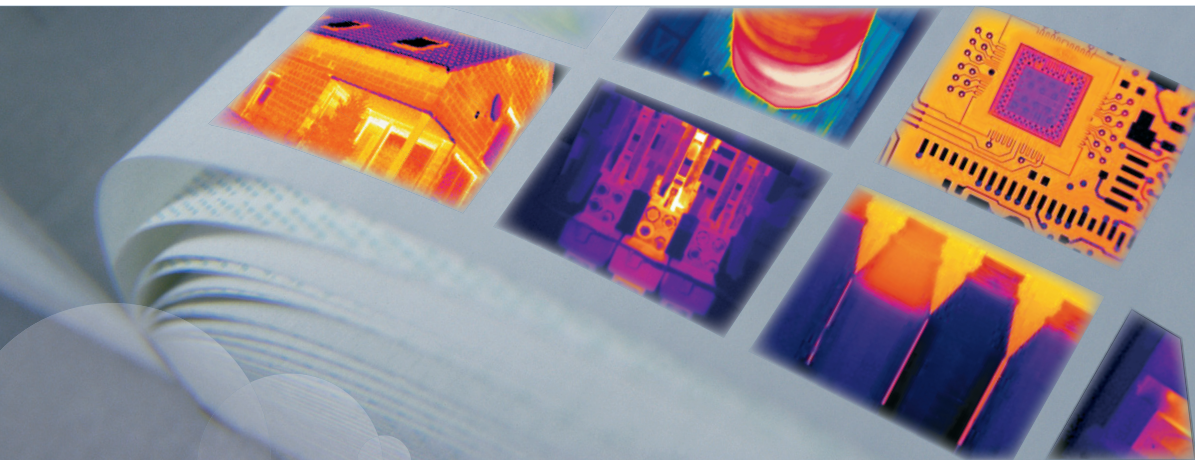




Instrukcja obsługi



FLIR i3
FLIR i5
FLIR i7
Extech IRC30

Publ. No.	T559590
Revision	a506
Language	Polish (PL)
Issue date	February 4, 2011

Instrukcja obsługi



Gwarancja

Wszystkie produkty wytwarzane przez firmę FLIR Systems są objęte gwarancją dotyczącą wad materiałowych i wad wykonania przez okres jednego (1) roku od daty dostarczenia do pierwszego nabywcy, o ile produkty te były składowane, użytkowane i serwisowane zgodnie z instrukcjami firmy FLIR Systems.

Produkty nie wytworzone przez firmę FLIR Systems, a wchodzące w skład systemów dostarczanych przez firmę FLIR Systems pierwotnemu nabywcy, objęte są wyłącznie gwarancją konkretnego producenta. Firma FLIR Systems nie ponosi za nie żadnej odpowiedzialności.

Uprawnienia z tytułu gwarancji przysługują tylko pierwotnemu nabywcy i nie podlegają przeniesieniu. Gwarancja nie obejmuje produktów, które były niewłaściwie użytkowane, z którymi obierczo nie została się niedbale, które uległy wypadkowi lub działały w niewłaściwych warunkach. Części ulegające zużyciu nie są objęte gwarancją.

W razie wystąpienia uszkodzenia objętego niniejszą gwarancją należy zaprzestać użytkowania produktu, aby zapobiec dalszemu uszkodzeniu. Pod rygorem unieważnienia gwarancji nabywca zobowiązany jest niezwłocznie powiadomić firmę FLIR Systems o każdym uszkodzeniu.

Firma FLIR Systems, wedle własnego uznania, bezpłatnie naprawi lub wymieni uszkodzony produkt, jeśli w wyniku kontroli okaże się, że posiada on wady materiałowe lub wykonania, i pod warunkiem, że zostanie on zwrócony do firmy FLIR Systems we wspomnianym okresie jednego roku.

Firma FLIR Systems nie ponosi odpowiedzialności za wady inne niż opisane powyżej.

Nie udziela się żadnych innych gwarancji jawnych ani domniemyanych. Firma FLIR Systems zrzeka się w szczególności domniemyanych gwarancji przydatności handlowej i przydatności do konkretnych zastosowań.

Firma FLIR Systems nie ponosi odpowiedzialności za bezpośrednie, pośrednie, szczególne, przypadkowe lub wynikowe straty lub szkody wynikające z odpowiedzialności kontraktowej lub innej odpowiedzialności prawnej.

Niniejsza gwarancja podlega prawu obowiązującemu w Szwecji.

Jakiegokolwiek spory, kontrowersje lub skargi wynikające lub mające związek z niniejszą gwarancją będą ostatecznie rozstrzygane w formie arbitrażu zgodnie z regulami Instytutu Arbitrażu Izby Handlowej w Sztokholmie. Miejscem arbitrażu jest Sztokholm. Językiem stosowanym w postępowaniu arbitrażowym jest język angielski.

Prawa autorskie

© 2011, FLIR Systems. Wszelkie prawa zastrzeżone na całym świecie. Żadna część oprogramowania, w tym kod źródłowy, nie może być powielana, transmitowana, poddawana transkrypcji ani tłumaczona na jakikolwiek język lub język programowania w jakiegokolwiek postaci, przy zastosowaniu jakichkolwiek środków, elektronicznych, optycznych, ręcznie lub w inny sposób, bez uprzedniej pisemnej zgody firmy FLIR Systems.

Niniejszej dokumentacji nie wolno kopiować, kserować, powielać, tłumaczyć ani przekształcać do postaci elektronicznej lub maszynowej bez uprzedniej pisemnej zgody firmy FLIR Systems.

Nazwy i oznaczenia umieszczone na produktach są zastrzeżonymi znakami towarowymi lub znakami towarowymi firmy FLIR Systems i/lub jej spółek zależnych. Wszelkie inne znaki towarowe, nazwy handlowe i nazwy firm są używane w niniejszej publikacji wyłącznie w celu identyfikacji i stanowią własność odpowiednich właścicieli.

Zarządzanie jakością

System zarządzania jakością, w ramach którego zostały zaprojektowane i wytworzone niniejsze produkty, uzyskał certyfikat zgodności z normą ISO 9001.

Firma FLIR Systems kieruje się strategią nieustannego rozwoju; dlatego zastrzegamy sobie prawo do wprowadzania zmian i udoskonalień w dowolnym z produktów opisywanych w niniejszym podręczniku bez uprzedniego powiadomienia.

Patenty

Produkty i/lub funkcje opisane w niniejszym podręczniku są objęte jednym lub kilkoma spośród następujących patentów lub patentów na wzory użytkowe:

0002258-2; 000279476-0001; 000439161; 000499579-0001; 000653423; 000726344; 000859020; 000889290; 001106306-0001; 0101577-5; 0102150-0; 0200629-4; 0300911-5; 0302837-0; 1144833; 1182246; 1182620; 1188086; 1263438; 1285345; 1287138; 1299699; 1325808; 1336775; 1365299; 1678485; 1732314; 200530018812.0; 200830143636.7; 2106017; 235308; 3006596; 3006597; 466540; 483782; 484155; 518836; 60004227.8; 60122153.2; 602004011681.5-08; 6707044; 68657; 7034300; 7110035; 7154093; 7157705; 7237946; 7312822; 7332716; 7336823; 7544944; 75530; D540838; D549758; D579475; D584755; D599,392; D16702302.9; D16703574.4; DM/057692; DM/061609; ZL00809178.1; ZL01823221.3; ZL01823226.4; ZL02331553.9; ZL02331554.7; ZL200530120994.2; ZL200630130114.4; ZL200730151141.4; ZL200730339504.7; ZL200830128581.2

EULA Terms

- You have acquired a device ("INFRARED CAMERA") that includes software licensed by FLIR Systems AB from Microsoft Licensing, GP or its affiliates ("MS"). Those installed software products of MS origin, as well as associated media, printed materials, and "online" or electronic documentation ("SOFTWARE") are protected by international intellectual property laws and treaties. The SOFTWARE is licensed, not sold. All rights reserved.
- IF YOU DO NOT AGREE TO THIS END USER LICENSE AGREEMENT ("EULA"), DO NOT USE THE DEVICE OR COPY THE SOFTWARE. INSTEAD, PROMPTLY CONTACT FLIR Systems AB FOR INSTRUCTIONS ON RETURN OF THE UNUSED DEVICE(S) FOR A REFUND. ANY USE OF THE SOFTWARE, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO USE ON THE DEVICE, WILL CONSTITUTE YOUR AGREEMENT TO THIS EULA (OR RATIFICATION OF ANY PREVIOUS CONSENT).

