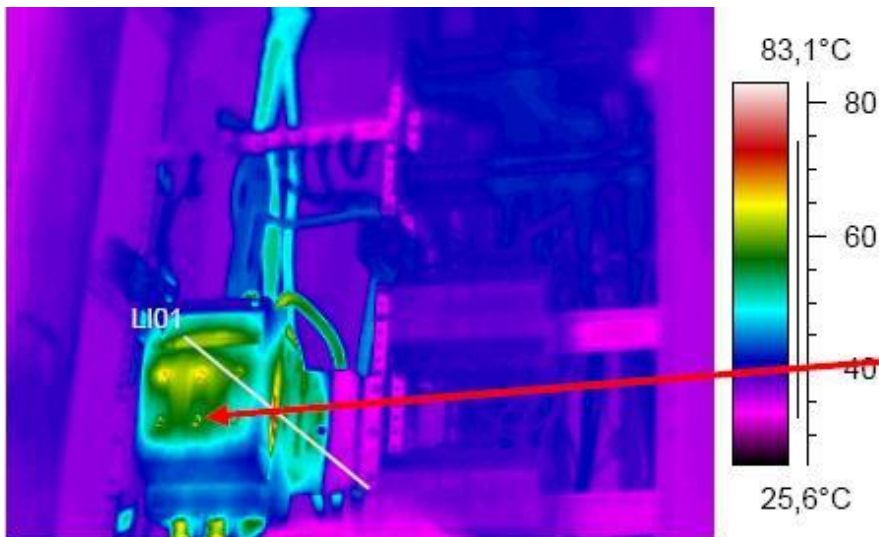


Usterka aparatu elektrycznego pracującego w nieotwieralnej obudowie.

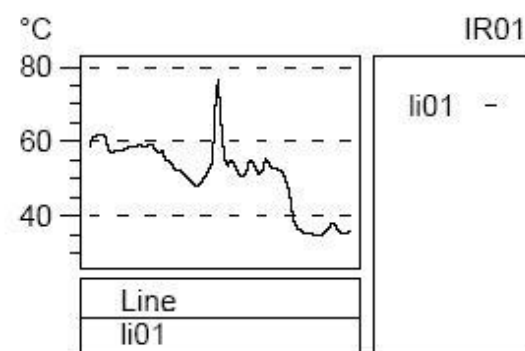


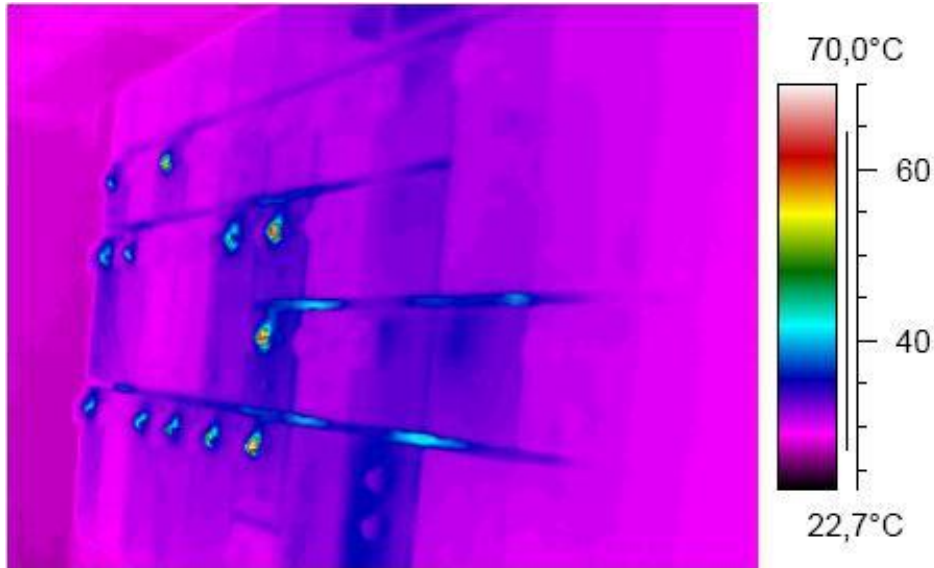
IR information		Value
Date of creation		2009-04-29
Time of creation		12:44:14
File name		Termo marriott 178.jpg
Camera type		FLIR T400 Western
Object parameter		Value
Emissivity		0,90
Label		Value
LI01 : max		97,2°C
LI01 : min		25,9°C





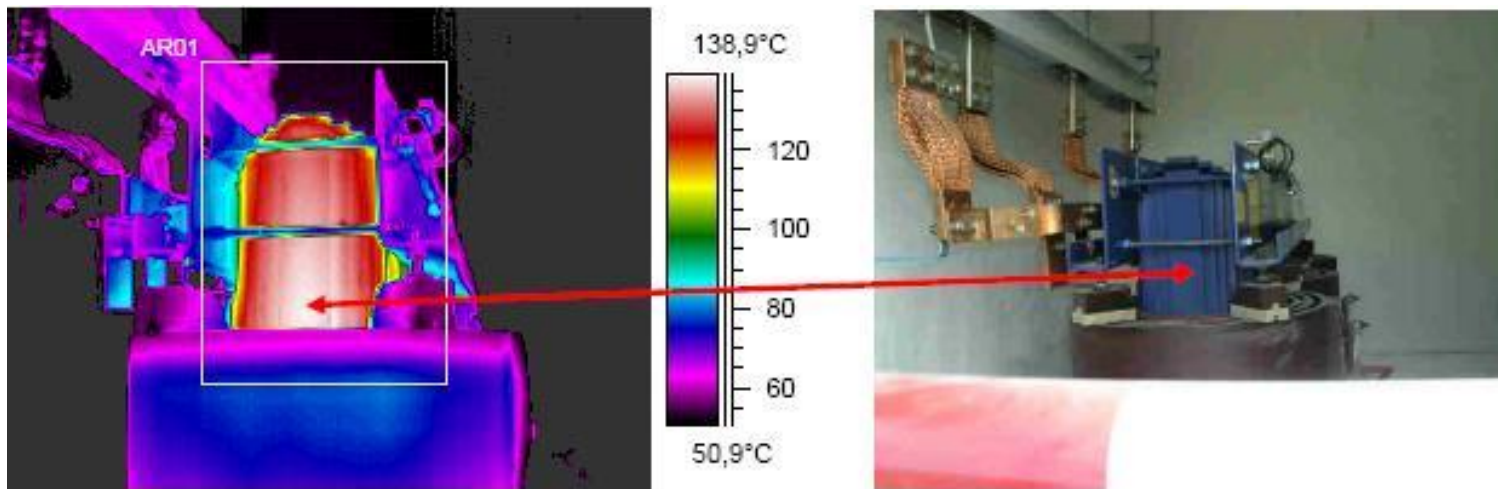
IR information	Value
Date of creation	2009-04-29
Time of creation	11:46:59
File name	Termo marriott 167.jpg
Camera type	FLIR T400 Western
Object parameter	Value
Emissivity	0,90
Label	Value
LI01 : max	76,7°C
LI01 : min	35,0°C





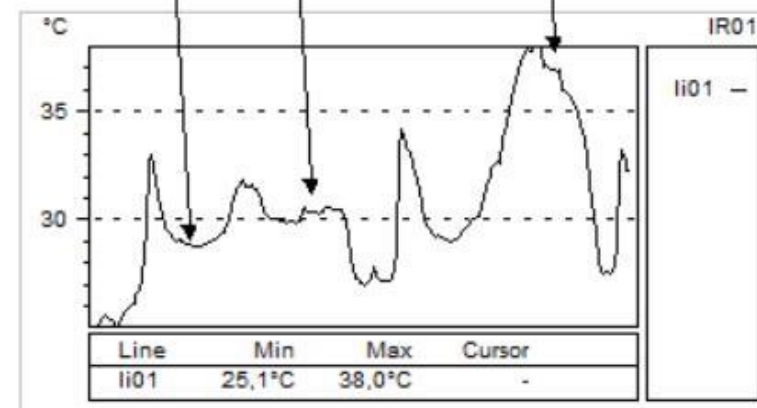
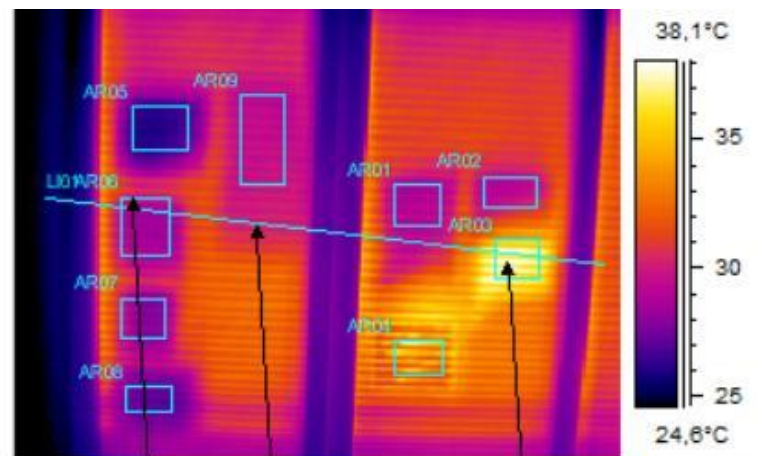
IR information	Value
Date of creation	2009-04-29
Time of creation	11:44:07
File name	Termo marriott 166.jpg
Camera type	FLIR T400 Western
Object parameter	Value
Emissivity	0,90

Usterka określona wg kryterium maksymalnej dopuszczalnej temperatury pracy.

