



WOJEWÓDZKI FUNDUSZ
OCHRONY ŚRODOWISKA
I GOSPODARKI WODNEJ
W GDAŃSKU



Ministerstwo
Klimatu i Środowiska



Narodowy Fundusz
Ochrony Środowiska
i Gospodarki Wodnej

DOFINANSOWANE ZE ŚRODKÓW WOJEWÓDZKIEGO FUNDUSZU OCHRONY ŚRODOWISKA I GOSPODARKI WODNEJ
W GDAŃSKU ORAZ NARODOWEGO FUNDUSZU OCHRONY ŚRODOWISKA I GOSPODARKI WODNEJ

Metoda diagnostyki energetycznej budynku (badania termowizyjne)

Grzegorz MIZERA

Wstęp

Wszyscy chcemy w komfortowych warunkach mieszkać, pracować i uczyć się, wypoczywać, po prostu żyć. Pomieszczenia, w których przebywamy powinny więc spełniać te warunki, w tym posiadać właściwą temperaturę powietrza, jego skład, wilgotność, dostęp do ciepłej wody i właściwego oświetlenia. Do spełnienia tych warunków potrzebne jest odpowiednie wyposażenie i ENERGIA.

Problem pozyskiwania energii z ekologicznych źródeł to jedno z największych wyzwań współczesności. Konieczność rezygnacji ze źródeł energii opartych o paliwa kopalne powoduje, że koszt energii z roku na rok się podnosi. Jak obniżyć więc koszt energii, którą zużywamy na nasze potrzeby? Najszybsza i najmniej kosztowna metoda ... to jej oszczędzanie.

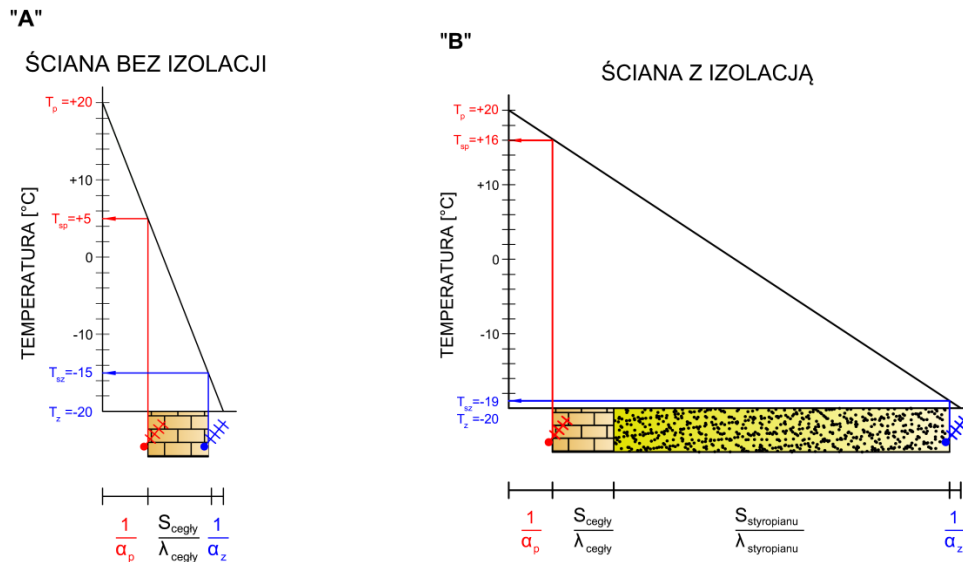
Jak to zrobić? Usunąć, uszczelnić, zminimalizować miejsca, w których nam ta energia „ucieka” lub nadmiernie się zużywa. Ciekące krany z ciepłą wodą, niezaizolowane zbiorniki na ciepłą wodę, wentylacja pomieszczeń poprzez otwierane okien, czy też w praktyce najczęściej występujące straty spowodowane złym stanem (lub brakiem) izolacji ścian zewnętrznych budynków. Dlatego szukając oszczędności w kosztach eksploatacyjnych budynku należy się przyjrzeć m.in. izolacji ich ścian. Oczywiście zwykłe obejrzenie ścian pozwala nam na stwierdzenie czy izolacja jest czy jej nie ma (gorzej jak ściany są pokryte tynkiem), czy są mechaniczne uszkodzenia, w jakim jest stanie. Trudniej jak chcemy stwierdzić czy istniejąca izolacja spełnia w należyty sposób swoją rolę? Aby udzielić odpowiedzi na tak postawione pytania trzeba wykonać specjalistyczne badania.

Najpopularniejsze z nich to badania wykonane przy pomocy kamery termowizyjnej polegające w uproszczeniu na pomiarze temperatur powierzchni zewnętrznej i/lub wewnętrznej przegród budowlanych. Dlaczego pomiar temperatury tych powierzchni świadczy czy izolacja jest „dobra” czy „zła”? Jeżeli temperatura powierzchni ściany zewnętrznej naszego mieszkania jest wysoka, to znaczy że „dobrze” grzejemy otoczenie naszego domu (podwórko, ogród, ulicę), a jeżeli temperatura naszej ściany wewnętrznej w pokoju (mieszkanie) jest niska to znaczy, że „dobrze” jest chłodzony nasz pokój (mieszkanie) przez zimne warunki panujące na zewnątrz.

Tą oczywistość zilustrował i wyznaczył graficznie temperatury ściany od zewnątrz i od wewnątrz Schmidt (1944) - rys.1A i 1B. Rysunek 1A przedstawia ścianę z cegły o grubości $S_{\text{cegły}} = 125 \text{ mm}$ nie zaizolowaną, zaś 1B tę samą ścianę zaizolowaną styropianem o grubości $S_{\text{styropianu}} = 50 \text{ mm}$. Na osiach odciętych odłożono kolejno wartości $1/\alpha_p$ (współczynnik przejmowania ciepła na powierzchni wewnętrznej ściany), wartość ilorazu $S_{\text{cegły}}$ (grubości cegły) i współczynnika przewodzenia ciepła $\lambda_{\text{cegły}}$ oraz wartości $1/\alpha_z$ (współczynnik przejmowania ciepła na powierzchni zewnętrznej ściany). Na rysunku 1B dodatkowo dodał iloraz $S_{\text{styropianu}}$ (grubości styropianu) i współczynnika przewodzenia ciepła styropianu, $\lambda_{\text{styropianu}}$. Na osi rzędnych zaznaczono temperaturę zewnętrzną, T_z , tu równa $-20 \text{ }^\circ\text{C}$, oraz temperaturę w pomieszczeniu T_p , tu równą $+20 \text{ }^\circ\text{C}$. Poprowadzona linia prosta pomiędzy punktem wynikającym z odłożenia poszczególnych odcinków na osi odciętej z punktem na osi rzędnych oznaczającym temperaturę w pomieszczeniu otrzymujemy wykres temperatur w różnych przekrojach muru i izolacji. I tak dla ściany bez izolacji temperatura na zewnętrznej ścianie muru wynosi $T_{sz} = -15 \text{ }^\circ\text{C}$, zaś na wewnętrznej $T_{sp} = +5 \text{ }^\circ\text{C}$. Dla ściany zaizolowanej temperatury te wynoszą odpowiednio $T_{sz} = -19 \text{ }^\circ\text{C}$ zaś $T_{sp} = +16 \text{ }^\circ\text{C}$. Oczywiście temperatury te są wyznaczone na drodze przenikania ciepła i nie uwzględniają wpływu zakłóceń o czym będzie mowa w dalszej części artykułu.