-
- **GRANT OF SOFTWARE LICENSE.** This EULA grants you the following license:
 - You may use the SOFTWARE only on the DEVICE.
 - **NOT FAULT TOLERANT.** THE SOFTWARE IS NOT FAULT TOLERANT. FLIR Systems AB HAS INDEPENDENTLY DETERMINED HOW TO USE THE SOFTWARE IN THE DEVICE, AND MS HAS RELIED UPON FLIR Systems AB TO CONDUCT SUFFICIENT TESTING TO DETERMINE THAT THE SOFTWARE IS SUITABLE FOR SUCH USE.
 - **NO WARRANTIES FOR THE SOFTWARE.** THE SOFTWARE is provided "AS IS" and with all faults. THE ENTIRE RISK AS TO SATISFACTORY QUALITY, PERFORMANCE, ACCURACY, AND EFFORT (INCLUDING LACK OF NEGLIGENCE) IS WITH YOU. ALSO, THERE IS NO WARRANTY AGAINST INTERFERENCE WITH YOUR ENJOYMENT OF THE SOFTWARE OR AGAINST INFRINGEMENT. **IF YOU HAVE RECEIVED ANY WARRANTIES REGARDING THE DEVICE OR THE SOFTWARE, THOSE WARRANTIES DO NOT ORIGINATE FROM, AND ARE NOT BINDING ON, MS.**
 - **No Liability for Certain Damages.** **EXCEPT AS PROHIBITED BY LAW, MS SHALL HAVE NO LIABILITY FOR ANY INDIRECT, SPECIAL, CONSEQUENTIAL OR INCIDENTAL DAMAGES ARISING FROM OR IN CONNECTION WITH THE USE OR PERFORMANCE OF THE SOFTWARE. THIS LIMITATION SHALL APPLY EVEN IF ANY REMEDY FAILS OF ITS ESSENTIAL PURPOSE. IN NO EVENT SHALL MS BE LIABLE FOR ANY AMOUNT IN EXCESS OF U.S. TWO HUNDRED FIFTY DOLLARS (U.S.\$250.00).**
 - **Limitations on Reverse Engineering, Decompilation, and Disassembly.** You may not reverse engineer, decompile, or disassemble the SOFTWARE, except and only to the extent that such activity is expressly permitted by applicable law notwithstanding this limitation.
 - **SOFTWARE TRANSFER ALLOWED BUT WITH RESTRICTIONS.** You may permanently transfer rights under this EULA only as part of a permanent sale or transfer of the Device, and only if the recipient agrees to this EULA. If the SOFTWARE is an upgrade, any transfer must also include all prior versions of the SOFTWARE.
 - **EXPORT RESTRICTIONS.** You acknowledge that SOFTWARE is subject to U.S. export jurisdiction. You agree to comply with all applicable international and national laws that apply to the SOFTWARE, including the U.S. Export Administration Regulations, as well as end-user, end-use and destination restrictions issued by U.S. and other governments. For additional information see <http://www.microsoft.com/exporting/>.

Spis treści

1	Ostrzeżenia i przestrogi	1
2	Uwagi dla użytkownika	4
3	Pomoc dla klientów	5
4	Aktualizacje dokumentacji	6
5	Istotne uwagi dotyczące tego podręcznika	7
6	Skrócona instrukcja obsługi	8
7	Zawartość opakowania	11
8	Budowa kamery	12
9	Elementy ekranu	15
10	Złącza i nośniki danych	17
11	Używanie kamery	18
11.1	Wkładanie akumulatora	18
11.2	Ładowanie akumulatora	19
11.3	Zapisywanie obrazu	21
11.4	Przywoływanie obrazu	22
11.5	Otwieranie archiwum obrazów	23
11.6	Usuwanie obrazu	24
11.7	Usuwanie wszystkich obrazów	25
11.8	Pomiar temperatury przy użyciu punktu pomiarowego	26
11.9	Pomiar temperatury przy użyciu obszaru pomiarowego	27
11.10	Oznaczanie wszystkich obszarów o temperaturze niższej lub wyższej niż ustawiony poziom	28
11.11	Zmiana palety kolorów	29
11.12	Zmiana ustawień	30
11.13	Zmiana trybu obrazu	31
11.14	Ustawianie właściwości powierzchni	32
11.15	Zmiana emisyjności	33
11.16	Zmiana odbitej temperatury pozornej otoczenia	34
11.17	Resetowanie kamery	35
11.18	Lokalizacja numeru seryjnego kamery	36
12	Czyszczenie kamery	37
12.1	Obudowa, przewody i inne elementy kamery	37
12.2	Obiektyw na podczerwień	38
12.3	Detektor podczerwieni	39
13	Dane techniczne	40
13.1	Informacje o kamerze	40
13.2	Dodatkowe dane	43
13.3	Informacje o akcesoriach	45
14	Wymiary	46

14.1	Kamera (widok z przodu)	46
14.2	Kamera (widok z boku)	47
15	Przykłady zastosowania	48
15.1	Szkody spowodowane przez wilgoć i wodę	48
15.2	Zepsuty styk w gnieździe	49
15.3	Utlenione gniazdo	50
15.4	Niedobory izolacji	51
15.5	Ciąg	52
16	Wprowadzenie do termografii budynków	53
16.1	Oświadczenie	53
16.1.1	Prawa autorskie	53
16.1.2	Szkolenia i certyfikacja	53
16.1.3	Krajowe lub regionalne kodeksy budowlane	53
16.2	Ważna uwaga	53
16.3	Typowe badania w terenie	54
16.3.1	Wskazówki	54
16.3.1.1	Wskazówki ogólne	54
16.3.1.2	Wskazówki odnośnie wykrywania wilgoci, pleśni i uszkodzeń spowodowanych przez wodę	54
16.3.1.3	Wskazówki odnośnie wykrywania miejsc przenikania powietrza i wad ociepleń	55
16.3.2	Informacje o wykrywaniu wilgoci	56
16.3.3	Wykrywanie wilgoci (1): Dachy budynków użytkowych o małym nachyleniu	56
16.3.3.1	Informacje ogólne	56
16.3.3.2	Środki bezpieczeństwa	57
16.3.3.3	Elementy konstrukcyjne budynków z komentarzem	57
16.3.3.4	Obrazy termowizyjne z komentarzem	59
16.3.4	Wykrywanie wilgoci (2): Elewacje budynków użytkowych i mieszkalnych	61
16.3.4.1	Informacje ogólne	61
16.3.4.2	Elementy konstrukcyjne budynków z komentarzem	61
16.3.4.3	Obrazy termowizyjne z komentarzem	63
16.3.5	Wykrywanie wilgoci (3): Tarasy i balkony	64
16.3.5.1	Informacje ogólne	64
16.3.5.2	Elementy konstrukcyjne budynków z komentarzem	65
16.3.5.3	Obrazy termowizyjne z komentarzem	67
16.3.6	Wykrywanie wilgoci (4): Pęknięcia rur i nieszczelność instalacji wodociągowej	67
16.3.6.1	Informacje ogólne	67
16.3.6.2	Obrazy termowizyjne z komentarzem	68
16.3.7	Przenikanie powietrza	70
16.3.7.1	Informacje ogólne	70
16.3.7.2	Elementy konstrukcyjne budynków z komentarzem	70
16.3.7.3	Obrazy termowizyjne z komentarzem	72
16.3.8	Niedobory izolacji	73
16.3.8.1	Informacje ogólne	73
16.3.8.2	Elementy konstrukcyjne budynków z komentarzem	74
16.3.8.3	Obrazy termowizyjne z komentarzem	75
16.4	Podstawy teorii budownictwa	77
16.4.1	Informacje ogólne	77
16.4.2	Efekty badań i kontroli	78
16.4.3	Źródła zakłóceń w termowizji	79
16.4.4	Temperatura powierzchniowa a nieszczelność	81
16.4.4.1	Ciśnienie powietrza w budynku	81

16.4.5	Warunki pomiarowe i sezon przeprowadzania pomiarów	87
16.4.6	Interpretacja obrazów termowizyjnych	87
16.4.7	Wilgotność i punkt rosy	89
16.4.7.1	Wilgotność względna i bezwzględna	89
16.4.7.2	Definicja punktu rosy	89
16.4.8	Wyciąg z przypisu technicznego 'Ocena obecności mostków cieplnych i ciągłości izolacji' (przykład z Wielkiej Brytanii)	89
16.4.8.1	Podziękowania	89
16.4.8.2	Wprowadzenie	90
16.4.8.3	Informacje podstawowe	90
16.4.8.4	Ilościowe szacowanie anomalii termicznych	91
16.4.8.5	Warunki i sprzęt	94
16.4.8.6	Badania i analiza	95
16.4.8.7	Raportowanie	96
17	Wprowadzenie do badań termowizyjnych instalacji elektrycznych	98
17.1	Ważna uwaga	98
17.2	Informacje ogólne	98
17.2.1	Wprowadzenie	98
17.2.2	Ogólne dane sprzętu	99
17.2.3	Badanie	100
17.2.4	Klasyfikacja i raportowanie	101
17.2.5	Priorytet	101
17.2.6	Naprawa	102
17.2.7	Kontrola	102
17.3	Techniki pomiarowe wykorzystywane w badaniach termowizyjnych instalacji elektrycznych	104
17.3.1	Prawidłowa regulacja sprzętu	104
17.3.2	Pomiar temperatury	104
17.3.3	Pomiar porównawczy	106
17.3.4	Normalna temperatura robocza	107
17.3.5	Klasyfikacja uszkodzeń	108
17.4	Raportowanie	110
17.5	Rodzaje punktów gorących występujących w instalacjach elektrycznych	112
17.5.1	Odbicia	112
17.5.2	Nagrzewanie przez promieniowanie słoneczne	112
17.5.3	Nagrzewanie indukcyjne	113
17.5.4	Różnice obciążenia	113
17.5.5	Odmienne warunki chłodzenia	114
17.5.6	Różnice rezystancji	115
17.5.7	Przegrzanie jednej części spowodowane uszkodzeniem innej	115
17.6	Czynniki zakłócające przy badaniach termowizyjnych instalacji elektrycznych	117
17.6.1	Wiatr	117
17.6.2	Deszcz i śnieg	117
17.6.3	Odległość od obiektu	118
17.6.4	Wielkość obiektu	119
17.7	Praktyczne porady dla osób przeprowadzających badania termowizyjne	121
17.7.1	Przejsie z zimnego do ciepłego pomieszczenia	121
17.7.2	Ulewny deszcz	121
17.7.3	Emisyjność	121
17.7.4	Temperatura otoczenia (odbita temperatura pozorna)	122
17.7.5	Zbyt duża odległość od obiektu	122
18	Informacje o firmie FLIR Systems	123