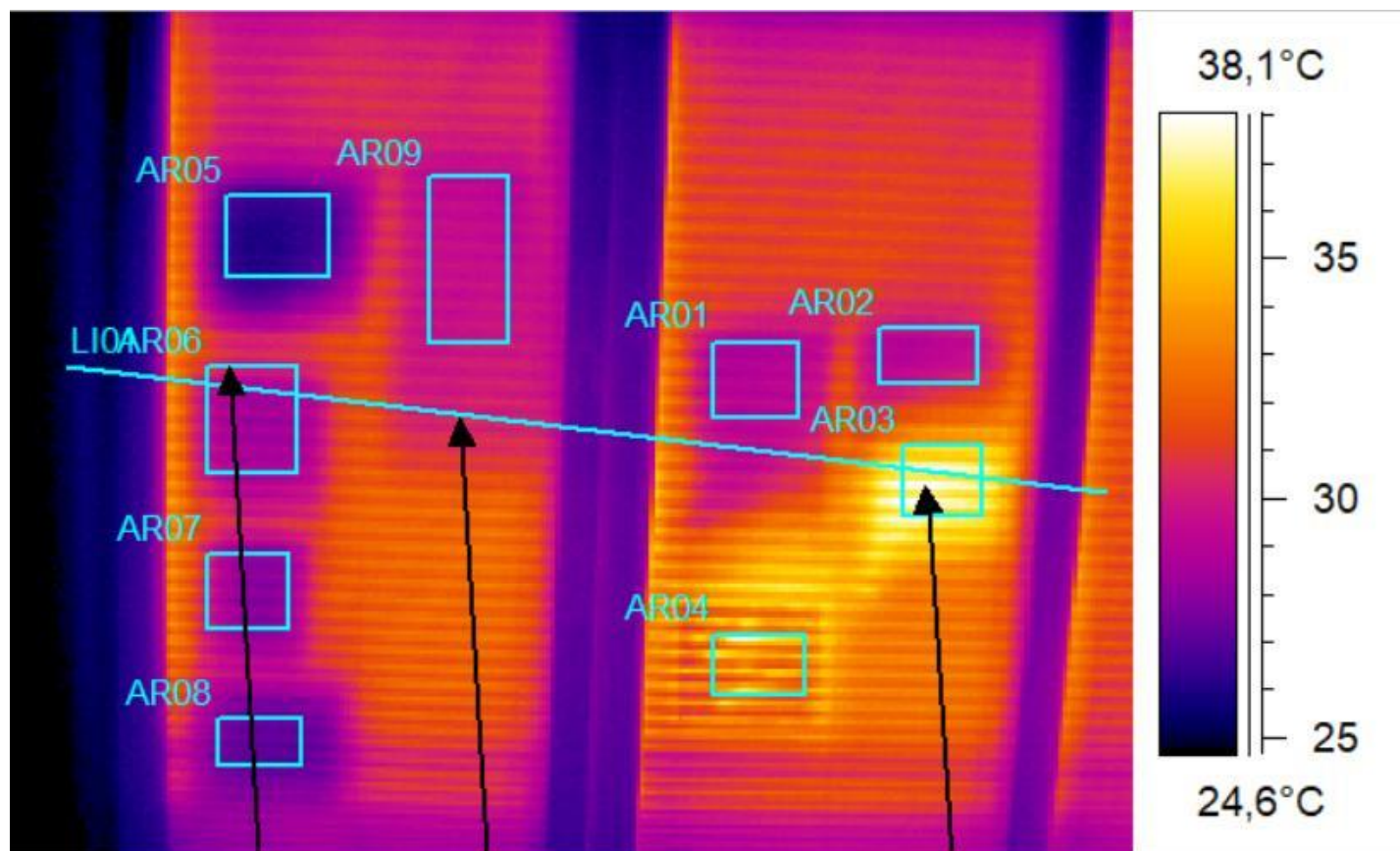


IR information	Value
Date of creation	2007-08-23
File name	Ir_1192.jpg
Camera lens	45
Object parameter	Value
Emissivity	0,90
Label	Value
AR01 : max	139,2°C
AR01 : min	<50,0°C

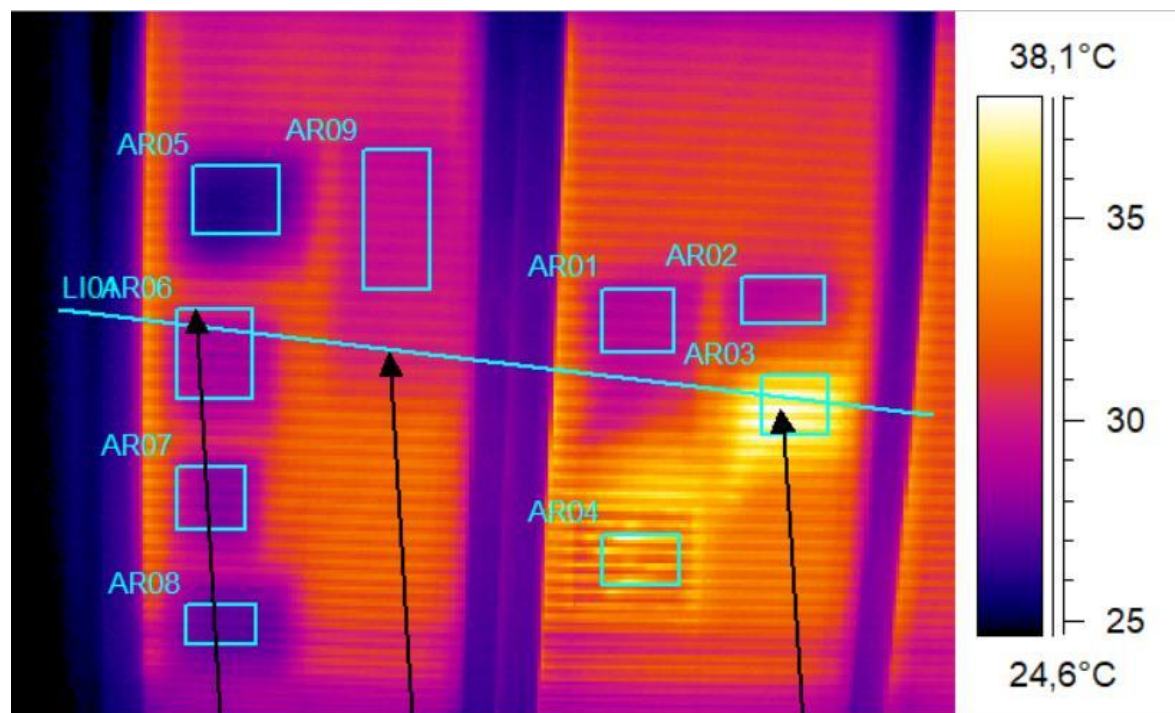
Folie zaczieniające okna.



Folie zaczieniajace okna.

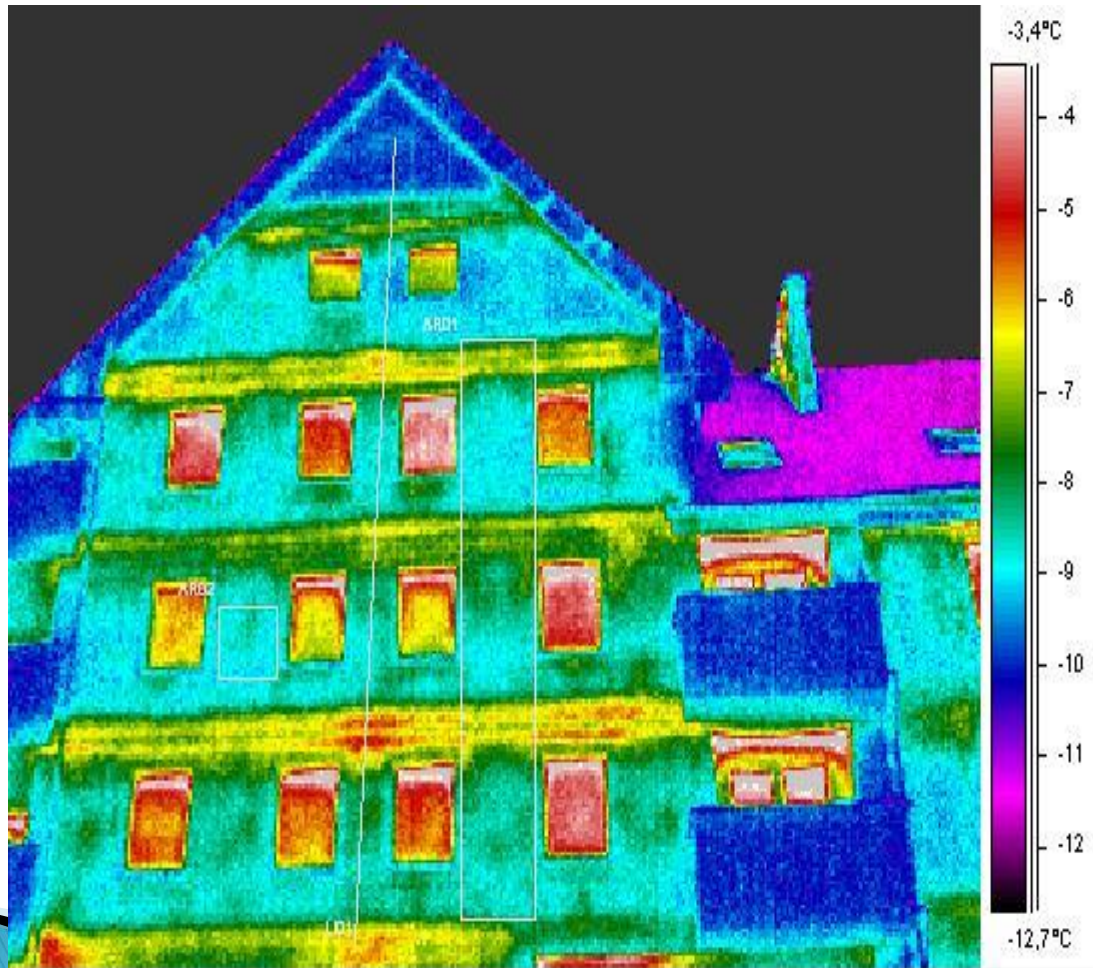


Folie zaczieniające okna.