Jeżeli podczas takich badań zaizolowanej ściany stwierdzi się, że temperatury występujące na powierzchni zewnętrznej ściany są wyższe niż $-19 \text{ }^\circ\text{C}$ jest to informacja, że izolacja nie spełnia swoich

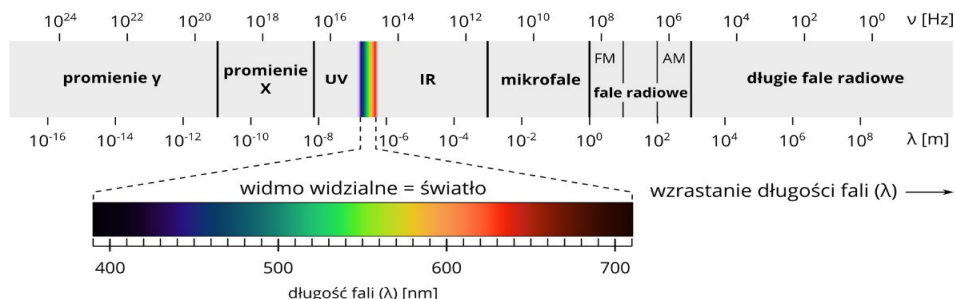
założeń i jest „gorsza” (np. zawilgocona), a płaszczyzny gdzie będzie temperatura $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, że izolacji brak. Przy badaniach dokonywanych poprzez pomiar temperatury ścian wewnętrznych różnice te są bardziej widoczne. Powierzchnia wewnętrzna ściany po zaizolowaniu powinna mieć temperaturę ok. $+16\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tam gdzie brakuje izolacji, temperatura będzie wynosiła ok. $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Powierzchnie ściany o temperaturze niższej od $+16\text{ }^{\circ}\text{C}$ a wyższej od $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ oznaczają, że izolacja na tych płaszczyznach jest „gorsza”.



Rys.1. Wykres Schmidta

Historia termowizji

Kamera termowizyjna wykorzystuje fizyczne zjawisko polegające na emitowaniu przez każde ciało o temperaturze wyższej od zera bezwzględnego ($0\text{ K} = -273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$), promieniowanie w postaci fal elektromagnetycznych, w tym promieniowanie ciepłe, w pasmie niewidzialnym o długości fali od $0,75$ do $1000\text{ }\mu\text{m}$. Promieniowanie to nosi różne nazwy: **podczerwone (IR - infrared, najczęściej używana)**, temperaturowe, ciepłe lub długofalowe. Dla porównania światło widzialne ma długość $0,35\text{ }\mu\text{m}$ do $0,75\text{ }\mu\text{m}$ – rys.2.



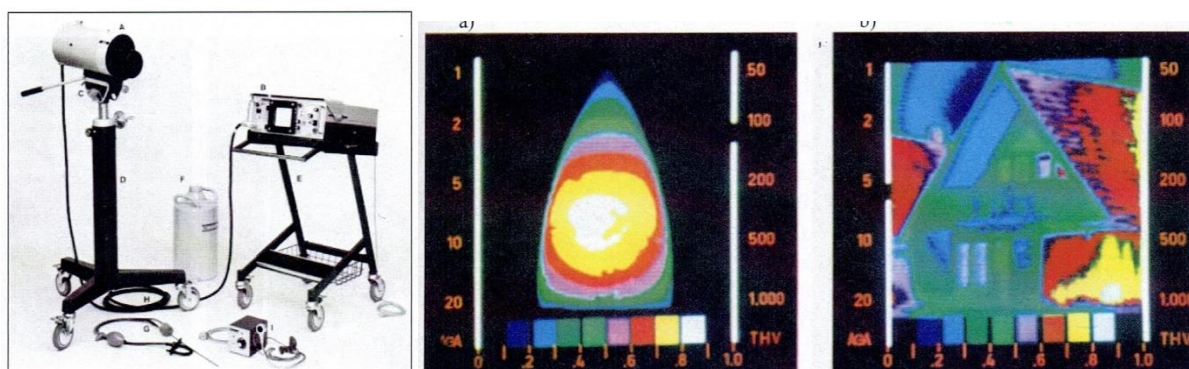
Rys. 2. Podział promieniowania występującego w przyrodzie.



Rys. 3. Sir Frederic William HERSCHEL

Za odkrywcę tego promieniowania uważa się Fryderyka HERSCHEL'a (początek XIX w.). Badając zjawisko rozczepienia światła słonecznego, stwierdził, że obok promieniowania widzialnego poza barwą czerwoną musi istnieć promieniowanie niewidzialne. Odkryty obszar widma Herschel nazwał „niewidzialnym widmem temperaturowym” a promieniowanie niewidzialnym. Wielu naukowców w późniejszym okresie zaczęło badać to promieniowanie i stwierdziło, że podlega ono takim samym zjawiskom jak promieniowanie widzialne (odbiciu, interferencji, załamaniu, pochłanianiu).

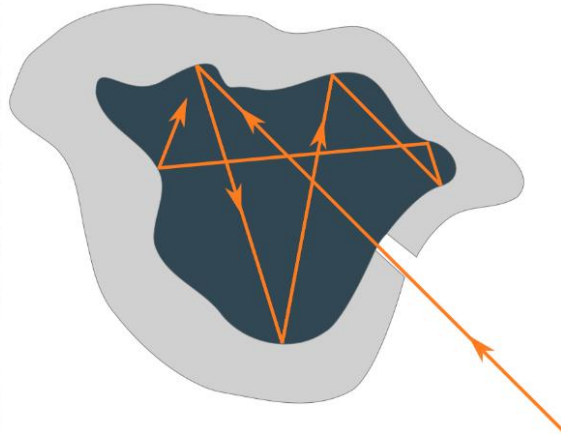
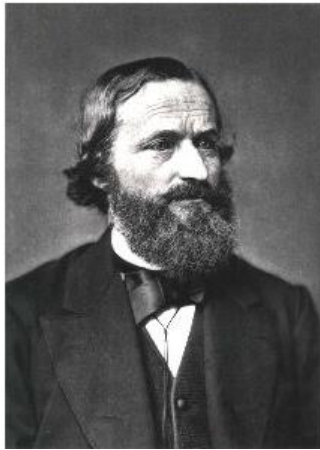
Praktyczne wykorzystanie promieniowania podczerwonego miało miejsce, podczas pierwszej wojny światowej, w urządzeniach do zdalnego pomiaru temperatury w systemach naprowadzania oraz wykrywania wroga. Pierwszą kamerę termowizyjną dla potrzeb wojska wyprodukowano w Szwecji AGA Thermovision 600 w roku 1960. Wkrótce potem doczekały się zastosowania cywilnego w przemyśle, energetyce, medycynie, ratownictwie i budownictwie. Rysunek 4 przedstawia model udoskonalony kamery z 1960 roku, (mniejszy, lżejszy), kamerę AGA Thermovision 680 wraz z obrazem termowizyjnym jaki przy jej pomocy uzyskiwano.