18.1	Nie tylko kamery termowizyjne	124
18.2	Dzielimy się naszą wiedzą	125
18.3	Obsługa klientów	125
18.4	Kilka fotografii zrobionych w naszych zakładach	126
19	Słowniczek terminów	128
20	Techniki pomiarów termowizyjnych	132
20.1	Wprowadzenie	132
20.2	Emisyjność	132
20.2.1	Badanie emisyjności próbek	133
20.2.1.1	Krok 1: Określanie temperatury otoczenia	133
20.2.1.2	Krok 2: Określanie emisyjności	135
20.3	Temperatura otoczenia (odbita temperatura pozorna)	136
20.4	Odległość	136
20.5	Wilgotność względna	136
20.6	Inne parametry	137
21	Historia techniki podczerwieni	138
22	Teoria termografii	143
22.1	Wprowadzenie	143
22.2	Widmo elektromagnetyczne	143
22.3	Promieniowanie ciała czarnego	144
22.3.1	Prawo Plancka	145
22.3.2	Prawo przesunięć Wiena	146
22.3.3	Prawo Stefana-Boltzmana	148
22.3.4	Ciała nieczarne emitujące promieniowanie	149
22.4	Materiały częściowo przezroczyste w podczerwieni	151
23	Wzór będący podstawą pomiaru	153
24	Tabele emisyjności	159
24.1	Bibliografia	159
24.2	Ważna uwaga dotycząca tabel emisyjności	159
24.3	Tabele	160

OSTRZEŻENIE

- Urządzenie wytwarza, wykorzystuje i może promieniować energię o częstotliwości radiowej. W przypadku jego zainstalowania lub używania niezgodnie z instrukcją może powodować zakłócenia w odbiorze radiowym. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że urządzenie spełnia ograniczenia właściwe dla urządzeń komputerowych Klasy A zgodnie z podrozdziałem J części 15 przepisów FCC, które to ograniczenia wprowadzono w celu zapewnienia racjonalnego poziomu ochrony przed zakłóceniami podczas pracy w środowisku biurowym. Użytkowanie urządzenia w pobliżu pomieszczeń mieszkalnych może powodować zakłócenia; w takiej sytuacji użytkownik będzie zobowiązany do wyeliminowania powstałych zakłóceń wszelkimi niezbędnymi środkami i na własny koszt.
- Dotyczy tylko kamer z wskaźnikiem laserowym: Nie należy patrzeć bezpośrednio na wiązkę lasera. Może to powodować podrażnienie oczu.
- Dotyczy tylko kamer wyposażonych w akumulator:
 - Nie należy demontować ani przerabiać akumulatora. Akumulator jest wyposażony w elementy zabezpieczające, które w razie uszkodzenia mogą spowodować rozgrzewanie się, wybuch lub zapłon akumulatora.
 - W przypadku wycieku elektrolitu z akumulatora i jego dostania się do oczu nie należy ich przecierać. Dokładnie przemyć oczy wodą i niezwłocznie zwrócić się do lekarza. Nieprzestrzeganie tych zaleceń może spowodować uszkodzenie wzroku.
 - Jeśli akumulator nie ładuje się mimo upływu podanego czasu ładowania, nie należy go dłużej ładować. W przeciwnym razie może się rozgrzać oraz spowodować wybuch lub zapłon.
 - Przy rozładowywaniu akumulatora należy używać odpowiednich urządzeń. W przeciwnym razie może ulec pogorszeniu wydajność lub trwałość użytkowa akumulatora. Rozładowywanie akumulatora bez użycia odpowiednich urządzeń może powodować przepływ prądu o dużym natężeniu. Może to spowodować rozgrzanie się akumulatora lub jego wybuch i obrażenia ciała.
- Przed użyciem jakichkolwiek płynów należy dokładnie zapoznać się z odpowiednimi kartami MSDS (charakterystyki substancji niebezpiecznej) oraz ze wszystkimi etykietami ostrzegawczymi na pojemnikach: płyny mogą być substancjami niebezpiecznymi.

OSTROŻNIE

- Nie należy nakierowywać kamery termowizyjnej (z osłoną obiektywu lub bez niej) na silne źródła energii, np. urządzenia emitujące promieniowanie laserowe, lub na słońce. Może to mieć negatywny wpływ na precyzję kamery. Może również spowodować uszkodzenie detektora kamery.
- Kamery nie należy używać w temperaturze przekraczającej +50°C, chyba że w dokumentacji dla użytkownika określono inaczej. Wysoka temperatura może spowodować uszkodzenie sprzętu.
- Dotyczy tylko kamer z wskaźnikiem laserowym: Gdy wskaźnik laserowy nie jest używany, należy go zabezpieczyć nakładką ochronną.
- Dotyczy tylko kamer wyposażonych w akumulator:
 - Nie należy podłączać akumulatora bezpośrednio do gniazda zapalniczki w samochodzie, jeśli firma FLIR Systems nie dostarczyła specjalnego adaptera do podłączania akumulatora do gniazda zapalniczki.

- Nie należy zwierać dodatniego i ujemnego bieguna akumulatora metalowymi przedmiotami (np. drutem).
- Nie należy dopuszczać do rozlania się na akumulator wody (także morskiej) lub jego zamoczenia.
- Nie należy wykonywać w akumulatorze otworów, ani uderzać go młotkiem. Nie należy stawać na akumulatorze ani narażać go na silne uderzenia lub wstrząsy.
- Nie należy wkładać akumulatora do ognia ani narażać go na bezpośrednie działanie promieni słonecznych lub wysokiej temperatury. W przypadku silnego nagrzania akumulatora uaktywnia się wewnętrzny mechanizm zabezpieczający, który może przerwać proces ładowania. Jeśli akumulator zostanie rozgrzany do wysokiej temperatury, mechanizm zabezpieczający może ulec uszkodzeniu, co może spowodować dalsze nagrzewanie się akumulatora, jego uszkodzenie lub zapłon.
- Nie należy wkładać akumulatora do ognia ani go rozgrzewać.
- Nie należy umieszczać akumulatora w pobliżu kominków, pieców ani w innych miejscach, w których panuje wysoka temperatura.
- Nie należy przylutowywać niczego bezpośrednio do akumulatora.
- Należy niezwłocznie zaprzestać korzystania z akumulatora, jeśli podczas pracy, ładowania lub przechowywania zacznie wydobywać się z niego nietypowy zapach, jeśli stanie się gorący w dotyku, odbarwi się, odkształci lub jeśli wystąpią inne nietypowe objawy. W razie wystąpienia tego rodzaju problemów należy skontaktować się ze sprzedawcą.
- Do ładowania akumulatora należy używać wyłącznie ładowarki o parametrach podanych w instrukcji.
- Zakres dopuszczalnych temperatur ładowania akumulatora wynosi od ± 0 do $+45^{\circ}\text{C}$, chyba że w dokumentacji dla użytkownika określono inaczej. Ładowanie akumulatora w temperaturze spoza tego zakresu może spowodować jego przegrzanie lub uszkodzenie. Może również pogorszyć wydajność lub trwałość użytkową akumulatora.
- Zakres dopuszczalnych temperatur rozładowywania akumulatora wynosi od -15°C do $+50^{\circ}\text{C}$, chyba że w dokumentacji dla użytkownika określono inaczej. Używanie akumulatora w temperaturach spoza tego zakresu może spowodować pogorszenie jego wydajności lub trwałości użytkowej.
- Przed wyrzuceniem zużytego akumulatora należy zaizolować bieguny taśmą samoprzylepną lub podobnym materiałem.
- Przed włożeniem akumulatora usuń z niego ewentualną wodę i wilgoć.
- Do czyszczenia kamery, kabli i innych elementów nie należy używać rozpuszczalników ani podobnych środków, gdyż mogłyby to spowodować ich uszkodzenie.
- Podczas czyszczenia obiektywu na podczerwień należy zachować ostrożność. Obiektyw posiada cienką powłokę antyodblaskową.
- Nie należy czyścić obiektywu na podczerwień zbyt intensywnie. Mogłoby to spowodować uszkodzenie powłoki antyodblaskowej.
- W przypadku korzystania z kamery w pobliżu pieców i w innych zastosowaniach wysokotemperaturowych należy zamontować na kamerze osłonę termiczną. Korzystanie z kamery w pobliżu pieców i w innych zastosowaniach wysokotemperaturowych bez osłony termicznej może spowodować uszkodzenie kamery.