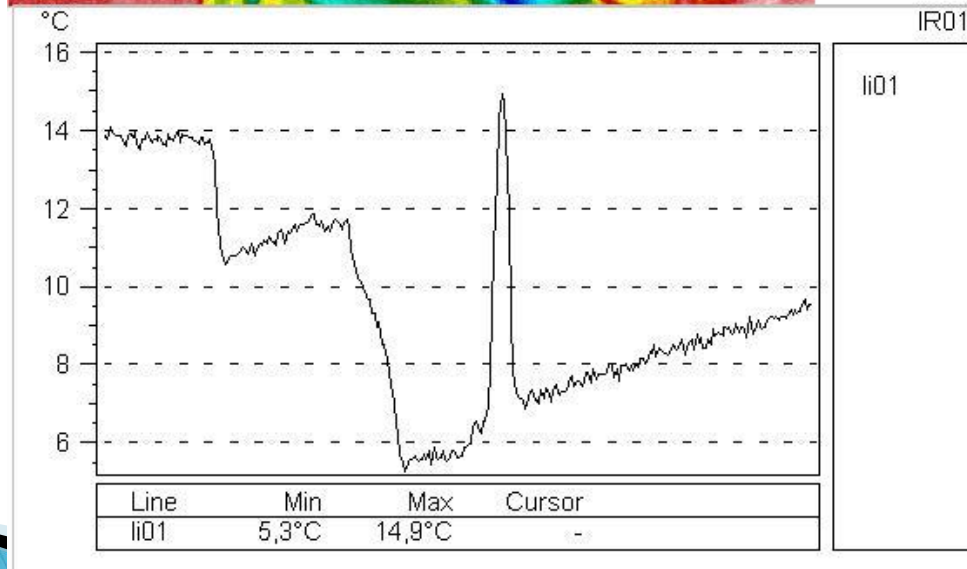
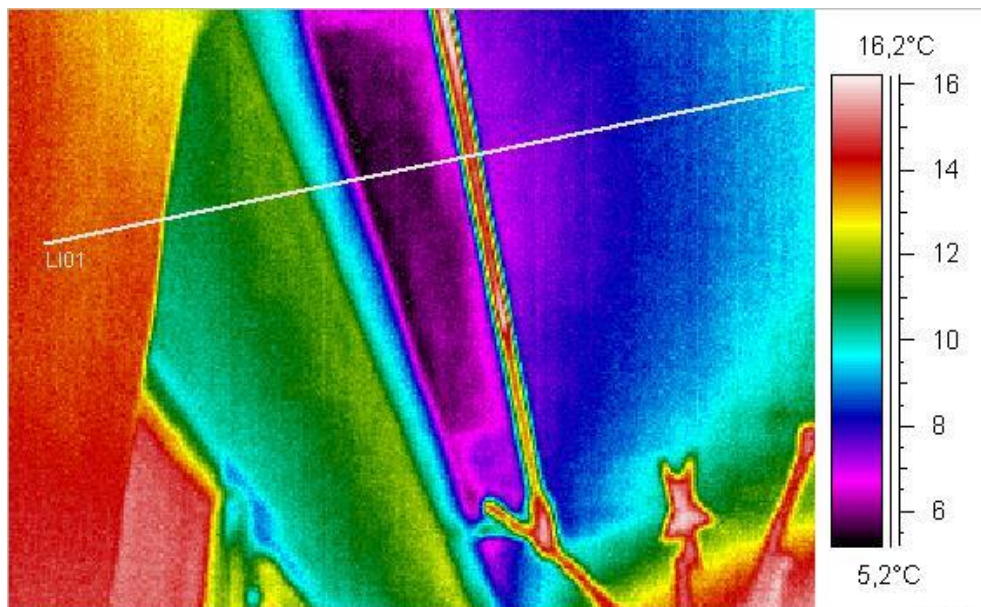


- AR01 próbka wewnętrznej foli od zewnątrz okna. Przyklejono taśmą.
- AR02 próbka wewnętrznej foli 80% od zewnątrz okna. Przyklejono taśmą.
- AR03 próbka wewnętrznej foli 70% od wewnątrz okna. Przyklejono klejem własnym folii.
- AR04 próbka foli aluminiowej przyklejonej od wewnątrz. Przyklejono taśmą.
- AR05 próbka foli aluminiowej przyklejonej od zewnątrz. Przyklejono taśmą.
- AR06 próbka zewnętrznej foli 70% od zewnątrz okna. Przyklejono taśmą.
- AR07 próbka zewnętrznej foli 80% od zewnątrz okna. Przyklejono taśmą.
- AR08 próbka zewnętrznej foli 90% od zewnątrz okna. Przyklejono taśmą.
- AR09 próbka zewnętrznej foli ceramicznej od zewnątrz okna. Przyklejono klejem własnym folii.

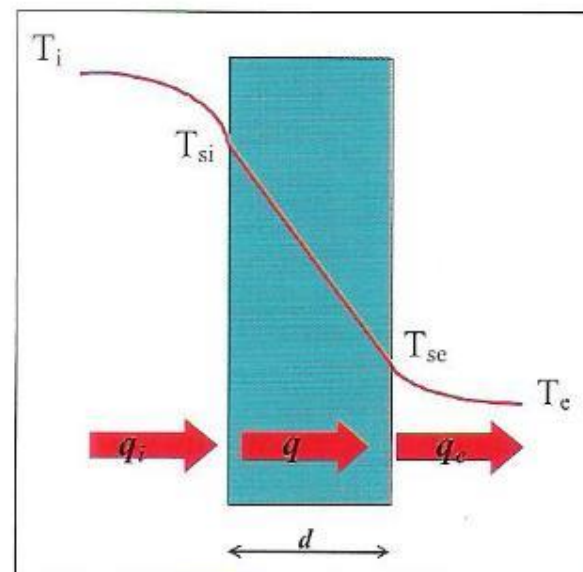
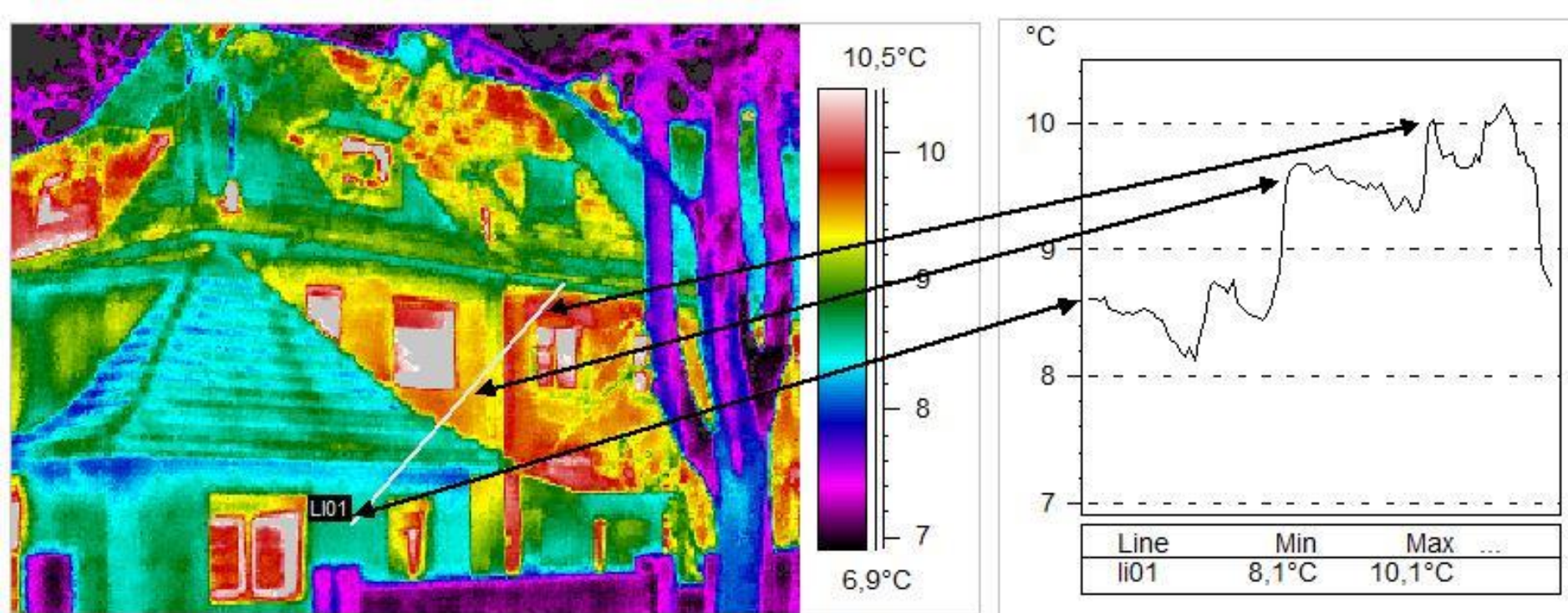
Straty ciepła przez izolacje termiczne zależą od temperatury powierzchni wypromieniowującej i przekazującej ciepło do powietrza otoczenia.



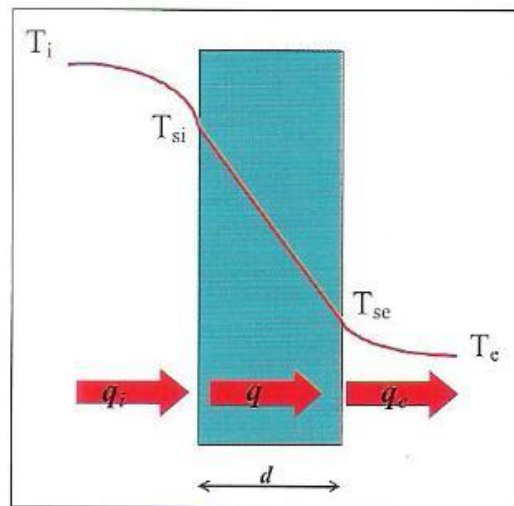
IR information	Value
Date of creation	2010-12-29
Time of creation	18:15:58
File name	lr_8547.jpg
Camera type	ThermaCAM
Object parameter	Value
Emissivity	0,90
Label	Value
LI01 : max	-5,0°C
LI01 : min	-10,1°C
AR01 : max	-5,7°C
AR01 : min	-9,3°C
AR01 : avg	-8,1°C
AR02 : max	-8,0°C
AR02 : min	-9,4°C
AR02 : avg	-8,8°C



IR information	Value
Date of creation	2010-12-29
Time of creation	17:34:49
File name	lr_8499.jpg
Camera type	ThermaCAM E300
Object parameter	Value
Emissivity	0,90
Label	Value
li01 : max	14,9°C
li01 : min	5,3°C



Przegroda budowlana w ustalonym stanie przepływu ciepła: profil temperatury i strumienie ciepła



Wartości poszczególnych strumieni wynoszą:

$$\begin{aligned}
 q_i &= h_{si} \cdot (T_i - T_{si}) \\
 q &= \frac{\lambda}{d} \cdot (T_{si} - T_{se}) \\
 q_e &= h_{se} \cdot (T_{se} - T_e)
 \end{aligned}
 \tag{3.1}$$

gdzie:

- q – gęstość strumienia ciepła,
- T_i – temperatura powietrza po ciepłej stronie przegrody,
- T_e – temperatura powietrza po zimnej stronie przegrody,
- T_{si} – temperatura powierzchni przegrody wewnątrz pomieszczenia,
- T_{se} – temperatura powierzchni przegrody na zewnątrz pomieszczenia,
- h_{si} – współczynnik przejmowania (wnikania) ciepła po wewnętrznej stronie,
- h_{se} – współczynnik przejmowania (wnikania) ciepła po zewnętrznej stronie,
- d – grubość przegrody,
- λ – współczynnik przewodności cieplnej materiału przegrody.

przy czym:

$$q_i = q = q_e \tag{3.2}$$

Jakość cieplna przegrody budowlanej, zależy od jej izolacyjności cieplnej jak i od faktu występowania wad, powodujących lokalne zwiększenie przepływu ciepła.