Rys. 4. Kamera AGA Thermovision 680

Podstawowe pojęcia i prawa dotyczące termowizji

Ciało doskonale czarne zdefiniował Gustaw Robert Kirchhoff w 1860 roku. Według sprecyzowanego przez niego pojęcia jest to ciało (wyidealizowane), które pochłania całe padające na nie promieniowanie niezależnie od jego długości, nie odbija padającego na nie promieniowania ani nie przepuszcza je przez siebie. Współczynnik emisyjności dla niego wynosi 1.

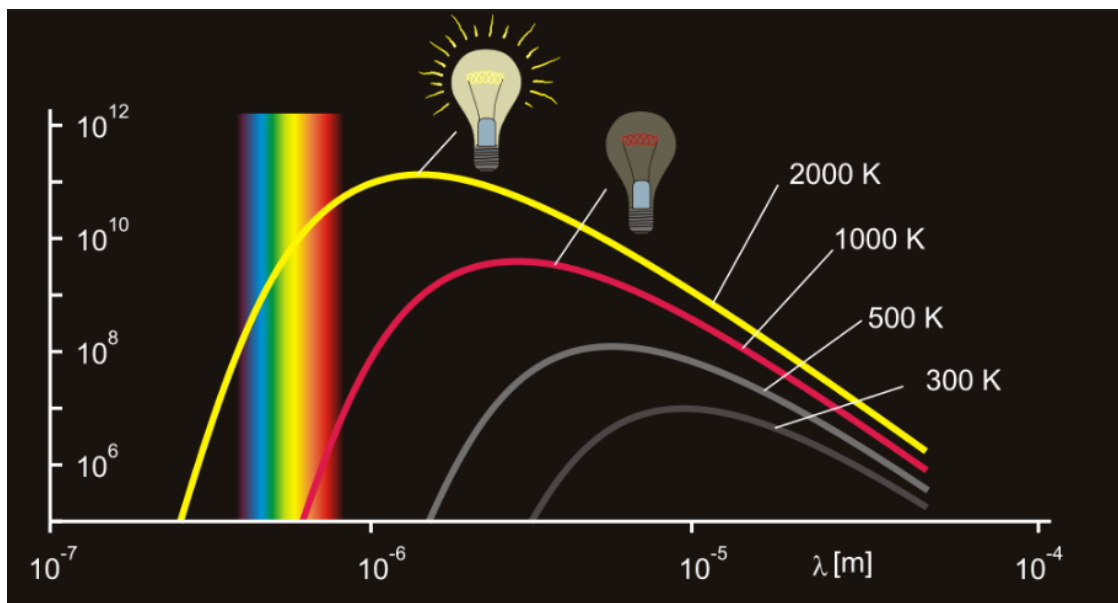


Rys.5. Gustaw Robert KIRCHHOFF i interpretacja ciała doskonale czarnego

Prawo Plancka (interpretacja graficzna na rys.7). Czym wyższa temperatura ciała czarnego tym natężenie emitowanej energii wzrasta dla każdej długości fal. Wraz z obniżaniem temperatury ciała czarnego, maximum emitowanej energii przesuwa się w kierunku fal dłuższych.



Rys. 6. Max PLANCK



Rys 7. Graficzna interpretacja prawa Maxa Plancka [Internet]

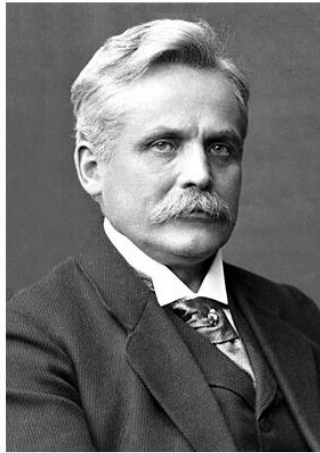
Prawo przesunięcia Wiena

W oparciu o prawo Plancka, Wilhelm Wien wyznaczył długość fali promieniowania ciała czarnego odpowiadającej maksymalnej emisyjności, w zależności (funkcji) od jego temperatury bezwzględnej:

$$\lambda_{\max} = 2898/T$$

gdzie:

λ_{\max} [μm] – długość fali promieniowania odpowiadającej maksymalnej emisyjności,
 T [K] – temperatura bezwzględna ciała czarnego.



Rys.8. Wilhelm WIEN

Prawo Stefana – Boltzmann.

Natężenie promieniowania cieplnego emitowanego przez ciało doskonale czarne jest proporcjonalne do czwartej potęgi jego temperatury bezwzględnej:

$$W_b = C_o (T/100)^4$$

gdzie :

W_b [W/m^2] – emitancja (moc promieniowania elektromagnetycznego) całkowita ciała czarnego ,
 $C_o = 5,6693$ [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}^4$] – stała promieniowania,
 T [K] – temperatura.



Rys.9. Josef STEFAN i Ludwig BOLTZMANN

Ciało rzeczywiste

Ciała rzeczywiste w porównaniu z wyidealizowanym ciałem czarnym zachowują się specyficznie.

W praktyce padające na to ciało promieniowanie jest tylko:

- częściowo **pochłonięte** (współczynnik absorpcyjności - a),
- częściowo zostaje **odbite** (współczynnik refleksyjności - r),
- częściowo **przepuszczone** (współczynnik przepuszczalności - p).

Zgodnie jednak z prawem KIRCHHOFA: $a+r+p=1$ (1)

- dla **ciała doskonale czarnego** możemy zapisać $a=1$, $r=0$ i $p=0$;
- dla **idealnego lustra** (ciało białe) $r=1$, $a=0$, $p=0$;
- dla **ciała idealnie przezroczystego** $p=1$, $a=0$, $r=0$.

Ciało „szare” ma $a < 1$.

Ciało idealnie czarne pochłania całe padające na niego promieniowanie $a=1$. Jeżeli ciało doskonale czarne jest w stanie równowagi termodynamicznej (nie zmienia się jego energia wewnętrzna, czyli temperatura jest stała) to współczynnik emisyjności ϵ też musi się równać 1; współczynnik emisyjności to stosunek emisyjności danego ciała do emisyjności ciała doskonale czarnego o tej samej temperaturze. Jego wartość zawiera się w przedziale $0 < \epsilon < 1$. Dla ciała „szarego” można zapisać: $\epsilon = a$. Czyli stosunek emisyjności ciała do jego absorpcyjności jest zależny tylko od temperatury i jest wartością stałą.