- (Dotyczy tylko kamer z przesłoną automatyczną, którą można wyłączyć). Nie należy wyłączać przesłony automatycznej na dłuższy czas (generalnie, maksymalnie na 30 minut). Wyłączenie przesłony na dłuższy czas może uszkodzić lub całkowicie zniszczyć detektor.
 - Stopień zabezpieczenia obudowy jest ważny tylko wtedy, gdy wszystkie otwory kamery są zamknięte za pomocą odpowiednich osłon lub zatyczek. Dotyczy to, ale nie ogranicza się, wyłącznie do komór do przechowywania danych, baterii i złącz.
-

2

Uwagi dla użytkownika

Konwencje typograficzne

W niniejszym podręczniku wykorzystano następujące konwencje typograficzne:

- **Częściowe pogrubienie** jest wykorzystywane jako oznaczenie nazw menu, poleceń menu oraz etykiet i przycisków w oknach dialogowych.
 - *Kursywa* jest wykorzystywana jako oznaczenie istotnych informacji.
 - Czcionka `Monospace` jest wykorzystywana w przykładach kodu.
 - **WIELKIE LITERY** są wykorzystywane w nazwach klawiszy i przycisków.
-

Forum użytkownik-użytkownik

Nasze forum typu użytkownik-użytkownik umożliwia wymianę pomysłów, rozwiązań termowizyjnych i rozwiązywanie problemów w ramach międzynarodowej społeczności użytkowników urządzeń termowizyjnych. Aby odwiedzić forum, przejdź do witryny:

<http://www.infraredtraining.com/community/boards/>

Kalibracja

Ta uwaga dotyczy tylko kamer z funkcjami pomiarowymi:

Zaleca się oddawanie kamery do kalibracji raz w roku. Informacje na temat miejsca wysyłki kamery do kalibracji można uzyskać w lokalnym biurze sprzedaży.

Dokładność

Ta uwaga dotyczy tylko kamer z funkcjami pomiarowymi:

Dla uzyskania bardzo dokładnych wyników, przed przystąpieniem do pomiaru temperatury zaleca się odczekać 5 minut od włączenia kamery.

W przypadku kamer, których detektor jest chłodzony mechanicznie, ten okres czasu nie obejmuje czasu koniecznego do schłodzenia detektora.

Utylizacja odpadów elektronicznych

10742803:a1



Podobnie jak większość produktów elektronicznych, także to urządzenie musi być utylizowane w sposób przyjazny dla środowiska naturalnego i zgodnie z obowiązującymi przepisami dotyczącymi odpadów elektronicznych.

Więcej szczegółów można uzyskać od przedstawicieli firmy FLIR Systems.

Szkolenia

Informacje na temat szkoleń w zakresie termografii można znaleźć w witrynie:

- <http://www.infraredtraining.com>
 - <http://www.irtraining.com>
 - <http://www.irtraining.eu>
-

3

Pomoc dla klientów

Ogólne

Aby uzyskać pomoc techniczną, odwiedź witrynę:

<http://support.flir.com>

Przesyłanie pytań

Tylko zarejestrowani użytkownicy mogą przysyłać pytania do zespołu ds. pomocy. Zarejestrowanie się przez Internet zajmie tylko kilka minut. Przeszukiwanie bazy istniejących pytań i odpowiedzi nie wymaga rejestrowania się.

Przed przesłaniem pytania należy przygotować następujące informacje:

- Model kamery
 - Numer seryjny kamery
 - Protokół komunikacyjny lub metoda przesyłania danych pomiędzy kamerą a komputerem (np. HDMI, Ethernet, USB™ lub FireWire™)
 - System operacyjny komputera
 - Wersja pakietu Microsoft® Office
 - Pełna nazwa, numer publikacji i numer wersji podręcznika
-

Pliki do pobrania

Ze strony pomocy dla klientów można także pobrać następujące pliki:

- Aktualizacje oprogramowania wewnętrznego kamery termowizyjnej
 - Aktualizacje oprogramowania komputera
 - Dokumentacja dla użytkownika
 - Przykłady zastosowania
 - Publikacje techniczne
-

Ogólne

Instrukcje obsługi aktualizowane są kilka razy do roku, a ponadto regularnie publikowane są ważne powiadomienia dotyczące produktów oraz informacje o zmianach.

Aby uzyskać dostęp do najnowszych wersji instrukcji obsługi i najnowszych powiadomień, należy przejść do karty Downloadna stronie:

<http://support.flir.com>

Rejestracja online trwa kilka minut. Wśród plików do pobrania można znaleźć także najnowsze wersje instrukcji obsługi innych naszych produktów oraz instrukcje obsługi starszych produktów.

5

Istotne uwagi dotyczące tego podręcznika

Ogólne

Firma FLIR Systems wydaje podręczniki ogólne dotyczące różnych kamer z danej linii modeli.

Oznacza to, że w ten podręcznik może zawierać opisy i objaśnienia, które nie dotyczą danego modelu kamery.

UWAGA

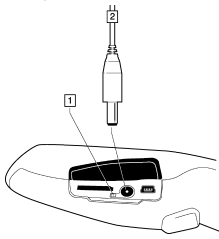
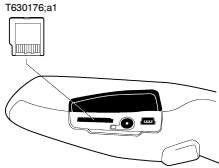
Firma FLIR Systems zastrzega sobie prawo do wycofywania modeli, oprogramowania, części, akcesoriów i innych elementów z oferty oraz do zmiany specyfikacji i/lub funkcji w dowolnym momencie, bez uprzedniego powiadomienia.

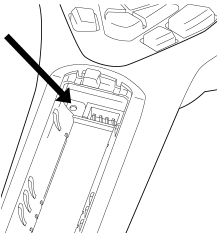
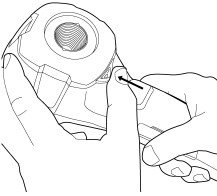
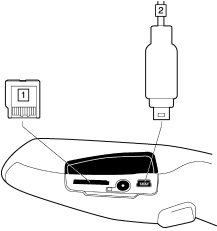
6

Skrócona instrukcja obsługi

Procedura

Aby jak najszybciej rozpocząć pracę z kamerą, należy wykonać następującą procedurę:

1	Zdejmij folię ochronną z wyświetlacza LCD.
2	<p>Przed pierwszym użyciem kamery akumulator musi być ładowany w kamerze przez co najmniej cztery godziny (lub do czasu, gdy wskaźnik ładowania akumulatora zacznie świecić na zielono).</p> <p>Akumulator należy ładować poprzez podłączenie zasilacza do złącza zasilania kamery. Sprawdź, czy używasz właściwej wtyczki do gniazda prądu przemiennego.</p> <p>Uwaga: Podczas pierwszego ładowania fabrycznie nowego akumulatora <i>należy włączyć i wyłączyć kamerę</i> po podłączeniu zasilacza do gniazda zasilania kamery.</p> <p>T630175:a1</p>  <p>1 Wskaźnik ładowania akumulatora 2 Przewód zasilacza</p>
3	<p>Włóż kartę pamięci miniSD™ do gniazda karty.</p> <p>T630176:a1</p> 

4	<p>Naciśnij przycisk On/Off, aby wyłączyć kamerę.</p> <p>Uwaga: Jeżeli po naładowaniu akumulatora kamera nie włączy się, naciśnij przycisk resetowania przy użyciu narzędzia nieprzewodzącego. Przycisk resetowania jest umieszczony obok złącza akumulatora w komorze akumulatora. Następnie naciśnij przycisk On/Off ponownie.</p> <p>Przycisk resetowania:</p> <p>T630179:a1</p> 
5	<p>Otwórz osłonę obiektywu za pomocą dźwigni.</p> <p>T630177:a1</p> 
6	<p>Nakieruj kamerę na obiekt zainteresowania.</p>
7	<p>Aby zapisać obraz, naciśnij przycisk wyzwalający Save.</p>
8	<p>Aby przenieść obraz do komputera, wykonaj jedną z następujących czynności:</p> <p>T630178:a1</p>  <ul style="list-style-type: none"> ■ (Rys. 1, powyżej) Wyjmij kartę pamięci miniSD™ i włóż ją do czytnika kart podłączonego do komputera. Adapter kart pamięci miniSD™ znajduje się w zestawie z kamerą. ■ (Rys. 2, powyżej) Podłącz kamerę do komputera za pomocą kabla USB™ Mini-B.