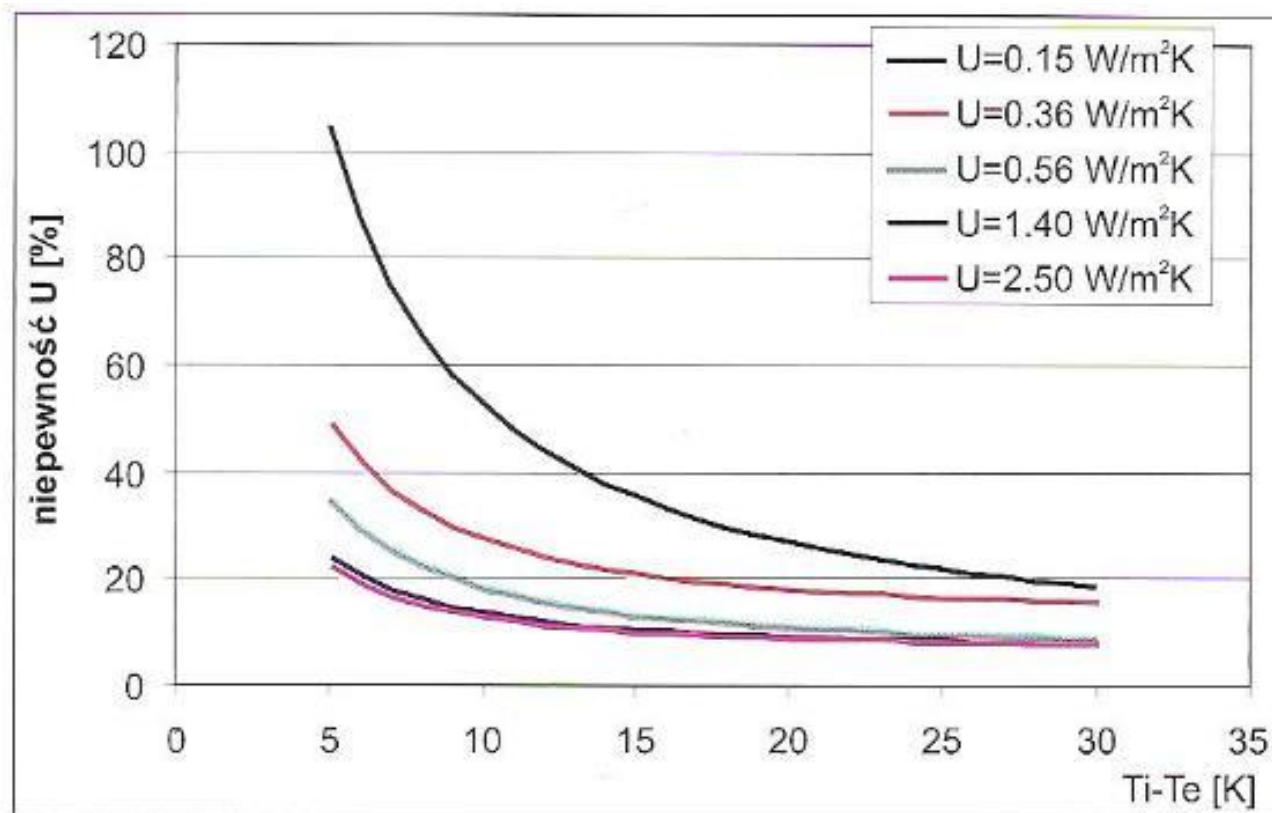
Izolacyjność cieplną przegrody określamy za pomocą współczynnika przenikania ciepła "U". Według normy [PN] współczynnik ten określony jest wzorem: $U = \frac{q}{T_i - T_e}$

gdzie:

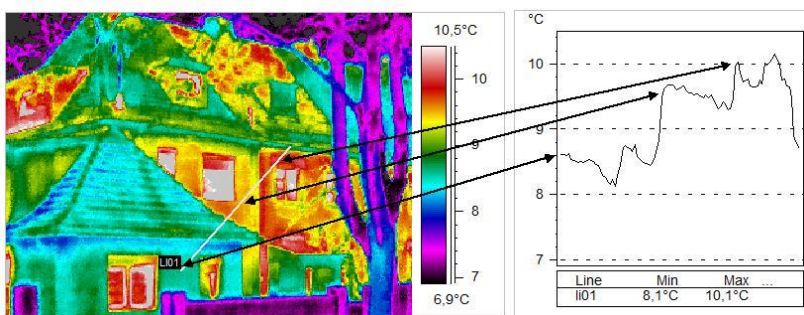
T_i – temperatura powietrza w pomieszczeniu;

T_e – temperatura powietrza na zewnątrz budynku;

q – gęstość strumienia cieplnego.



Rys. 3.2. Zależność niepewności wyznaczenia współczynnika przenikania ciepła od różnicy temperatury powietrza po obu stronach przegrody, dla przegród o różnej wartości U



wowa

Symbol przegrody

SZ-43

Opis przegrody

Ściana zewnętrzna 43 cm

Producent przegrody

Rodzaj przegrody

Ściana zewnętrzna

Warunki wilgotności

Warunki wilgotne

Powietrze wewnętrzne

Ti 20.0 °C

φi 55.0 %

Powietrze zewnętrzne

Te 8.0 °C

Kopiuj

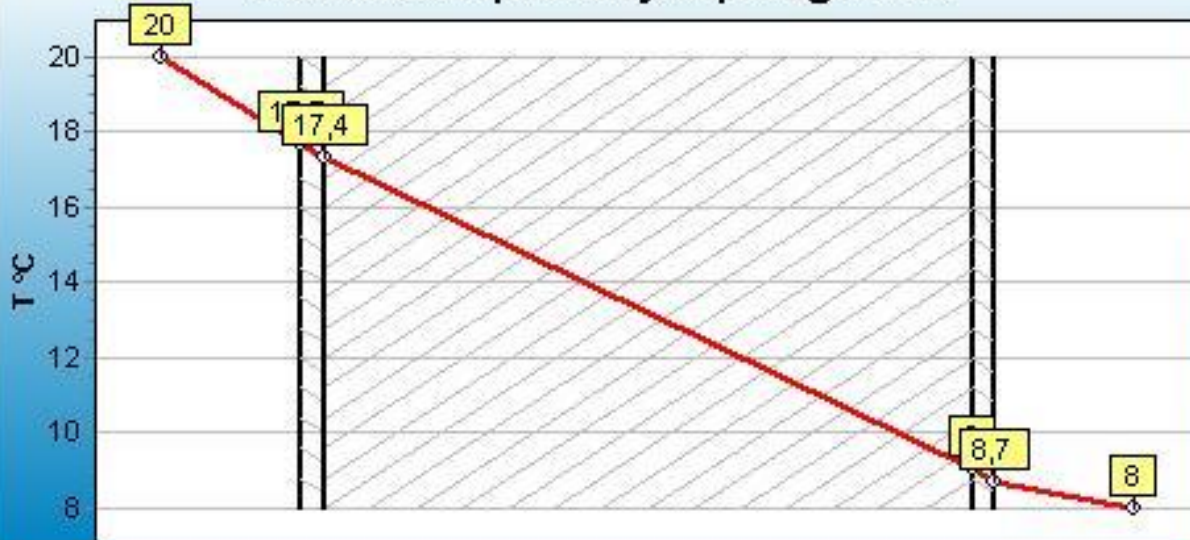
☒ Wartości

WMF

BMP

Drukuj

Rozkład temperatury w przegrodzie



Wyniki obliczeń

Opór przejmowania wewnątrz Ri

0.130

m²*K/W

Suma oporów przejm. i przew. R

0.665

m²*K/W

Opór przejmowania na zewnątrz Re

0.040

m²*K/W

Wsp. przenikania ciepła k

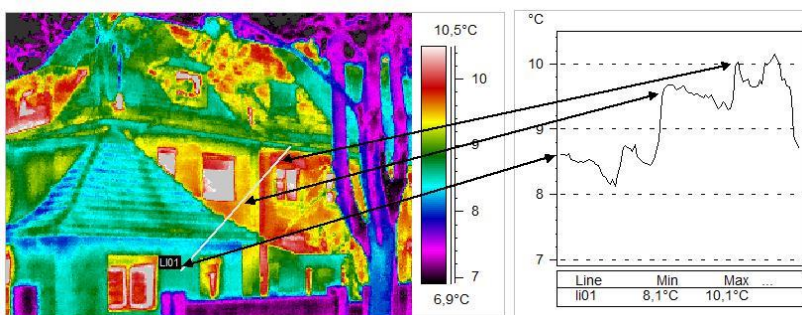
1.504

W/m²*K

OK

Anuluj

Pomoc



Symbol przegrody		Opis przegrody	
SZ-43+10ST		Ściana zew. 43cm+10cm styropia	
Producent przegrody		Rodzaj przegrody	Warunki wilgotności
		Ściana zewnętrzna	Warunki wilgotne

Powietrze wewnętrzne	
Ti	20.0 °C
φi	55.0 %
Powietrze zewnętrzne	
Te	8.0 °C

Kopiuuj
 ☒ Wartości

WMF

BMP

Drukuj

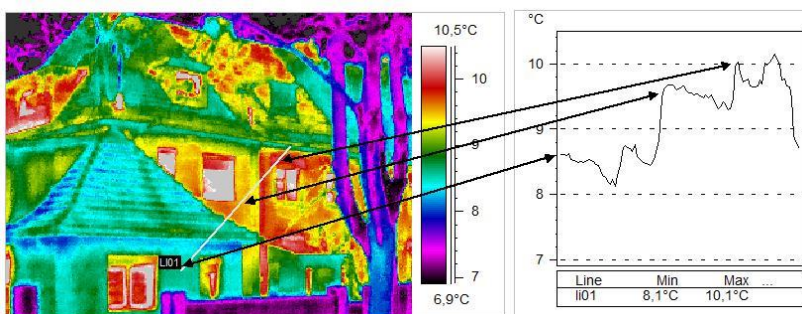
Rozkład temperatury w przegrodzie

Point	Temperature (°C)
1	20
2	19,3
3	17,2
4	8,2
5	8

Wyniki obliczeń

Opór przejmowania wewnątrz Ri	0.130 m ² *K/W	Suma oporów przejm. i przew. R	2.674 m ² *K/W
Opór przejmowania na zewnątrz Re	0.040 m ² *K/W	Wsp. przenikania ciepła k	0.374 W/m ² *K