Wartość współczynnika ϵ jest zależna od wielu wielkości. Najważniejsze to temperatury powierzchni ciała, długości fali promieniowania, kierunku emisji (kąta), rodzaju ciała, chropowatości i jego składu chemicznego. Tabela 1 podaje współczynniki emisyjności najbardziej popularnych materiałów dla różnych temperatur.

Tabela 1 Współczynniki emisyjności dla różnych materiałów w różnych temperaturach

Materiał	Temperatura [°C]	Współczynnik emisyjności ϵ
Metale		
Aluminium matowe	50 (100)	0,07 (0,03)
Aluminium polerowane	50 (100)	0,05 (0,09)
Aluminium silnie utlenione	50 (93)	0,30 (0,20)
Blacha cynkowa	50	0,20
Blacha ocynkowana błyszcząca	50	0,23
Blacha ocynkowana utleniona (szara)	50	0,28
Brąz polerowany	0	0,1
Brąz surowy (porowaty)	0	0,55
Chrom polerowany	0 (150)	0,1 (0,06)
Cynk arkusz	0	0,2
Nikiel polerowany	0	0,05
Miedź polerowana	0 (40)	0,018-0,023 (0,03)
Miedź utleniona	0n (130)	0,65 (0,76)
Mosiądz polerowany	0	0,03
Mosiądz zmatowiony	0	0,22
Ołów błyszczący	0	0,08
Ołów szary	0	0,28

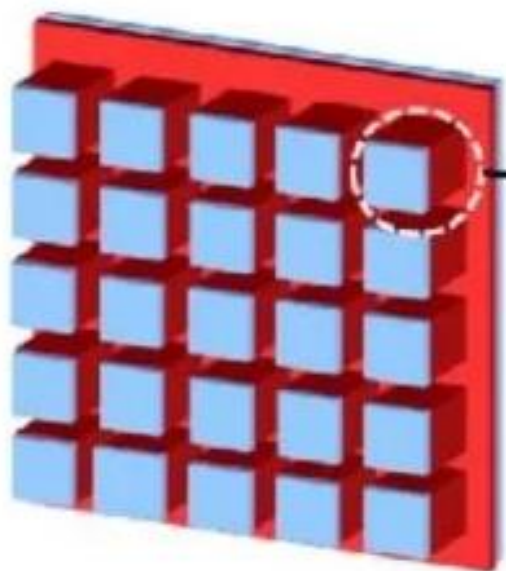
Ołów szary oksydowany	0	0,63
Srebro czyste polerowane	20	0,02
Złoto polerowane	0	0,02
Żelazo polerowane	0	0,23
Żelazo utlenione	0	0,74
Żeliwo polerowane	0	0,21
Żeliwo utlenione	0 (100)	0,74 (0,8)
Farby i lakiery		
Aluminiowa farba	325	0,35
Emalia biała na żelazie	20	0,9
Lakier biały	20	0,85-0,9
Lakier emaliowany	20	0,85-0,95
Lakier szary błyszczący	20	0,87
Lakier szary matowy	20	0,97
Olejne farby o różnych kolorach	20	0,92-0,95
Materiały budowlane		
Beton	25	0,93
Blacha stalowa utleniona	20	0,82
Blacha stalowa walcowana	50	0,56
Blacha stalowa niklowana	20	0,11
Cegła ceramiczna chropowata	0	0,88-0,93
Cegła szklwiwna	0	0,85
Cegła ogniotrwała	200	0,80-0,90
Dąb strugany	20	0,90
Drewno	70	0,94
Gips	20	0,85-0,9
Gлина spalona	70	0,91
Guma twarda	23	0,94
Guma miękka, szara	23	0,89
Granit	20	0,45
Marmur biały	40	0,95
Murarstwo	40	0,93
Papa	20	0,93
Piaskowiec	40	0,67
Tynk chropowaty	10-70	0,91
Stal silnie utleniona	20	0,88
Materiały różne		
Azbest płyta	0	0,96
Azbest tkanina	0	0,78
Bawełna	20	0,77
Gлина wypalana	0	0,91
Guma	20	0,93 – 0,95
Korek	20	0,7
Lód gładki	0	0,97
Lód chropowaty	0	0,98
Lód kryształ	-10	0,98
Papier biały	20	0,7 -0,97
Papier czarny błyszczący	20	0,9
Papier czarny matowy	20	0,94
Plastik PE,PP,PVC	20	0,94

Porcelana	20	0,92
Radiator (czarny) anodowy	5	0,98
Sadza	20-400	0,95 – 0,97
Skóra ludzka	30	0,96 -0,98
Szkło	0 (90)	0,92 (0,94)
Śnieg świeży	0	0,95
Taśma izolacyjna czarna	20	0,95
Woda	0-100	0,95 -0,97

Jeżeli do równania (1) podstawimy zależność $\epsilon = a$ to dla ciała nieprzezroczystego ($\rho=0$) można zapisać zależność $\epsilon + r = 1$ czyli $\epsilon = 1-r$. Jest to ważne równanie, bo w praktyce łatwiej jest zmierzyć wartość współczynnika refleksyjności (r) niż współczynnika emisyjności (a).

Budowa kamery termowizyjnej

Kamera termowizyjna mierzy współczynnik emisyjności różnych powierzchni, który jest zależny od jej temperatury. Główne elementy kamery termowizyjnej to: detektor podczerwieni, obiektyw i procesor do obróbki obrazu.



Rys.10. Matryca z detektorami

Detektor podczerwieni

Detektor podczerwieni dokonuje zamiany promieniowania podczerwonego na sygnał elektryczny. Do tego celu służą odpowiednie przetworniki działające na zasadzie fotodiody (przetwornik CMOS lub CCD). Do roku 1997 stosowano chłodzone (od -70 do -200 °C) detektory fotonowe. Wraz ze zmianą temperatury detektora podczerwieni następuje zmiana jego właściwości materiałowych na przykład zmiana polaryzacji elektrycznej w detektorach piroelektrycznych, czy zmiana rezystancji w detektorach bolometrycznych. Obecnie powszechnie stosowane są niechłodzone detektory termiczne. Nowoczesne detektory bolometryczne składają się z warstwy absorbującej promienie

podczerwone, termometru i izolacji termicznej. Detektory te są uformowane w matryce pikseli o bardzo małych wymiarach (od 12 do 25 μm) - rys.10. Matryce te składają się od 60x60 do 1280 x1024 pikseli, na przykład kamera FLIR E54 24° jest wyposażona w matryce o rozmiarze 320 x 240 pikseli.