9	W Eksploratorze systemu Windows® przenieś obraz z karty lub kamery metodą „przeciągnij i upuść”.
----------	--

7

Zawartość opakowania

Zawartość

- Akumulator (w środku kamery)
 - Certyfikat kalibracji
 - Płyta CD-ROM zawierająca FLIR QuickReport
 - Pasek na rękę
 - Kamera termowizyjna
 - Karta pamięci miniSD (512 MB) z adapterem SD
 - Zasilacz z ładowarką z wtyczkami dla Unii Europejskiej, Wielkiej Brytanii, USA oraz Australii
 - Drukowana skrócona instrukcja obsługi
 - kabel USB
 - CD-ROM z dokumentacją dla użytkownika
-

UWAGA

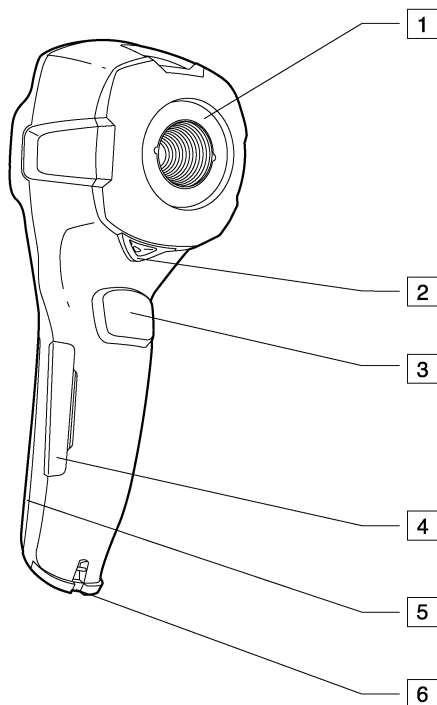
- W razie braku lub uszkodzenia któregoś z elementów należy skontaktować się z lokalnym punktem sprzedaży. Adresy i numery telefonów lokalnych punktów sprzedaży można znaleźć na tylnej okładce instrukcji obsługi.
 - Firma FLIR Systems zastrzega sobie prawo do wycofywania modeli, części, akcesoriów i innych elementów z oferty oraz do zmiany specyfikacji w dowolnym momencie, bez uprzedniego powiadomienia.
-

8

Budowa kamery

Rysunek

10780903:a1



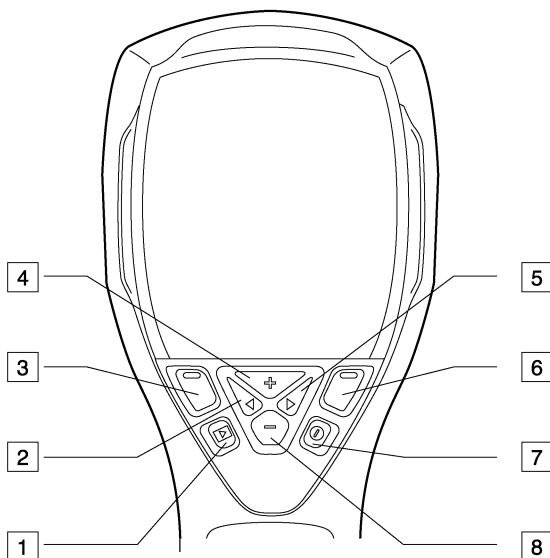
Wyjaśnienie

Tabela zawiera objaśnienia do powyższego rysunku:

1	Obiektyw na podczerwień
2	Dźwignia do otwierania i zamykania osłony obiektywu
3	Przycisk wyzwalający rejestrację obrazów
4	Osłona złącza oraz gniazda karty pamięci miniSD™
5	Pokrywa komory akumulatora
6	Punkt zaczepienia paska na rękę

Rysunek

10781003.a1



Wyjaśnienie

Tabela zawiera objaśnienia do powyższego rysunku:

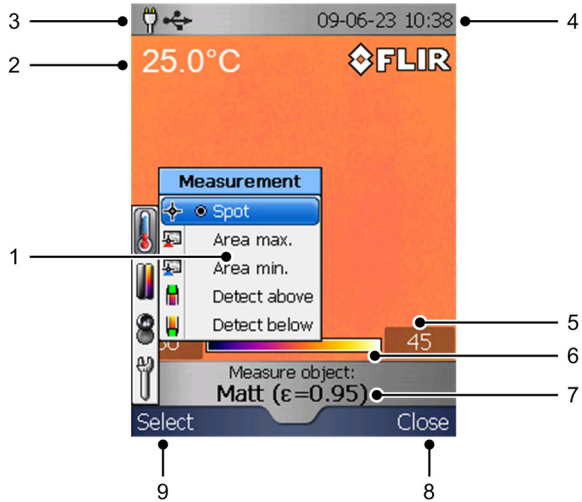
1	<p>Przycisk Archive</p> <p>Funkcja: naciśnij przycisk, aby otworzyć archiwum obrazów.</p>
2	<p>Przycisk strzałki w lewo (na panelu nawigacyjnym)</p> <p>Funkcja:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Naciśnij, aby przejść w lewo w menu, w menu niższego rzędu i w oknach dialogowych ■ Naciśnij, aby przemieszczać się w archiwum obrazów
3	<p>Lewy przycisk wyboru – funkcja tego przycisku jest zależna od bieżącego trybu kamery i jest ona wyświetlana na ekranie, nad przyciskiem.</p>
4	<p>Przycisk + (na panelu nawigacyjnym)</p> <p>Funkcja:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Naciśnij, aby przejść w górę w menu, w menu niższego rzędu i w oknach dialogowych. ■ Naciśnij, aby wyświetlić archiwum obrazów (po uprzednim naciśnięciu przycisku Archiwum). ■ Naciśnij, aby zwiększyć/zmniejszyć wartość.

5	Przycisk strzałki w prawo (na panelu nawigacyjnym) Funkcja: <ul style="list-style-type: none">■ Naciśnij, aby przejść w prawo w menu, w menu niższego rzędu i w oknach dialogowych.■ Naciśnij, aby przemieszczać się w archiwum obrazów.
6	Prawy przycisk wyboru – funkcja tego przycisku jest zależna od bieżącego trybu kamery i jest ona wyświetlana na ekranie, nad przyciskiem.
7	Przycisk On/Off Funkcja: <ul style="list-style-type: none">■ Naciśnij, aby włączyć kamerę.■ Naciśnij i przytrzymaj przycisk dłużej niż sekundę, aby wyłączyć kamerę.
8	Przycisk – (na panelu nawigacyjnym) Funkcja: <ul style="list-style-type: none">■ Naciśnij, aby przejść w dół w menu, w menu niższego rzędu i w oknach dialogowych.■ Naciśnij, aby zmniejszyć/zmienić wartość.

9 Elementy ekranu







Rysunek

10781203;a2



Wyjaśnienie

Tabela zawiera objaśnienia do powyższego rysunku:

1	System menu						
2	Wynik pomiaru						
3	Wskaźnik zasilania <table border="1" data-bbox="356 1034 1005 1372"> <thead> <tr> <th>Ikona</th> <th>Znaczenie</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>Jeden z następujących: <ul style="list-style-type: none"> Kamera jest zasilana z akumulatora. Trwa ładowanie akumulatora (na co wskazuje animacja ładowania). </td> </tr> <tr> <td></td> <td>Akumulator jest pełni naładowany i kamera jest zasilana przez zasilacz.</td> </tr> </tbody> </table>	Ikona	Znaczenie		Jeden z następujących: <ul style="list-style-type: none"> Kamera jest zasilana z akumulatora. Trwa ładowanie akumulatora (na co wskazuje animacja ładowania). 		Akumulator jest pełni naładowany i kamera jest zasilana przez zasilacz.
Ikona	Znaczenie						
	Jeden z następujących: <ul style="list-style-type: none"> Kamera jest zasilana z akumulatora. Trwa ładowanie akumulatora (na co wskazuje animacja ładowania). 						
	Akumulator jest pełni naładowany i kamera jest zasilana przez zasilacz.						
4	Data i godzina						
5	Wartość ograniczenia skali temperatury						

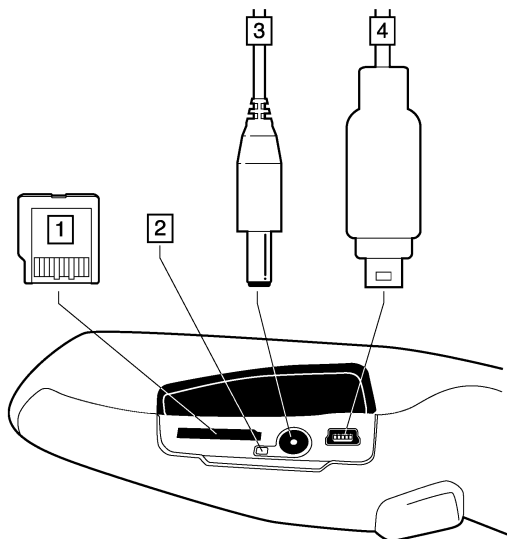
6	Skala temperatur
7	Aktualnie ustawiona wartość emisyjności lub właściwości materiału
8	Aktualna funkcja prawego przycisku wyboru
9	Aktualna funkcja lewego przycisku wyboru

10

Złącza i nośniki danych

Rysunek

10780803:a1



Wyjaśnienie

Tabela zawiera objaśnienia do powyższego rysunku:

1	<p>Karta pamięci miniSD™</p> <p>Nie zalecamy zapisywania więcej niż 5000 obrazów na karcie pamięci miniSD™.</p> <p>Mimo że na karcie pamięci można zapisać więcej niż 5000 obrazów, zapisywanie większej ilości obrazów spowalnia zarządzanie plikami na karcie pamięci miniSD™.</p> <p>Uwaga: Nie ma ograniczeń pojemności używanej karty pamięci miniSD™.</p>
2	<p>Wskaźnik ładowania akumulatora:</p> <ul style="list-style-type: none">■ Wskaźnik nie świeci: zasilacz nie jest podłączony.■ Wskaźnik świeci na pomarańczowo: trwa ładowanie akumulatora.■ Wskaźnik świeci na zielono: akumulator jest naładowany.
3	<p>Przewód zasilacza</p>
4	<p>Kabel USB ze złączem USB Mini-B</p>

11

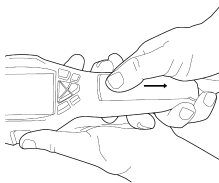
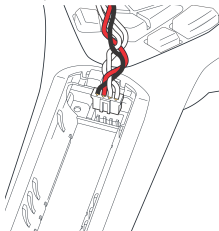
Używanie kamery

11.1

Wkładanie akumulatora

Procedura

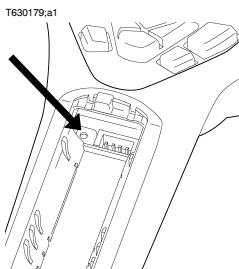
Poniżej przedstawiono procedurę wkładania akumulatora:

1	<p>Zdejmij pokrywę komory akumulatora.</p> <p>T630174.a1</p> 
2	<p>Podłącz przewód podłączony do akumulatora do złącza w komorze akumulatora. Uwaga: Przy wykonywaniu tej czynności nie należy korzystać z narzędzi przewodzących.</p> <p>T630173.a2</p> 
3	<p>Włóż akumulator na miejsce.</p>
4	<p>Założ pokrywę, aby zamknąć komorę akumulatora.</p>

11.2 Ładowanie akumulatora

UWAGA

- Przed użyciem kamery po raz pierwszy akumulator musi być ładowany w kamerze przez co najmniej cztery godziny (lub do czasu, gdy wskaźnik stanu akumulatora zacznie świecić na zielono).
- Podczas pierwszego ładowania fabrycznie nowego akumulatora *należy włączyć i wyłączyć kamerę* po podłączeniu zasilacza do gniazda zasilania kamery.
- Jeżeli po naładowaniu akumulatora kamera nie włączy się, naciśnij przycisk resetowania przy użyciu narzędzia nieprzewodzącego. Przycisk resetowania jest umieszczony obok złącza akumulatora w komorze akumulatora. Następnie naciśnij przycisk On/Off ponownie.
Przycisk resetowania:



- Nie należy często wymieniać akumulatora. Należy go wymieniać tylko wtedy, gdy jest zużyty.

Omówienie wskaźnika ładowania akumulatora

Wskaźnik ładowania akumulatora to dioda LED umieszczona obok złącza zasilania. Wyświetla ona następujące sygnały:

- Wskaźnik nie świeci: zasilacz nie jest podłączony.
- Wskaźnik świeci na pomarańczowo: trwa ładowanie akumulatora.
- Wskaźnik świeci na zielono: akumulator jest naładowany.

Procedura

Wykonaj następujące czynności, aby naładować akumulator:

1	<p>Włóż wtyczkę przewodu zasilacza do złącza zasilania kamery.</p> <p>T630175:a1</p> <p>1 Wskaźnik ładowania akumulatora 2 Przewód zasilacza</p>
----------	--

2	Włóż wtyczkę przewodu zasilacza do gniazda sieci elektrycznej. Sprawdź, czy używasz właściwej wtyczki do gniazda prądu przemiennego.
3	Odłącz wtyczkę przewodu zasilacza, gdy wskaźnik ładowania akumulatora zacznie świecić na zielono.

11.3 Zapisywanie obrazu

Ogólne

Możesz zapisać jeden lub więcej obrazów na karcie pamięci miniSD™.

Pojemność karty

Nie zalecamy zapisywania więcej niż 5000 obrazów na karcie pamięci miniSD™.

Mimo że na karcie pamięci można zapisać więcej niż 5000 obrazów, zapisywanie większej ilości obrazów spowalnia zarządzanie plikami na karcie pamięci.

Uwaga: Nie ma ograniczeń pojemności używanej karty pamięci miniSD™.

Formatowanie kart pamięci

W celu uzyskania najlepszej wydajności karty pamięci powinny zostać sformatowane dla systemu plików FAT (FAT16). W przypadku kart pamięci sformatowanych dla systemu FAT32 wydajność może być gorsza. Aby sformatować kartę pamięci dla systemu FAT (FAT16), należy wykonać następującą procedurę:

1	Włóż kartę pamięci do czytnika kart podłączonego do komputera.
2	W programie Windows® Explorer wybierz Mój komputer i kliknij prawym przyciskiem myszy kartę pamięci.
3	Wybierz polecenie Formatuj .
4	W obszarze System plików wybierz opcję FAT .
5	Kliknij przycisk Rozpocznij .

Konwencja nazewnictwa

Zapisywanym obrazom nadawane są nazwy zgodne z konwencją **IR_xxxx.jpg**, gdzie **xxxx** jest automatycznie przydzielanym numerem. Po wybraniu opcji **Przywróć** kamera zeruje licznik i przypisuje nowemu plikowi nazwę zawierającą następny, najwyższy wolny numer.

Procedura

Aby zapisać obraz, naciśnij przycisk wyzwalający **Save**.

11.4 Przywoływanie obrazu

Ogólne

Zapisane obrazy są przechowywane na wymiennej karcie pamięci miniSD™. Aby wyświetlić obraz ponownie, należy go przywołać z karty pamięci miniSD™.

Procedura

Wykonaj następujące czynności, aby przywołać obraz:

1	Naciśnij przycisk Archive .
2	Wykonaj jedną z następujących czynności: <ul style="list-style-type: none"> ■ Za pomocą lewej/prawej strony panelu nawigacyjnego wybierz obraz, który chcesz wyświetlić. ■ Naciśnij przycisk +, za pomocą panelu nawigacyjnego wybierz obraz, który chcesz zobaczyć, a następnie naciśnij prawy przycisk wyboru (Otwórz).
3	Aby powrócić do trybu ruchomego, wykonaj jedną z następujących czynności: <ul style="list-style-type: none"> ■ Naciśnij przycisk Archive. ■ Naciśnij prawy przycisk wyboru (Zamknij).

11.5 Otwieranie archiwum obrazów

Ogólne

Archiwum obrazów to galeria miniatur wszystkich obrazów znajdujących się na karcie pamięci miniSD™.

Procedura

Wykonaj następujące czynności, aby otworzyć archiwum obrazów:

1	Naciśnij przycisk Archive .
2	Naciśnij przycisk + na panelu nawigacyjnym. Wyświetlone zostanie archiwum obrazów. Do przemieszczania się po archiwum można teraz stosować panel nawigacyjny.
3	Aby otworzyć wybrany obraz, naciśnij prawy przycisk wyboru (Otwórz).

11.6 *Usuwanie obrazu*

Ogólne

Możesz usunąć jeden lub więcej obrazów z karty pamięci miniSD™.

Sposób 1

Procedura usuwania obrazu jest następująca:

1	Naciśnij przycisk Archive .
2	Naciśnij przycisk + . Wyświetlone zostanie archiwum obrazów.
3	Za pomocą panelu nawigacyjnego wybierz obraz, który ma być usunięty.
4	Naciśnij lewy przycisk wyboru (Opcje).
5	Za pomocą panelu nawigacyjnego wybierz opcję Usuń obraz .
6	Naciśnij lewy przycisk wyboru (Wybierz).
7	Naciśnij prawy przycisk wyboru, aby zatwierdzić (Usuń).
8	Aby powrócić do trybu ruchomego, wykonaj jedną z następujących czynności: <ul style="list-style-type: none"> ■ Naciśnij przycisk Archive. ■ Naciśnij prawy przycisk wyboru (Zamknij).

Sposób 2

Procedura usuwania obrazu jest następująca:

1	Naciśnij przycisk Archive .
2	Za pomocą panelu nawigacyjnego wybierz obraz, który ma być usunięty.
3	Naciśnij lewy przycisk wyboru (Usuń).
4	Naciśnij prawy przycisk wyboru, aby zatwierdzić (Usuń).
5	Aby powrócić do trybu ruchomego, wykonaj jedną z następujących czynności: <ul style="list-style-type: none"> ■ Naciśnij przycisk Archive. ■ Naciśnij prawy przycisk wyboru (Zamknij).

11.7 *Usuwanie wszystkich obrazów*

Ogólne

Możesz usunąć wszystkie obrazy z karty pamięci miniSD™.

Procedura

Procedura usuwania wszystkich obrazów jest następująca:

1	Naciśnij przycisk Archive .
2	Naciśnij przycisk + . Wyświetlone zostanie archiwum obrazów.
3	Naciśnij lewy przycisk wyboru (Opcje).
4	Za pomocą panelu nawigacyjnego wybierz opcję Usuń wszystkie obrazy .
5	Naciśnij lewy przycisk wyboru (Wybierz).
6	Naciśnij prawy przycisk wyboru, aby zatwierdzić (Usuń).