OK
 Anuluj
 Pomoc



Symbol przegrody

SZ-43+12+6

Opis przegrody

Ściana zew. 43cm+10cm styropia+ 6cm PIR

Producent przegrody

Rodzaj przegrody

Ściana zewnętrzna

Warunki wilgotności

Warunki wilgotne

Powietrze wewnętrzne

Ti 20.0 °C

φi 55.0 %

Powietrze zewnętrzne

Te 8.0 °C

Kopiuj

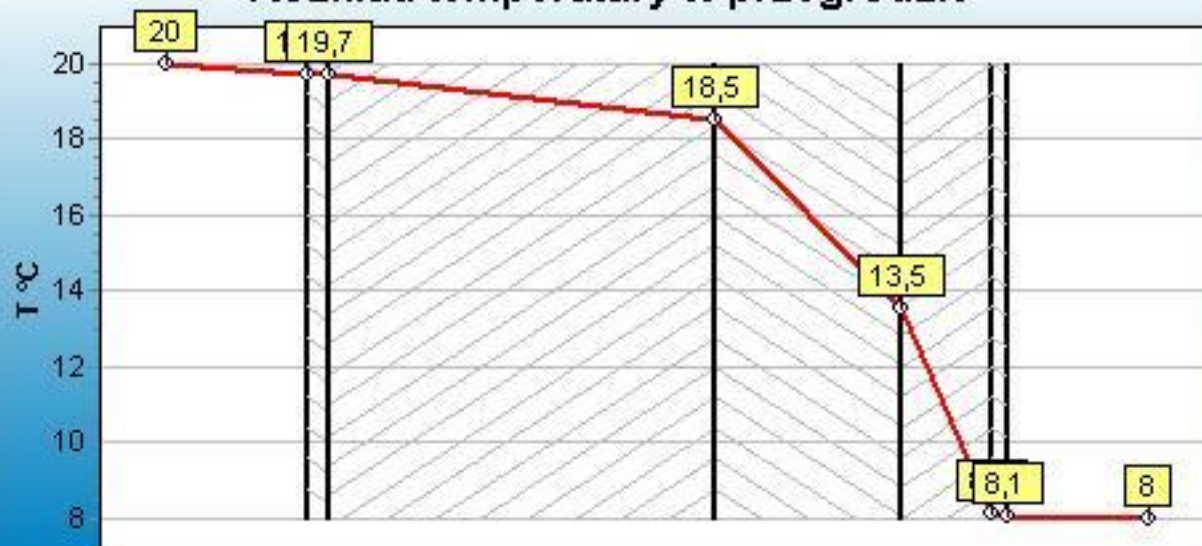
☒ Wartości

WMF

BMP

Drukuj

Rozkład temperatury w przegrodzie



Wyniki obliczeń

Opór przejmowania wewnątrz Ri

0.130

m²*K/W

Suma oporów przejm. i przew. R

5.778

m²*K/W

Opór przejmowania na zewnątrz Re

0.040

m²*K/W

Wsp. przenikania ciepła k

0.173

W/m²*K

OK

Anuluj

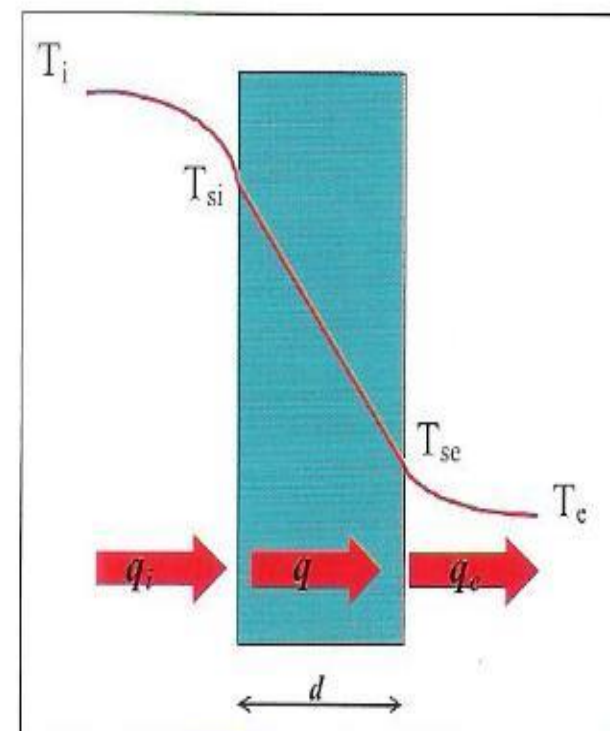
Pomoc

- ▶ U badanego elementu przegrody można wyliczyć metodą porównawczą ze wzoru

$$U_1 / U_2 = (T_{1(s)} - T_{e/i}) / (T_{2(s)} - T_{e/i}) \quad [\text{wzór 1}]$$

- ▶ [[1] źródło: Techniczne Problemy Termomodernizacji. Materiały szkoleniowe dla kursów przygotowujących do czynności audytora energetycznego, część II. Fundacja Poszanowania Energii].

- ▶ gdzie:
- ▶ U_1 : U badanego miejsca, przegrody [$\text{W/m}^2\text{K}$],
- ▶ U_2 : wartość oczekiwana U, np z projektu lub uznana za poprawną np. wg najzimniejszego punktu przegrody [$\text{W/m}^2\text{K}$],
- ▶ T_1 : temperatura zmierzona na badanej powierzchni [$^{\circ}\text{C}$],
- ▶ T_2 : temperatura oczekiwana lub uznana za poprawną [$^{\circ}\text{C}$],
- ▶ T_e : temperatura powietrza otoczenia przegrody w momencie wykonywania pomiarów [$^{\circ}\text{C}$].



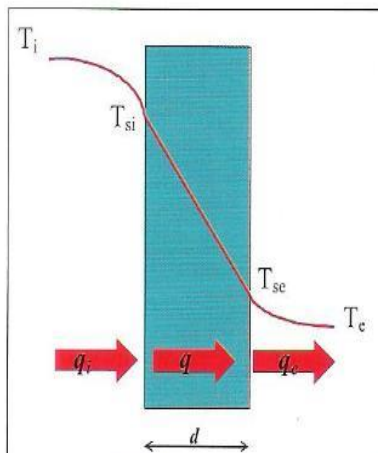
- ▶ U badanego elementu przegrody wylicza się również metodą porównawczą ze wzoru

$$U_1 / U_2 = (T_{i1} - T_{si1}) / (T_{i2} - T_{si2}) \quad [\text{wzór 2}]$$

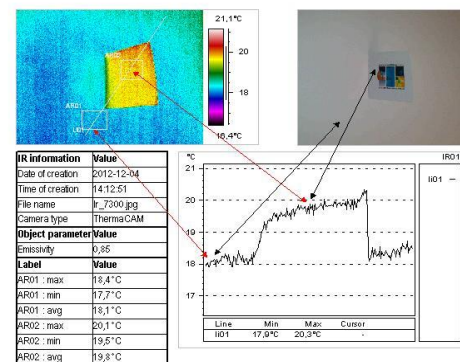
- ▶ [[2] źródło: Termografia w pomiarach inwentaryzacyjnych obiektów budowlanych” Alina Wróbel Wydawnictwo AGH].

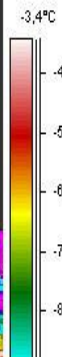
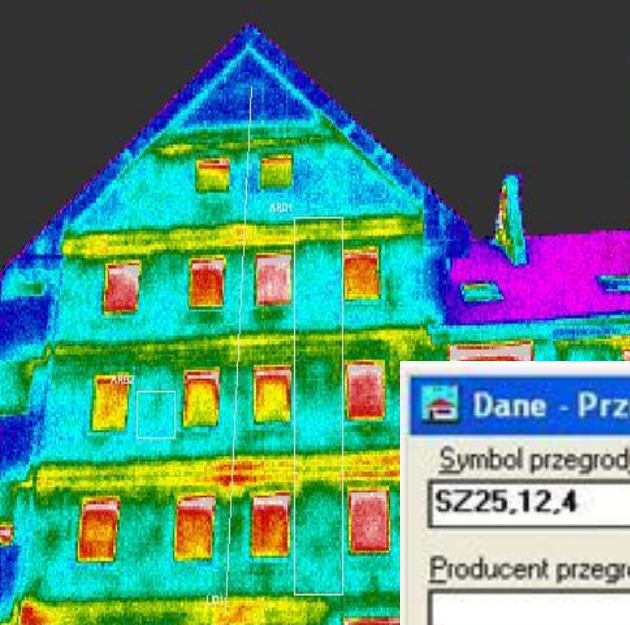
- ▶ gdzie:

- ▶ U_1 : U badanego miejsca, przegrody [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$],
- ▶ U_2 : wartość oczekiwana U, np z projektu lub uznana za poprawną np. wg najzimniejszego punktu przegrody [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$],
- ▶ T_{i1} : temperatura powietrza wewnętrznego zmierzona w okolicy badanej powierzchni [$^{\circ}\text{C}$],
- ▶ T_{i2} : temperatura powietrza wewnętrznego zmierzona w okolicy powierzchni uznanej za poprawną lub oczekiwaną [$^{\circ}\text{C}$],
- ▶ T_{si1} : temperatura zmierzona na badanej powierzchni [$^{\circ}\text{C}$],
- ▶ T_{si2} : temperatura oczekiwana lub uznana za poprawną [$^{\circ}\text{C}$],



Patent nr P.387477





R information	Value
Date of creation	2010-12-29
Time of creation	18:15:58
File name	lr_8547.jpg
Camera type	ThermaCAM
Object parameter	Value
Emissivity	0,90
Label	Value
LI01 : max	-5,0°C