Obiektyw kamery termowizyjnej

Układ optyczny podobny jest do zwykłej kamery światła widzialnego, różni się przede wszystkim rodzajem szkła, z którego jest wykonana soczewka. Soczewka kamery termowizyjnej ma za zadanie przepuszczanie promieniowania podczerwonego, a zatrzymywanie światła widzialnego. W soczewkach tych nie stosuje się tradycyjnego szkła kwarcowego, a szkło wykonane jest z takich materiałów jak german, krzem, selenek cynku, szkło chalogenidkowe czy szafir.

Zasada działania kamery termowizyjnej

Promieniowanie podczerwone „wpadające” przez obiektyw kamery wywołuje powstawanie rodzaju sygnału elektrycznego na poszczególnych detektorach matrycy. Sygnał ten będzie zmieniać się zależnie od intensywności padania na niego promieniowania podczerwonego. Układ przeszukiwania obrazu (punkt po punkcie, linia po linii) przekształca ten sygnał do postaci cyfrowej i takim widzimy go na wyświetlaczu kamery. Termowizja jest więc, rodzajem termometru działającego na odległość, który pozwala nam, poprzez rejestracje różnic w poziomie promieniowania podczerwonego badanego obiektu, stworzyć obraz temperaturowy jego powierzchni. Obraz taki nazywamy termogramem. Rozkład temperatury na badanych obiektach przedstawiany jest w postaci barwnych izoterm, gdzie jeden kolor odpowiada punktom o tej samej temperaturze. System kamery termowizyjnej automatycznie dobiera tzw. skalę temperatur, która jest widoczna na zdjęciu. Najwyższa temperatura odpowiada górnemu końcu skali a najniższa dolnemu. Paletę użytych barw może sobie użytkownik dobierać według własnych preferencji oraz od warunków w jakich najlepiej jest odwzorowywany obraz termalny badanego obiektu – rys 11.

Nowoczesne kamery wyposażone są w kartę pamięci, kamerę można podłączyć do lokalnej sieci Internetowej przy pomocy Wi – Fi bądź sparować z „chmurą” firm producentów kamer, (np. FLIR Ignite) i mieć do nich dostęp z komputera, telefonu czy tabletu.

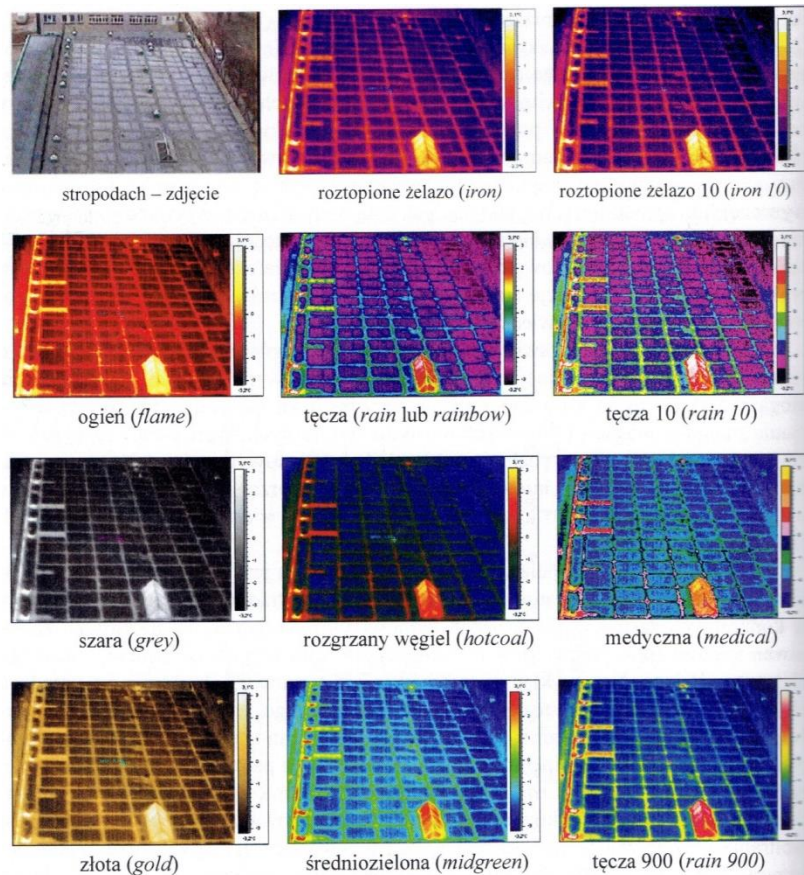
Badania termowizyjne

Badania termowizyjne należą do badań nieniszczących, są bezkontaktowe i nieinwazyjne. Badania te mogą być przeprowadzone jako badania pasywne (termografia pasywna) bądź aktywne (termografia aktywna).

Badania pasywne w budownictwie to termografia tradycyjna polegająca na ustaleniu rozkładu izoterm na ścianach zewnętrznych lub wewnętrznych badanych obiektów bez ingerencji i stymulacji cieplnej. W miejscach o „słabej” izolacji na ścianach zewnętrznych w okresach niskich temperatur zewnętrznych (np. zimą) widoczne są strefy o podwyższonej temperaturze. Czym wyższa temperatura tym „słabsza” izolacja. W przypadku wykonywania badań na ścianach wewnętrznych sytuacja jest odwrotna. Strefy z obniżoną temperaturą to strefy gdzie izolacja jest „słaba”.

Obok badań izolacyjności ścian, badaniom poddawane są okna i drzwi, stropodachy oraz niektóre węzły konstrukcyjne (badanie mostków cieplnych). Często mimo pokrycia ścian grubą warstwą izolacji nie jest ona właściwie wykonana np. połączenie konstrukcji balkonów ze stropem czy

stropu nad przejazdami. Pozytywny wynik badań pasywnych izolacji ścian może stanowić warunek odbioru etapu prac budowlanych. Dzięki badaniom pasywnym ścian można stwierdzić bezinwazyjnie o jej zawilgoceniu. Podobnie można określić niezamierzone nieszczelności przez które następuje niepożądana samo-wentylacja. Coraz powszechniej używane drony umożliwiają wykonywanie badań stropodachów metodą termografii lotniczej jak i np. stanu izolacji miejskich sieci ciepłowniczych.



Rys.11. Przykładowe palety kolorów na termogramach

Badania aktywne polegają na kontrolowanym podgrzewaniu źródłem ciepła o znanej mocy badany region, w celu wywołania kontrastu temperaturowego. W przypadku lokalnego „ostabienia” izolacji następuje szybki wzrost temperatury. Dokumentując w określonych odstępach czasu (podczas stygnięcia badanego obszaru ściany) przebieg izoterm można dość precyzyjnie określić obszar „słabej” izolacji.