11.8 Pomiar temperatury przy użyciu punktu pomiarowego

Ogólne

Temperaturę można zmierzyć za pomocą miernika punktowego. Temperatura będzie wyświetlana na ekranie w miejscu miernika.

Procedura

Wykonaj następujące czynności:

1	Naciśnij lewy przycisk wyboru (Menu).
2	Za pomocą panelu nawigacyjnego wybierz opcję Pomiar .
3	Naciśnij lewy przycisk wyboru (Wybierz).
4	Za pomocą panelu nawigacyjnego wybierz opcję Punkt .
5	Naciśnij lewy przycisk wyboru (Wybierz). Temperatura w miejscu miernika punktowego będzie teraz wyświetlana w lewym górnym rogu ekranu.

11.9 Pomiar temperatury przy użyciu obszaru pomiarowego

Ogólne

Najwyższa lub najniższa temperatura na danym obszarze może być wyświetlana w sposób ciągły, za pomocą ciągle poruszającego się kursora.

Procedura

Wykonaj następujące czynności:

1	Naciśnij lewy przycisk wyboru (Menu).
2	Za pomocą panelu nawigacyjnego wybierz opcję Pomiar .
3	Naciśnij lewy przycisk wyboru (Wybierz).
4	Za pomocą panelu nawigacyjnego wybierz jedną z następujących opcji: <ul style="list-style-type: none"> ■ Obszar maks. ■ Obszar min.
5	Naciśnij lewy przycisk wyboru (Wybierz). Najwyższa lub najniższa temperatura na danym obszarze może być wyświetlana poprzez ciągłe przesuwanie kursora. Temperatura jest wyświetlana w lewym górnym rogu ekranu

11.10 Oznaczanie wszystkich obszarów o temperaturze niższej lub wyższej niż ustawiony poziom

Ogólne

Można oznaczyć wszystkie obszary o temperaturze niższej lub wyższej niż ustawiony poziom.

Procedura

Wykonaj następujące czynności:

1	Naciśnij lewy przycisk wyboru (Menu).
2	Za pomocą panelu nawigacyjnego wybierz opcję Pomiar .
3	Naciśnij lewy przycisk wyboru (Wybierz).
4	Za pomocą panelu nawigacyjnego wybierz jedną z następujących opcji: <ul style="list-style-type: none"> ■ Wykrywaj wyższą ■ Wykrywaj niższą
5	Naciśnij lewy przycisk wyboru (Wybierz).
6	Aby zmienić poziom temperatury, poniżej lub powyżej którego mają być oznaczane obszary, należy skorzystać z przycisku nawigacyjnego.

11.11 Zmiana palety kolorów

Ogólne

Istnieje możliwość zmiany palety kolorów, za pomocą której kamera wyświetla różne temperatury. W innej palecie analiza obrazu może być łatwiejsza.

Procedura

Wykonaj następujące czynności, aby zmienić paletę kolorów:

1	Naciśnij lewy przycisk wyboru (Menu).
2	Za pomocą panelu nawigacyjnego przejdź do opcji Paleta kolorów .
3	Naciśnij lewy przycisk wyboru (Wybierz). Zostanie wyświetlone menu niższego rzędu Paleta kolorów .
4	Za pomocą panelu nawigacyjnego wybierz nową paletę kolorów.
5	Naciśnij lewy przycisk wyboru (Wybierz), aby zatwierdzić wybór i wyjść z menu niższego rzędu.

11.12 Zmiana ustawień

Ogólne

Można zmienić wiele ustawień kamery. W tym następujące:

- Automatyczne wyłączenie
- Jasn.wyśw.LCD
- Język
- Jednostka
- Format daty i godziny
- Ustaw godzinę
- Sygnatura czasowa
- Oprogramowanie wewnętrzne (aby pobrać aktualizacje oprogramowania kamery. Odwiedź witrynę <http://flir.custhelp.com>, aby uzyskać więcej informacji).
- Przywróć

Procedura


Wykonaj następujące czynności, aby zmienić ustawienia:

1	Naciśnij lewy przycisk wyboru (Menu).
2	Za pomocą panelu nawigacyjnego przejdź do opcji Ustawienia .
3	Naciśnij lewy przycisk wyboru (Wybierz). Zostanie wyświetlone menu niższego rzędu Ustawienia .
4	Za pomocą panelu nawigacyjnego wybierz ustawienie, które chcesz zmienić.
5	Naciśnij lewy przycisk wyboru (Wybierz), a następnie za pomocą panelu nawigacyjnego wybierz nowe ustawienie.
6	Naciśnij lewy przycisk wyboru (Wybierz), aby zatwierdzić wybór i wyjść z menu niższego rzędu, lub naciśnij prawy przycisk wyboru (Zamknij) aby wyjść z menu.

11.13 Zmiana trybu obrazu

Ogólne

Kamera może działać w dwóch różnych trybach obrazu:

Tryb obrazu	Ikona	Objaśnienie
Auto	[brak]	W trybie Auto , kamera automatycznie, w sposób ciągły, dostraja się w celu uzyskania optymalnej jasności i kontrastu obrazu.
Locked		W trybie Locked , kamera blokuje zakres temperatur i poziom temperatury.


Kiedy należy stosować tryb Locked

Typową sytuacją, w której ma zastosowanie tryb **Locked** jest wyszukiwanie anomalii termicznych w dwóch obiektach o podobnym kształcie lub konstrukcji.

Na przykład, jeśli patrzysz na dwa przewody, z których jeden podejrzewasz o przegrzanie, działanie w trybie **Locked** na pewno wskaże, że jeden jest przegrzany. Wyższa temperatura tego przewodu wytworzy *jaśniejszy* kolor odpowiadający *wyższej* temperaturze.

Jeśli zamiast tego zastosujesz tryb **Auto**, kolor obu przewodów będzie wyglądał tak samo.

Procedura

Aby przełączyć między trybem **Auto** a trybem **Locked**, naciśnij prawy przycisk wyboru (**Auto/Blk.**). Ikona kłódki () wskazuje na tryb **Locked**.

11.14 Ustawianie właściwości powierzchni

Ogólne

Aby dokonywać dokładnych pomiarów temperatury, kamera musi wiedzieć jaka powierzchnia jest przedmiotem pomiaru.

Najprostszym sposobem jest ustawienie właściwości powierzchni w menu **Pomiar**. Można wybierać między następującymi właściwościami powierzchni:

- **Matowa**
- **Półmatowa**
- **Półbłyszcząca**
- **Błyszcząca**

Procedura

Wykonaj następujące czynności, aby ustawić właściwości powierzchni:

1	Naciśnij lewy przycisk wyboru (Menu).
2	Za pomocą panelu nawigacyjnego przejdź do opcji Pomiar .
3	Naciśnij lewy przycisk wyboru (Wybierz). Zostanie wyświetlone menu niższego rzędu Pomiar .
4	W menu Pomiar wybierz właściwość powierzchni za pomocą panelu nawigacyjnego.
5	Naciśnij lewy przycisk wyboru (Wybierz), aby zatwierdzić wybór i wyjść z menu.

ZOBACZ TAKŻE

Więcej informacji na temat bardziej precyzyjnych pomiarów można znaleźć w następujących rozdziałach:

- Rozdział 11.15 – Zmiana emisyjności, strona 33
- Rozdział 11.16 – Zmiana odbitej temperatury pozornej otoczenia, strona 34

11.15 Zmiana emisyjności

Ogólne

W przypadku bardzo dokładnych pomiarów może zachodzić konieczność ustawienia emisyjności zamiast wybierania właściwości powierzchni. Należy też zrozumieć w jaki sposób emisyjność i odbijalność mają wpływ na pomiary, a nie tylko wybierać właściwość powierzchni.

Emisyjność to właściwość wskazująca, ile promieniowania pochodzi od obiektu, w przeciwieństwie do promieniowania odbijanego przez obiekt. Niższa wartość wskazuje, że większa część jest odbijana, podczas gdy wysoka wartość wskazuje, że mniejsza część jest odbijana.

Na przykład polerowana stal nierdzewna ma emisyjność 0,14, a płyta podłogowa PCW ze wzorem zazwyczaj ma emisyjność 0,93.

Procedura

Wykonaj następujące czynności, aby ustawić emisyjność:

1	Naciśnij lewy przycisk wyboru (Menu).
2	Za pomocą panelu nawigacyjnego przejdź do opcji Pomiar .
3	Naciśnij lewy przycisk wyboru (Wybierz). Zostanie wyświetlone menu niższego rzędu Pomiar .
4	Za pomocą panelu nawigacyjnego wybierz opcję Zaawansowane .
5	Naciśnij lewy przycisk wyboru (Wybierz). Zostanie wyświetlone menu niższego rzędu Zaawansowane .
6	Za pomocą panelu nawigacyjnego wykonaj jedną z następujących czynności: <ul style="list-style-type: none"> ■ Ustaw wartość emisyjności ■ Wybierz materiał z listy materiałów
7	Naciśnij lewy przycisk wyboru (Wybierz), aby zatwierdzić wybór i wyjść z menu.

ZOBACZ TAKŻE

Więcej informacji na temat emisyjności można znaleźć w rozdziale 20 – Techniki pomiarów termowizyjnych na stronie 132.