Dane - Przegroda wielowarstwowa

Symbol przegrody
SZ25.12.4

Opis przegrody
Śzew.pustakcer25cm+weł10+pow.s.+went+kam4

Producent przegrody

Rodzaj przegrody
Ściana zewnętrzna

Warunki wilgotności
Warunki średnio wilgotne

Powietrze wewnętrzne
Ti **20.0** °C
φi **55.0** %

Powietrze zewnętrzne
Te **-7.0** °C

Kopiuuj

Wartości

WMF

BMP

Drukuj

Rozkład temperatury w przegrodzie

Wyniki obliczeń

Opór przejmowania wewnątrz Ri
0.130 m²*K/W

Suma oporów przejm. i przew. R
3.235 m²*K/W

Opór przejmowania na zewnątrz Re
0.040 m²*K/W

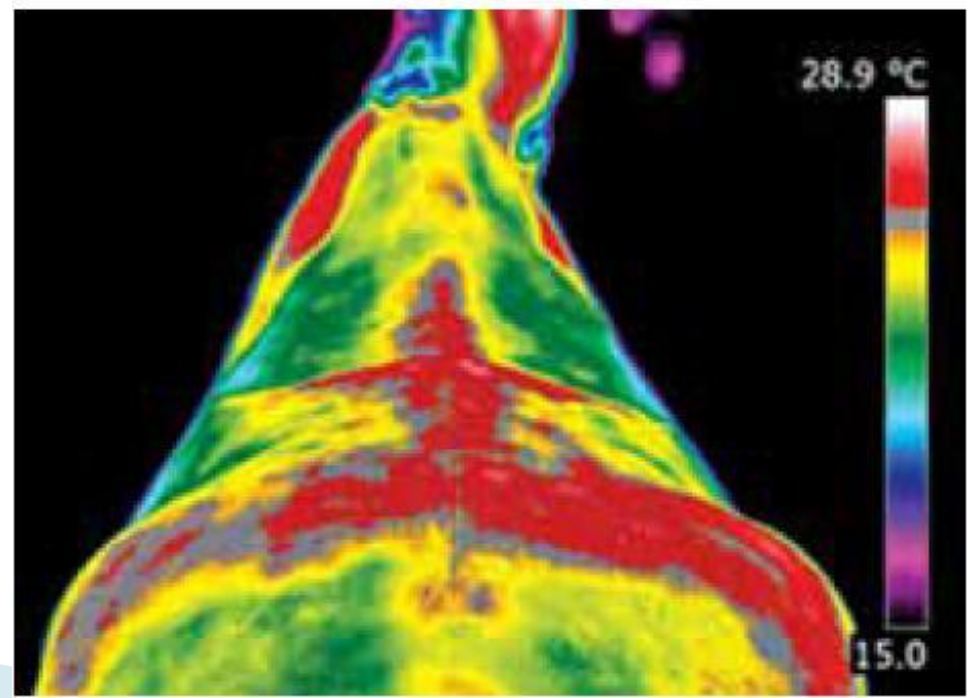
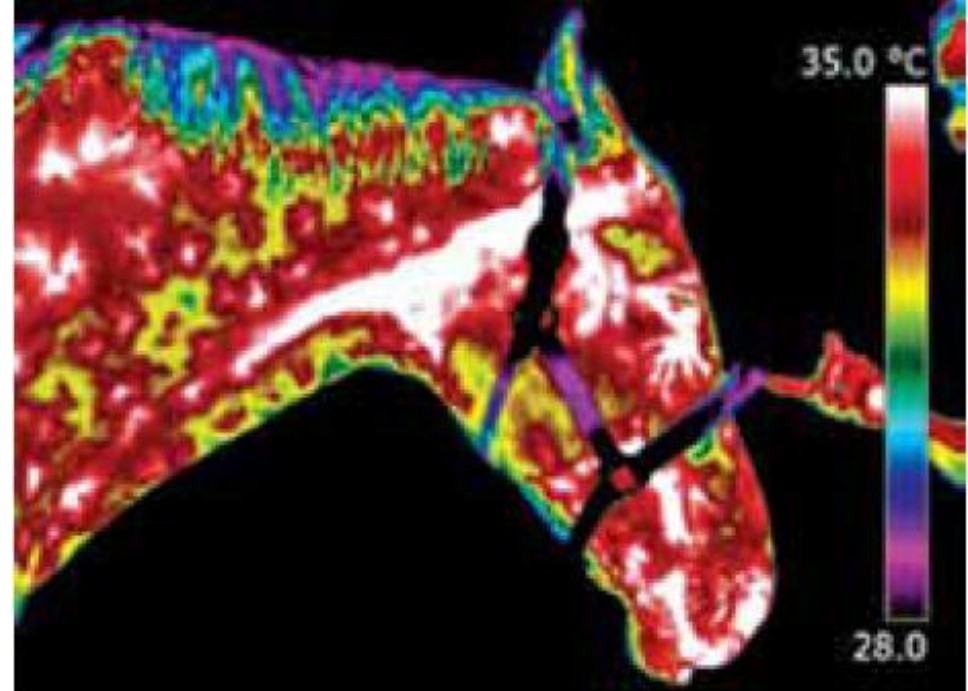
Wsp. przenikania ciepła k
0.309 W/m²*K

OK

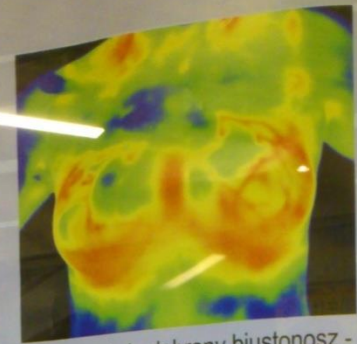
Anuluj

Pomoc

Reakcja tkanki żywej
na uciski, obtarcia od
uprząży oraz od
stopnia rozgrzania
mięśni.



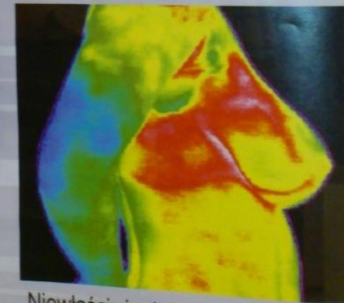
Reakcja tkanki ludzkiej na uciski i obtarcia od nieprawidłowej bielizny.