Uwagi dotyczące wykonywania badań przy wykorzystaniu kamery termowizyjnej

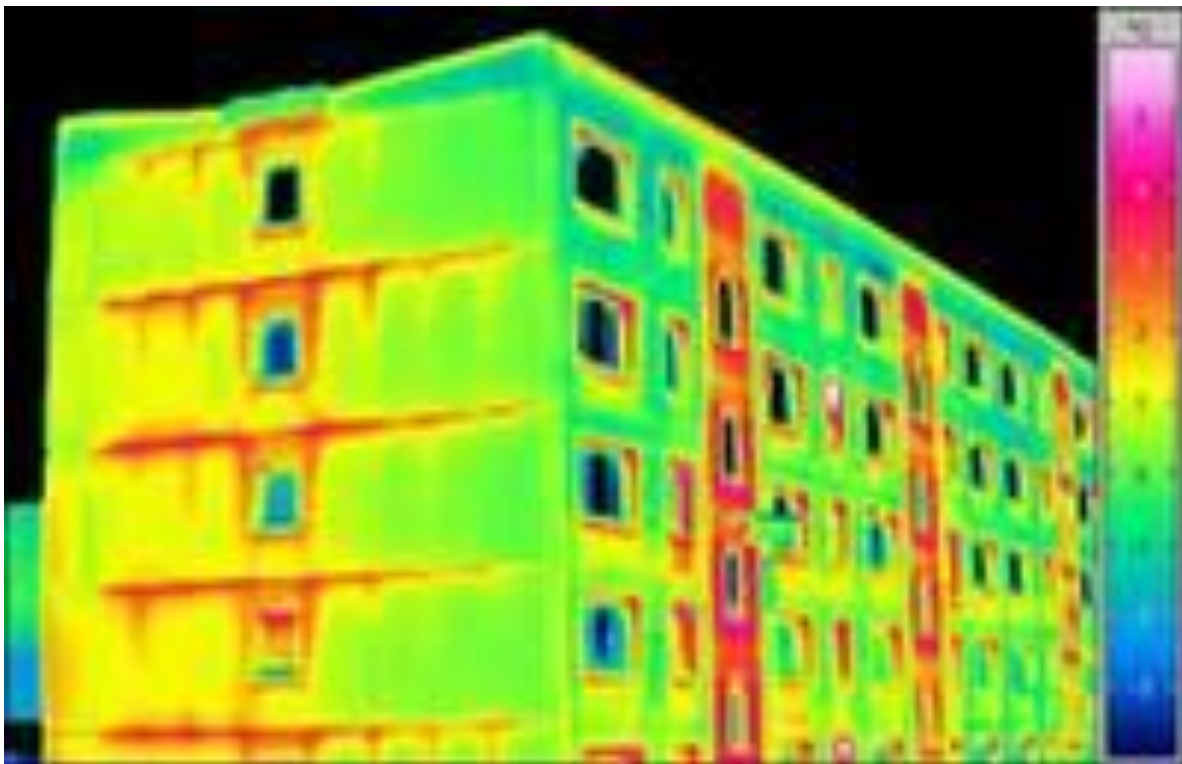
Zainstalowane w kamerze termowizyjnej detektory promieniowania cieplnego dokonują pomiaru promieniowania, które do nich dociera. Źródłem tego promieniowania w praktyce jest promieniowanie docierające od **badanego obiektu** (zależne od jego temperatury i współczynnika emisji), promieniowanie od **otoczenia** (wielkość zależy od współczynnika odbicia powierzchni) i promieniowania **atmosfery** znajdującej się pomiędzy badanym obiektem a kamerą. W praktyce do kamery i detektorów promieniowania cieplnego dociera suma promieniowania własnego obiektu

i promieniowania odbitego od jego powierzchni pomniejszana o promieniowanie cieplne pochłonięte przez atmosferę pomiędzy obiektem a detektorem. Dlatego też należy wykonywać badania zwracając szczególną uwagę by warunki pogodowe były właściwe. Za właściwe warunki uważa się brak opadów atmosferycznych, mżawki czy mgły. Najlepiej wykonywać badania przy małych prędkościach wiatru. Pogoda winna być ustabilizowana (temperaturowo) w okresie 2,3 dni przed pomiarami jak i w trakcie pomiarów. Najdokładniejsze wyniki uzyskuje się w porze nocnej kilka godzin po zachodzie słońca. Dokładność pomiaru jest też funkcją ustalenia współczynnika emisji obiektu badanego oraz znajomości temperatury promieniowania otoczenia.

Sposób i zakres wykonywania badań termowizyjnych jest zawarty w normie PN-EN 13187, zawierającej wymagania i informacje jakie powinny być zawarte z raportie z badań termowizyjnych. Polskie przepisy nie określają wymagań względem osoby wykonywującej badania termowizyjne. Norma ISO 18436 definiuje wymagania operatora kamery termowizyjnej, a potwierdzeniem posiadania uprawnień jest certyfikat międzynarodowy ITC (Infrared Training Center), w Szwecji uzyskuje się go po zdaniu egzaminu przed komisją ITC.

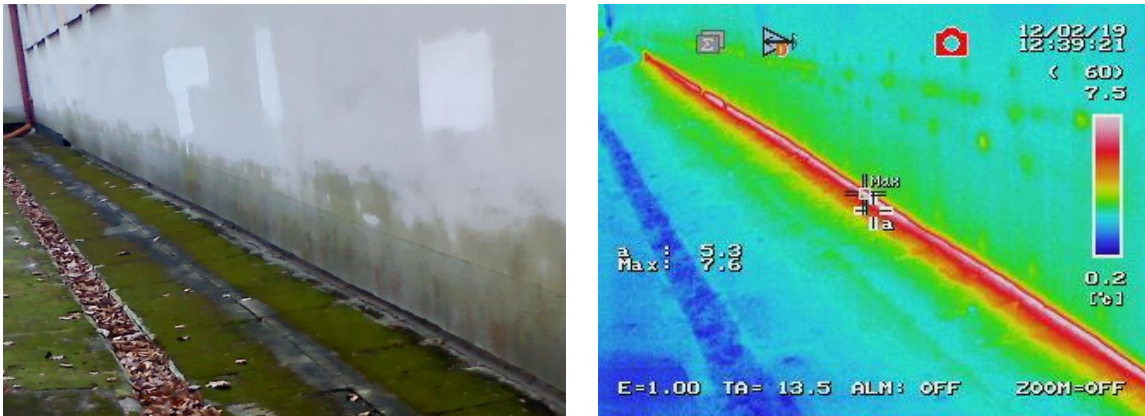
Przykład zdjęć termowizyjnych z komentarzem:

#1



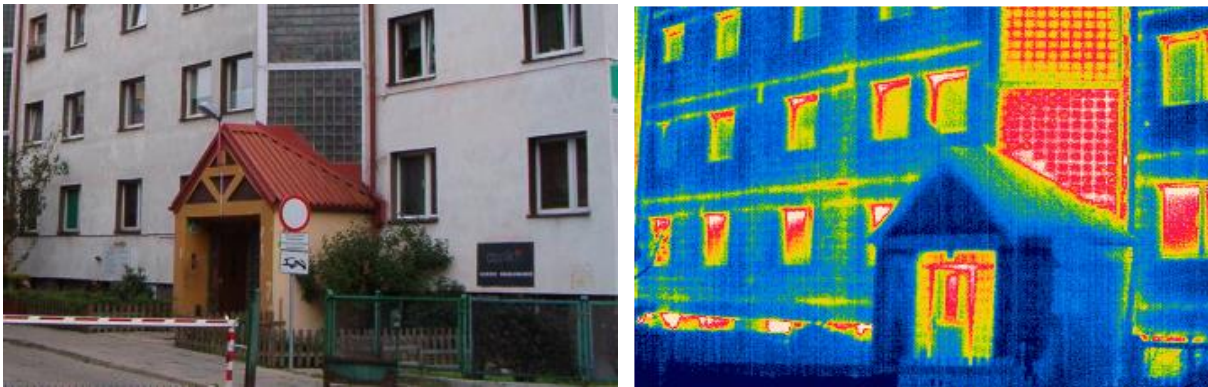
Widoczne mostki termiczne na wysokości stropów, nieszczelne połączenia płyt oraz niska izolacyjność cieplna ścian klatek schodowych.

#2.



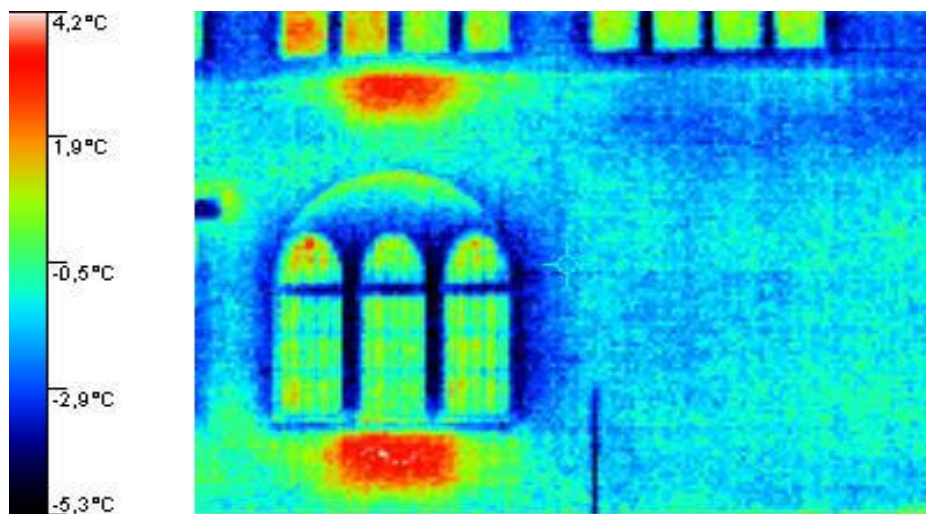
Widoczny wpływ zawilgocenia na utracę właściwości izolacyjnych

#3



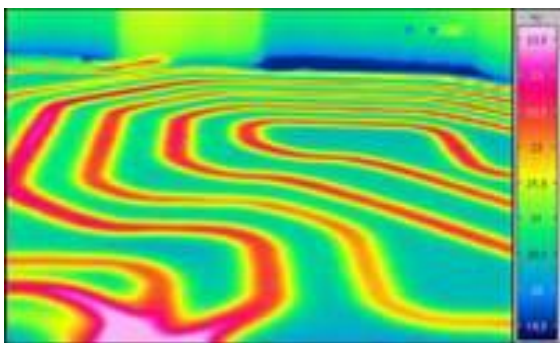
Widoczne mostki termiczne na wysokości stropów, niska izolacyjność cieplna ściany klatki wykonanej z luksferów, niedocieplone ościeża okienne, nieszczelne drzwi wejściowe do budynku.