Niewłaściwie dobrany biustonosz - zbyt mała miska



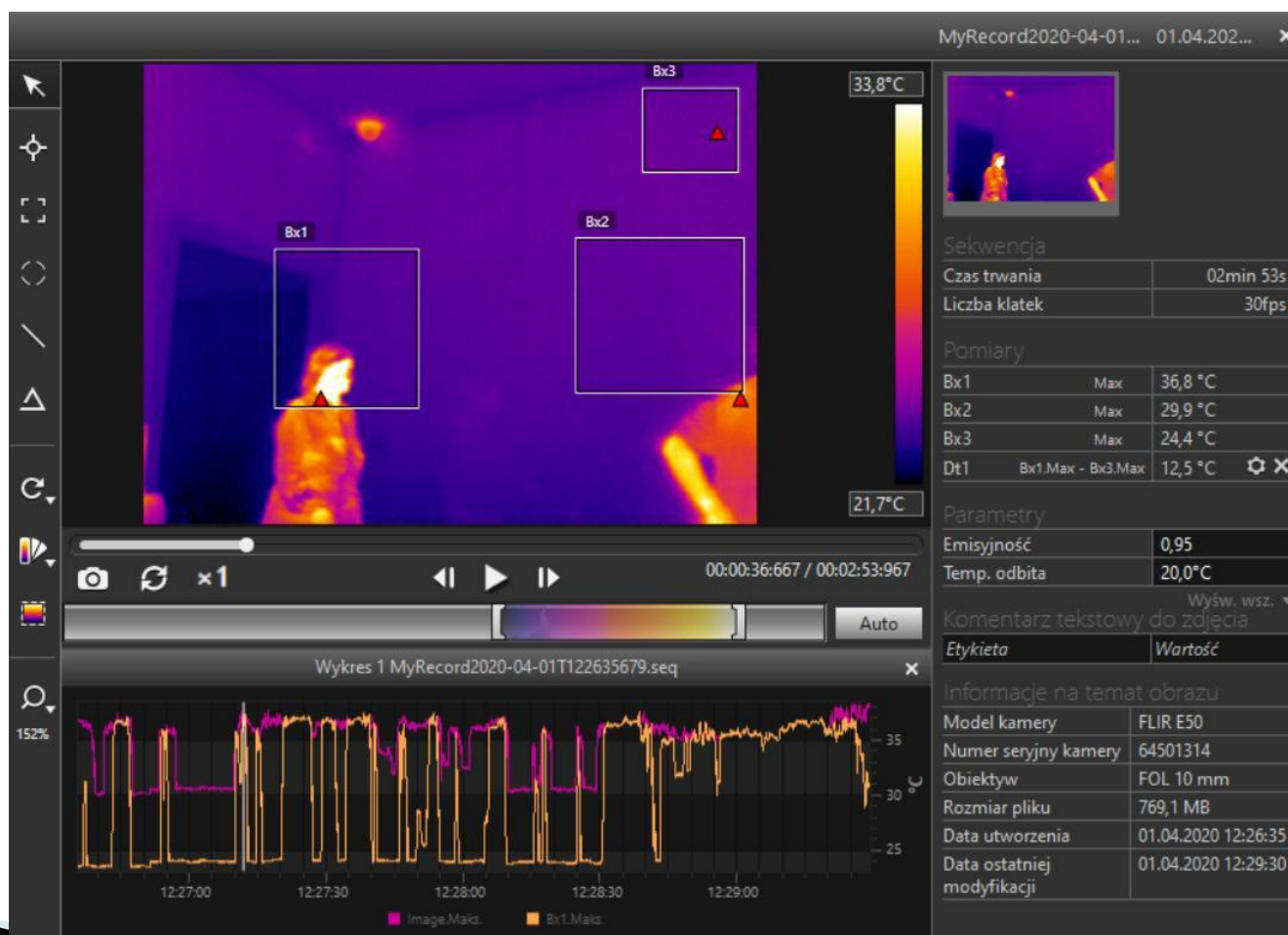
Właściwie dobrany biustonosz



Niewłaściwie dobrany biustonosz - zbyt mała miska i obwód

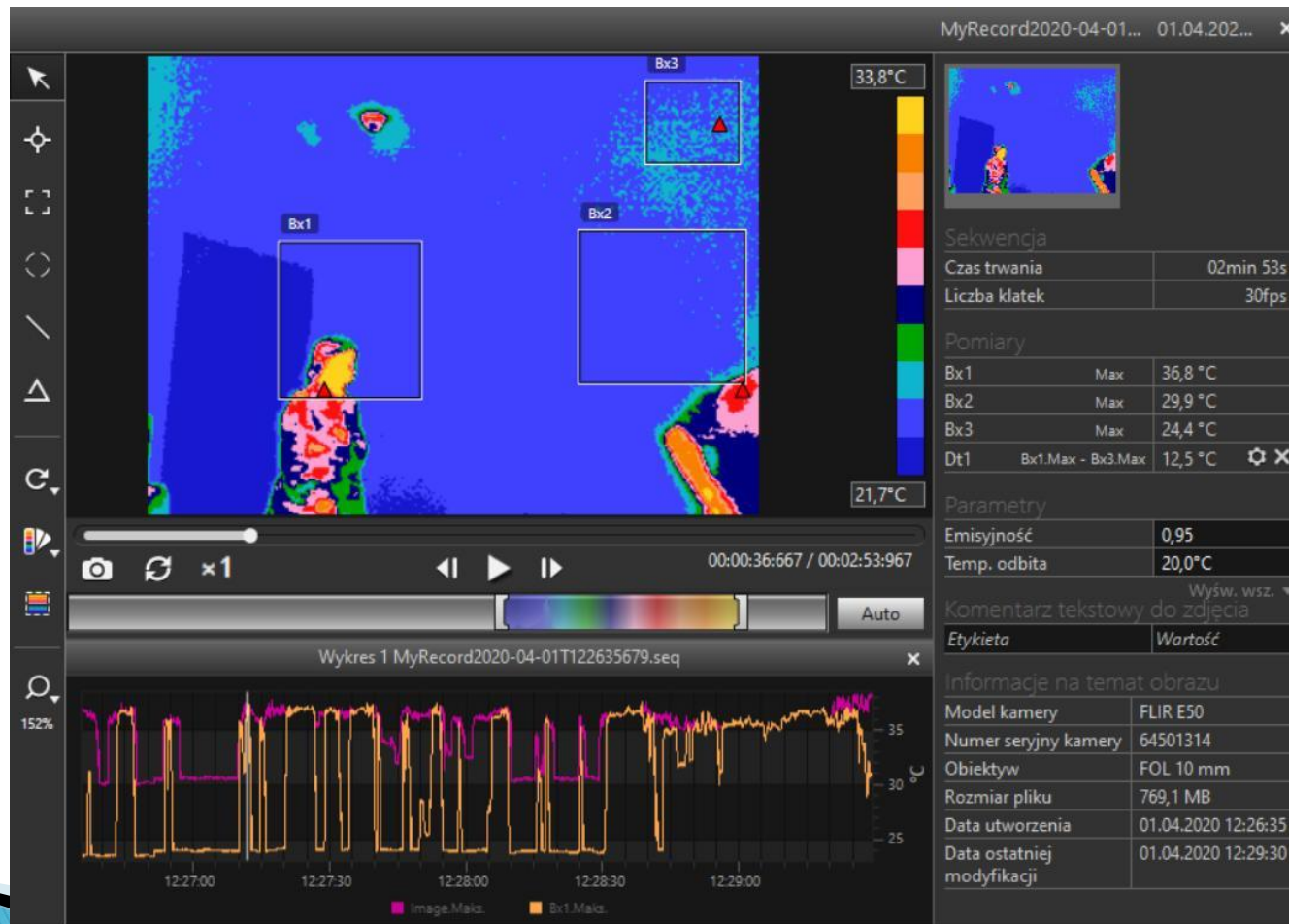


Pomiar temperatury ciała na wejściu do strefy chronionej budynku.

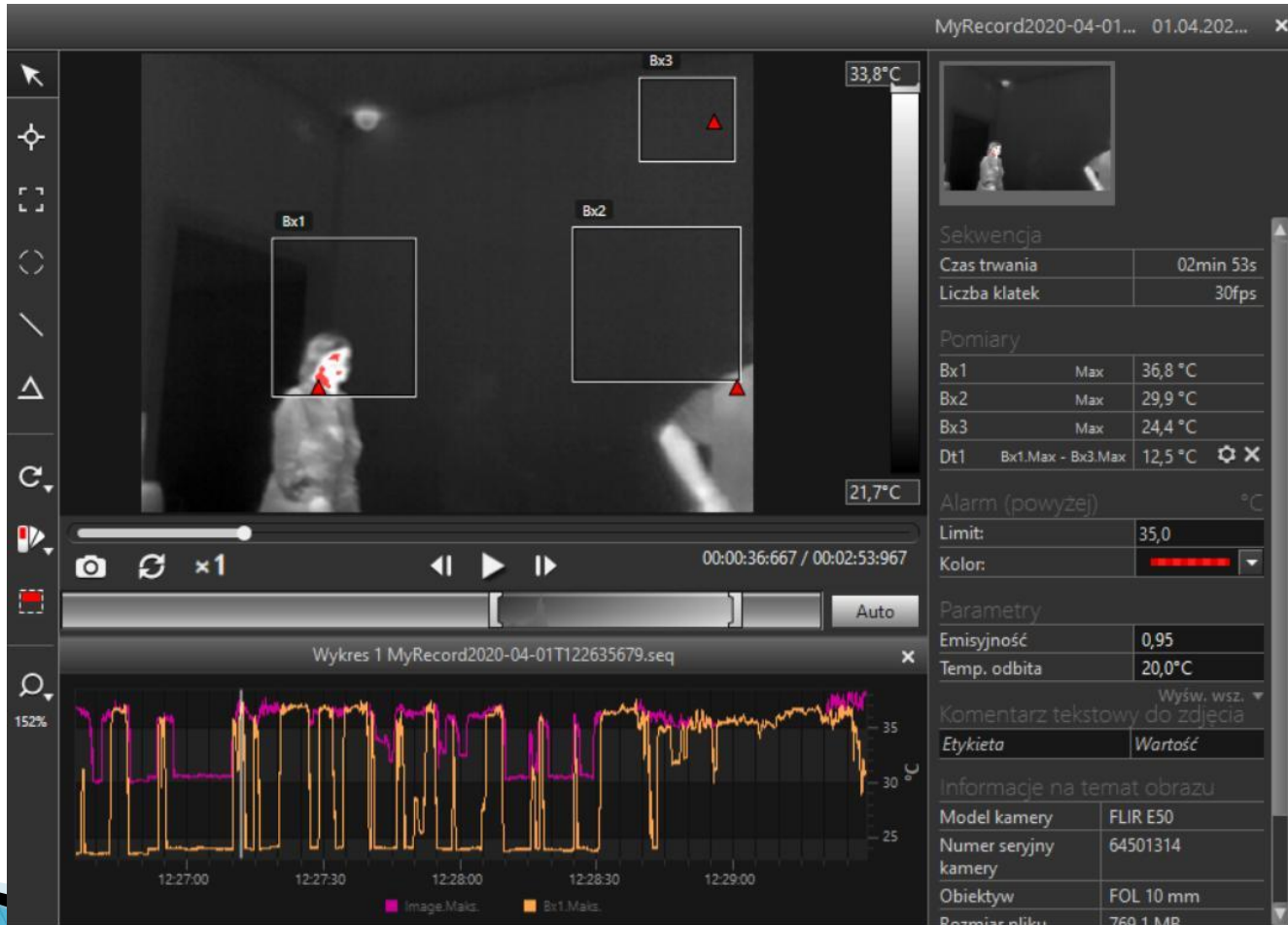


Pomiar temperatury ciała na wejściu do strefy chronionej budynku.

Inne kolorystyki termogramów.



Alarm przekroczenia zadanej temperatury.



Pomiar temperatury ciała na wejściu do strefy chronionej budynku.

Alarm przekroczenia zadanej temperatury na ekranie oraz funkcja różnicy temperatur w obszarze Bx1 względem obszaru referencyjnego Bx3.

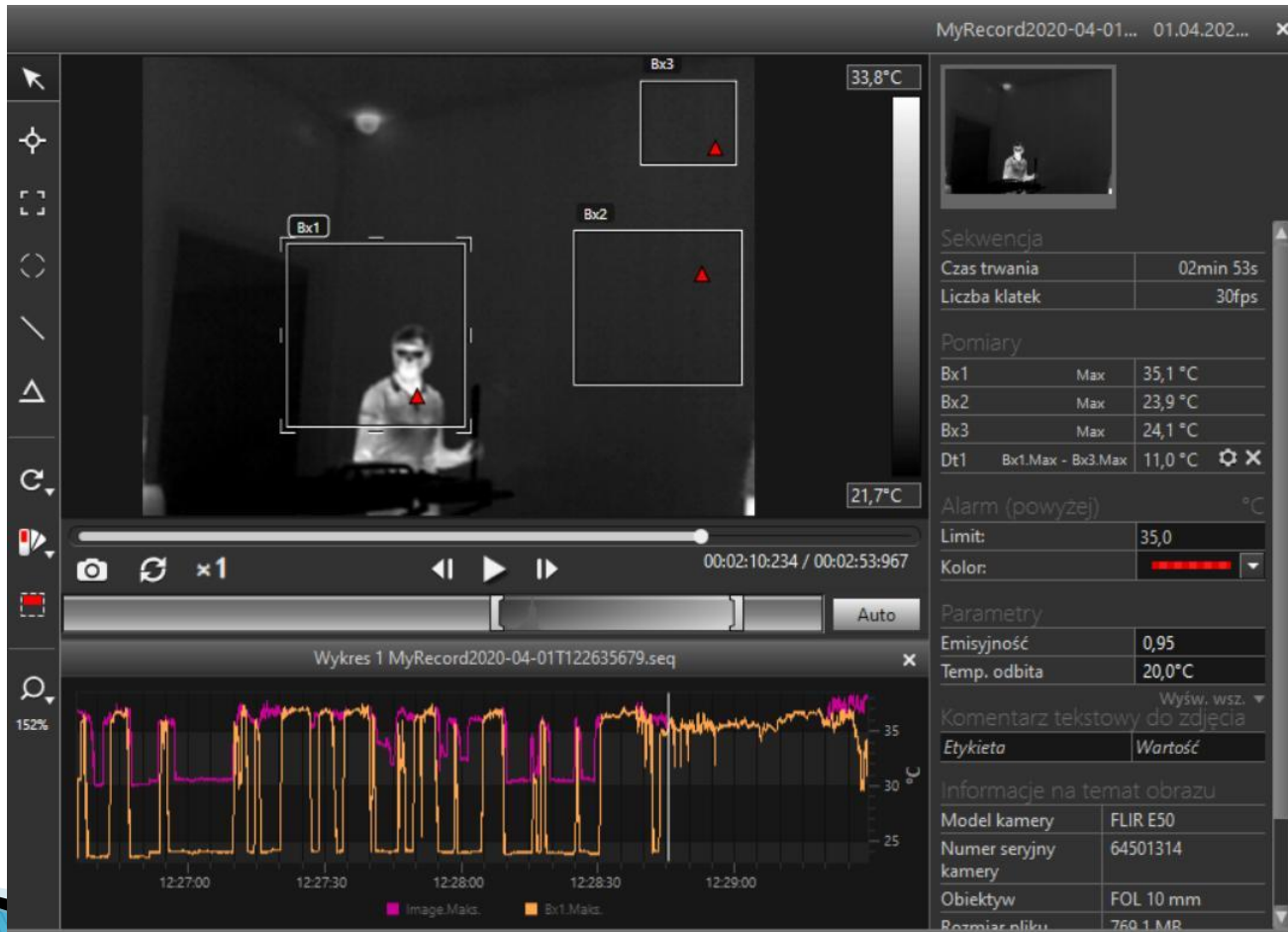


Pomiary		
Bx1	Max	36,7 °C
Bx2	Max	36,4 °C
Bx3	Max	24,3 °C
Dt1	Bx1.Max - Bx3.Max	12,4 °C