#4

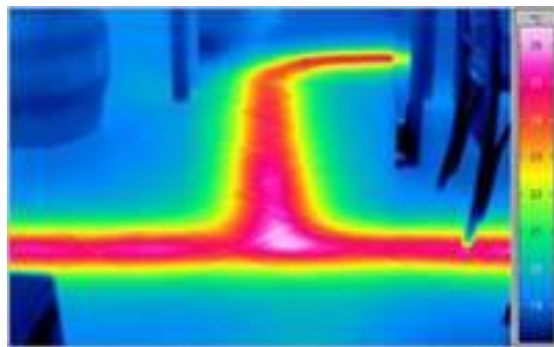


Pocienienie ściany pod oknami - widoczne "światło" grzejników w pomieszczeniach

#5

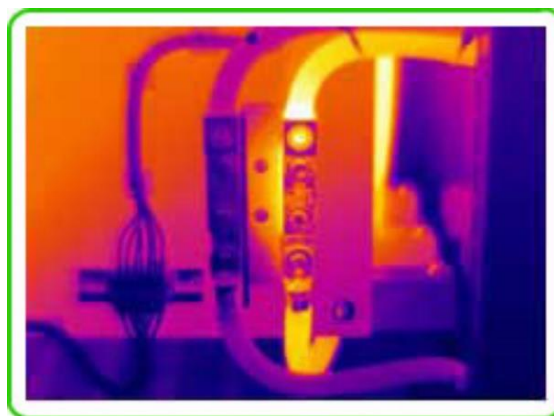


Przebieg instalacji ogrzewania podłogowego



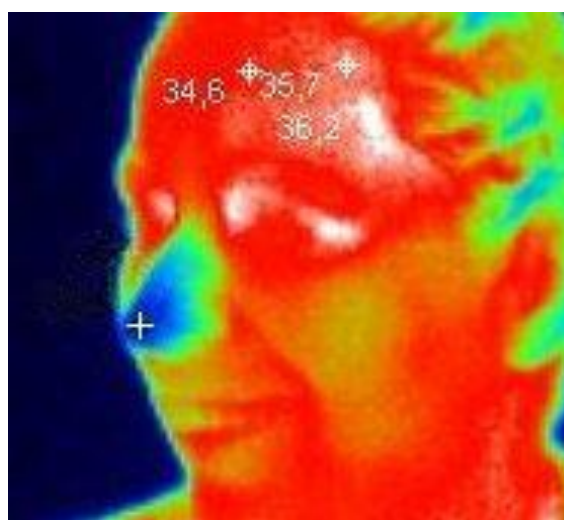
Rurociąg ciepłej wody

#6



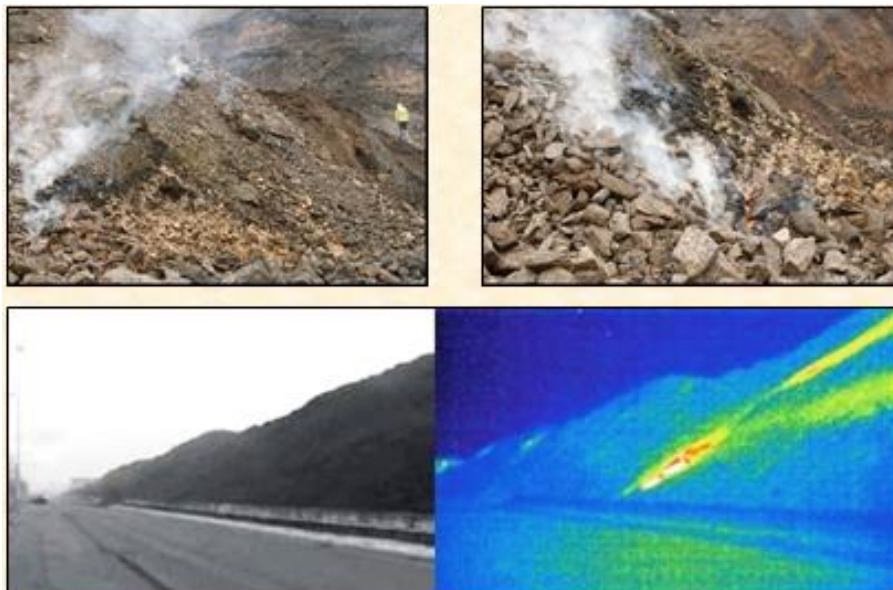
Grzanie się instalacji elektrycznej w skutek niewłaściwego wykonania styków.

#7



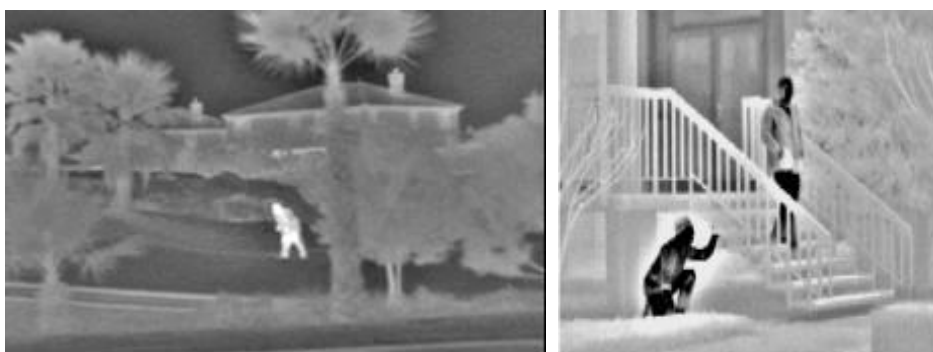
Medycyna – niedokrwienia - odmrożenia.

#8



Samozapłon hałd węglowych

#9



Inne zastosowania termowizji to między innymi: poszukiwanie osób zaginionych, wykrywanie obecności osób ukrytych.

Przykładowa zawartość raportu z przeprowadzenia badań termowizyjnych

1. Rodzaj budynku i lokalizacja obiektu badań

2. Cel badań

Sprawdzenie izolacyjności cieplnej podstawowych przegród budowlanych budynku oraz identyfikacja mostków cieplnych i innych miejsc nadmiernej ucieczki ciepła.

3. Czas badań

Badania wykonano w dniu w godzinach

4. Warunki środowiskowe i techniczne badań

Badania wykonano w następujących warunkach pogodowych:

- temperatura zewnętrzna - ok. +5°C
- wietrzność – wiatr słaby od 5 do 10m/s

- temperatura wewnętrzna pomieszczeń w budynku - ok. + 20°C.
Dostępność optyczna - wystarczająca (miejscowo przysłonięcia drzewami).

5. Metoda i aparatura badawcza

W badaniach zastosowano metodę termograficzną, uzyskując barwne obrazy (termogramy), przedstawiające pole temperatury na obiekcie. Wykorzystano aparaturę
Działanie aparatury opiera się na detekcji promieniowania podczerwonego (pasmo 8 do 14 mikrometrów) wysyłanego przez obiekt.
Określenie temperatury następuje samoczynnie dla każdego piksela obrazu po przeliczeniu energii i uwzględnieniu założonego przez operatora współczynnika emisyjności.

6. Wyniki badań

Wyniki badań przedstawiono w formie niniejszego sprawozdania zawierającego termogramy powierzchni zewnętrznych wraz z ich analizą.

Interpretacja wyników badań

W interpretacji pola temperatury należy w pierwszym rzędzie uwzględnić „bezwładność cieplną” budynku i przebieg temperatury otoczenia w ostatnich godzinach. Ze względu na błąd pomiaru temperatury (określany przez wytwórcę aparatury – zwykle plus minus 1stopień), nie należy porównywać ze sobą termogramów na różnych stronach, a tylko zgrupowane na tej samej stronie i uwzględnić różnicę temperatur między elementami.

W badaniach zewnętrznych dla dobrze izolowanych ścian ($U=0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$) obserwuje się termograficznie różnicę poniżej 1K między temperaturą powietrza a powierzchnią ściany poddaną wiatrowi poniżej 2 m/s. Narożniki wewnętrzne są zawsze cieplejsze a zewnętrzne zimniejsze od najbliższego sąsiedztwa. Do właściwej interpretacji wyników badań niezbędna jest znajomość konstrukcji ścian i wszystkich innych przegród cieplochronnych.

Pole temperatury przedstawione jest w postaci termogramów (na ogół składanych), na których zamieszczone są następujące elementy analizy:

- wzorcowa paleta barw wraz z zakresem temperatur (paleta – tęcza),
- wydzielony obszar analizy (prostokąt, wielokąt lub koło), dla którego podana jest temperatura średnia, minimalna i maksymalna,
- linia wzdłuż której analizowany jest przebieg temperatur oraz określone temperatury minimalne i maksymalne,
- profile temperaturowe (rozkład temperatur) wzdłuż przebiegu linii,
- zaznaczony punkt, dla którego podawana jest temperatura w danym miejscu.

Etykiety towarzyszące zaznaczonym obszarom pomiarowym na termogramach zawierają wartości temperatury. W przypadku termogramów powierzchni zewnętrznej, podana wartość temperatury jest temperaturą maksymalną zarejestrowaną w zaznaczonym obszarze. Jeżeli na termogramie przedstawia się powierzchnię wewnętrzną ściany (pomiaru wykonywane od wewnątrz), wówczas na etykiecie podawana jest temperatura minimalna występująca w rozpatrywanym obszarze.

Literatura:

1. Instrukcja kamery termowizyjnej firmy FLIR,
2. H Nowak. Zastosowanie badań termowizyjnych w budownictwie
3. T. Żurek, T. Żurek . Ochrona cieplna budynków
4. T. Żurek. WYKORZYSTANIE TERMOWIZJI W DIAGNOSTYCE CIEPLNEJ BUDYNKÓW
5. Internet