Alarm (powyżej)		°C
Limit:	35,0	
Kolor:		

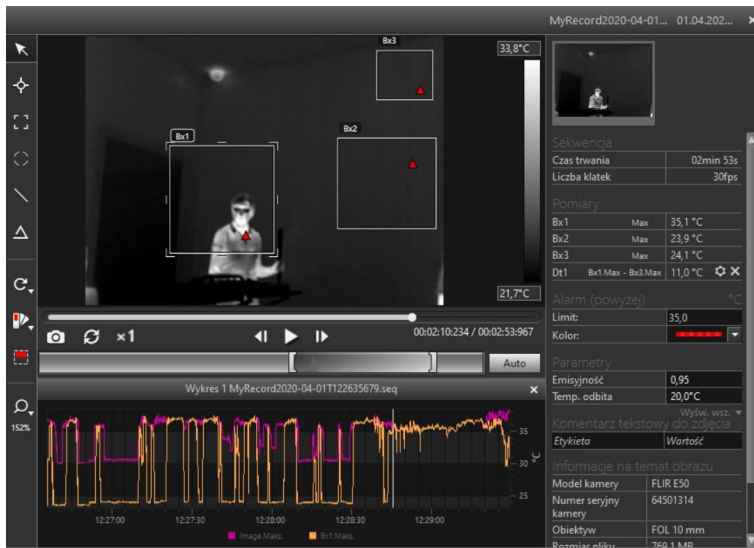
Pomiar temperatury ciała na wejściu do strefy chronionej budynku.

Problem osoby z wychłodzoną skórą.



Pomiar temperatury ciała na wejściu do strefy chronionej budynku.

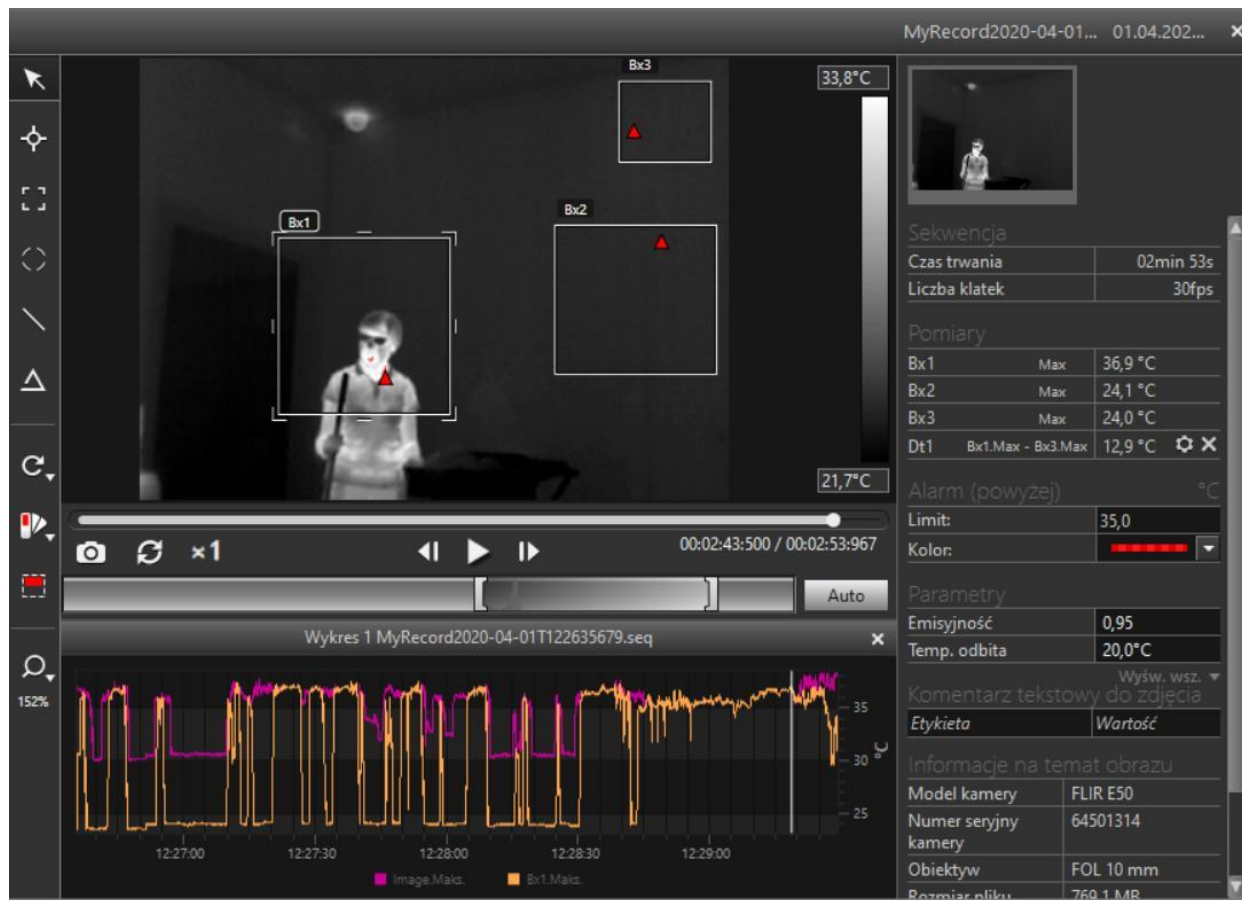
Problem osoby z wychłodzoną skórą.



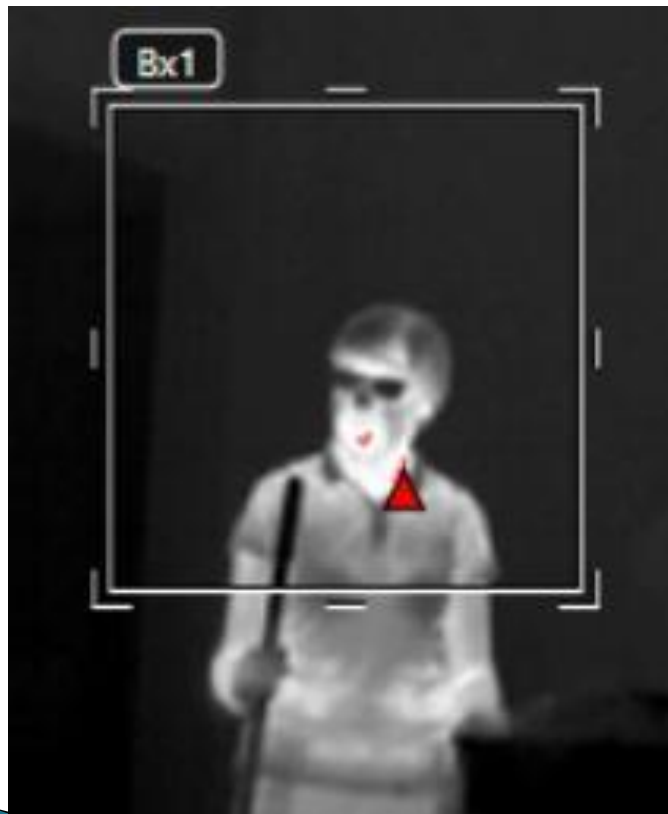
Pomiary		
Bx1	Max	35,1 °C
Bx2	Max	23,9 °C
Bx3	Max	24,1 °C
Dt1	Bx1.Max - Bx3.Max	11,0 °C
Alarm (powyżej)		
Limit:	35,0 °C	
Kolor:	[red bar]	

Pomiar temperatury ciała na wejściu do strefy chronionej budynku.

Problem osoby z wychłodzoną skórą.



Pomiar temperatury ciała na wejściu do strefy chronionej budynku.
Problem osoby z wychłodzoną skórą.



Pomiary		
Bx1	Max	36,9 °C
Bx2	Max	24,1 °C
Bx3	Max	24,0 °C
Dt1	Bx1.Max - Bx3.Max	12,9 °C
Alarm (powyżej) °C		
Limit:	35,0	
Kolor:		

Pomiar temperatury ciała na wejściu do strefy chronionej budynku.
Problem różnic temperatur zmierzonych z różnej odległości.



Pomiar temperatury ciała na wejściu do strefy chronionej budynku.

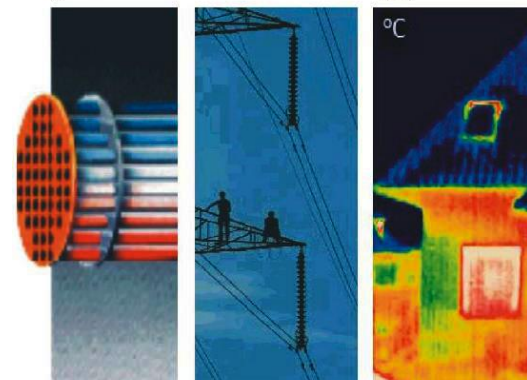
Problem różnic temperatur zmierzonych z różnej odległości.



Pomiary		
Bx1	Max	37,5 °C
Bx2	Max	36,5 °C
Bx3	Max	24,3 °C
Dt1	Bx1.Max - Bx3.Max	13,2 °C
Alarm (powyżej) °C		
Limit:		35,0
Kolor:		[red bar]



powerauditing.com



yourthermo.com

Audytor energetyczny a termografia. Koniec.