11.16 Zmiana odbitej temperatury pozornej otoczenia

Ogólne

Ten parametr służy do kompensacji promieniowania odbijanego przez obiekt. Prawidłowe ustawienie i kompensacja odbitej temperatury pozornej są istotne w przypadku niskiej emisyjności i stosunkowo dużej różnicy pomiędzy temperaturą obiektu a odbitą temperaturą pozorną.

Procedura

Wykonaj następujące czynności, aby ustawić odbitą temperaturę pozorną:

1	Naciśnij lewy przycisk wyboru (Menu).
2	Za pomocą panelu nawigacyjnego przejdź do opcji Pomiar .
3	Naciśnij lewy przycisk wyboru (Wybierz). Zostanie wyświetlone menu niższego rzędu Pomiar .
4	Za pomocą panelu nawigacyjnego wybierz opcję Zaawansowane .
5	Naciśnij lewy przycisk wyboru (Wybierz). Zostanie wyświetlone menu niższego rzędu Zaawansowane .
6	Za pomocą panelu nawigacyjnego ustaw odbitą temperaturę pozorną.
7	Naciśnij lewy przycisk wyboru (Wybierz), aby zatwierdzić wybór i wyjść z menu.

ZOBACZ TAKŻE

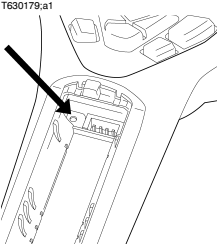
Więcej informacji na temat odbitej temperatury pozornej można znaleźć w rozdziale 20 – Techniki pomiarów termowizyjnych na stronie 132.

11.17 *Resetowanie kamery*

Ogólne W razie konieczności zresetowania kamery skorzystaj z przycisku resetowania znajdującego się w komorze akumulatora.

UWAGA Do resetowania kamery nie wolno używać metalowych ani innych przewodzących narzędzi.

Procedura Wykonaj następujące czynności, aby zresetować kamerę:

1	Otwórz pokrywę komory akumulatora.
2	Aby zlokalizować przycisk resetowania, zobacz rysunek poniżej. 
3	Za pomocą nieprzewodzącego narzędzia naciśnij przycisk resetowania. Kamera zostanie zresetowana.

11.18 *Lokalizacja numeru seryjnego kamery*

Ogólne

Przy kontaktowaniu się z naszymi działami obsługi klienta konieczne może być podanie numeru seryjnego kamery.

Numer seryjny jest wydrukowany na etykiecie znajdującej się w komorze akumulatora, za akumulatorem.

12

Czyszczenie kamery

12.1

Obudowa, przewody i inne elementy kamery

Płyny

Należy używać jednego z następujących płynów:

- Ciepła woda
 - Roztwór łagodnego detergentu
-

Przybory

Miękka ściereczka

Procedura

Wykonaj następujące czynności:

1	Zamocz ściereczkę w płynie.
2	Wykręć ściereczkę w celu usunięcia nadmiaru płynu.
3	Przetrzyj dany element ściereczką.

OSTROŻNIE

Do czyszczenia kamery, kabli i innych elementów nie należy używać rozpuszczalników ani podobnych środków, gdyż mogłoby to spowodować ich uszkodzenie.

12.2 Obiektyw na podczerwień

Płyny

Należy używać jednego z następujących płynów:

- Alkohol izopropylowy 96%.
- Dostępny w handlu płyn do czyszczenia obiektywów o zawartości ponad 30% alkoholu izopropylowego.

Przybory

Wata

Procedura

Wykonaj następujące czynności:

1	Zamocz wate w płynie.
2	Wykręć wate w celu usunięcia nadmiaru płynu.
3	Przetrzyj obiektyw jeden raz i wyrzuć wate.

OSTRZEŻENIE

Przed użyciem jakichkolwiek płynów należy dokładnie zapoznać się z odpowiednimi kartami MSDS (charakterystyki substancji niebezpiecznej) oraz ze wszystkimi etykietami ostrzegawczymi na pojemnikach: płyny mogą być substancjami niebezpiecznymi.

OSTROŻNIE

- Podczas czyszczenia obiektywu na podczerwień należy zachować ostrożność. Obiektyw posiada cienką powłokę antyodblaskową.
- Nie należy czyścić obiektywu na podczerwień zbyt intensywnie. Mogłoby to spowodować uszkodzenie powłoki antyodblaskowej.

12.3 Detektor podczerwieni

Ogólne

Nawet małe ilości kurzu na powierzchni detektora podczerwieni mogą powodować poważne wady obrazu. Aby usunąć kurz z detektora, należy postępować według poniższej procedury.

UWAGA

- Ten rozdział dotyczy tylko kamer, dla których usunięcie obiektywu naraża detektor na kontakt z otoczeniem.
- W niektórych przypadkach kurzu nie można usunąć przy użyciu poniższej procedury: detektor podczerwieni musi zostać oczyszczony mechanicznie. Tego rodzaju czyszczenie mechaniczne musi zostać przeprowadzone przez autoryzowany punkt serwisowy.

OSTROŻNIE

W Kroku 2 nie należy używać sprężonego powietrza z pneumatycznych obwodów, gdyż takie powietrze zawiera zwykle pary oleju do smarowania części pneumatycznych.

Procedura

Wykonaj następujące czynności:

1	Zdejmij obiektyw z kamery.
2	Użyj sprężonego powietrza z pojemnika na sprężone powietrze, aby wydmuchać kurz.

13

Dane techniczne

UWAGA

Firma FLIR Systems zastrzega sobie prawo do wycofywania modeli, części, akcesoriów i innych elementów z oferty oraz do zmiany specyfikacji w dowolnym momencie, bez uprzedniego powiadomienia.

13.1

Informacje o kamerze

Dane obrazowania i optyczne

Pole widzenia (FOV)	Zależne od modelu kamery: <ul style="list-style-type: none">■ $17^\circ \times 17^\circ$ (FLIR i5, model 2009)■ $25^\circ \times 25^\circ$ (FLIR i7)
Minimalna ogniskowa	0,6 m
Rozdzielczość przestrzenna (IFOV)	3,71 mrad
Czułość cieplna/NETD	$< 0,1^\circ\text{C}$
Częstotliwość obrazu	9 Hz
Regulacja ostrości	Bez ustawiania ostrości

Dane detektora

Typ detektora	Mikrobolometr niechłodzony typu FPA (ang. Focal Plane Array, matryca pracująca w płaszczyźnie ogniskowej)
Zakres widmowy	7.5–13 μm
Rozdzielczość obrazu termowizyjnego	Zależne od modelu kamery: <ul style="list-style-type: none">■ 80×80 pikseli (FLIR i5, model 2009)■ 120×120 pikseli (FLIR i7)

Prezentacja obrazu

Ekran	2,8-calowy, kolorowy wyświetlacz LCD
Dostrajanie obrazu	Automatyczne dostosowywanie/blokowanie obrazu

Pomiar

Zakres temperatur obiektu	0°C do $+250^\circ\text{C}$
Dokładność	$\pm 2^\circ\text{C}$ lub $\pm 2\%$ odczytu, dla temperatury otoczenia od 10°C do 35°C

Funkcje pomiarowe

Punkt pomiarowy	Punkt centralny
-----------------	-----------------

Obszar	Zależne od modelu kamery: <ul style="list-style-type: none"> ■ Nie dotyczy (FLIR i5, model 2009) ■ Ramka z wartością min./maks. (FLIR i7)
Izoterma	Zależne od modelu kamery: <ul style="list-style-type: none"> ■ Nie dotyczy (FLIR i5, model 2009) ■ Wyższa/niższa (FLIR i7)
Korekcja emisyjności	Zmienna od 0,1 do 1,0
Tabela emisyjności	Tabela emisyjności materiałów predefiniowanych
Korekcja odbitej temperatury pozornej	Automatyczna, na podstawie odbitej temperatury

Konfiguracja

Palety kolorów	Czarno-biały, żelazny i tęczyowy
Polecenia konfiguracji	Lokalna adaptacja formatu jednostek, języka, daty i czasu

Przechowywanie obrazów

Typ nośnika danych	Karta pamięci miniSD
Formaty plików	Standardowy JPEG, dołączone dane dotyczące 14-bitowego pomiaru

Interfejsy komunikacyjne danych

Interfejsy	USB Mini-B: Przesyłanie danych z i do komputera
------------	---

System zasilania

Typ akumulatora	Akumulator litowo-jonowy
Napięcie akumulatora	3,6 V
Czas pracy akumulatora	Ok. 5 godzin w temperaturze otoczenia +25°C przy zwykłej eksploatacji
System ładowania	Akumulator jest ładowany wewnątrz kamery.
Czas ładowania	3 godz. do 90% pojemności
Zarządzanie zasilaniem	Automatyczne wyłączenie
Zasilanie prądem przemiennym	Zasilacz prądu przemiennego, 90–260 V na wejściu. Na wyjściu do kamery prąd stały 5 V.

Dane środowiskowe

Zakres temperatur pracy	0°C do +50°C
Zmień zakres przechowywania	-40°C do +70°C

Wilgotność (podczas pracy i przechowywania)	Wilgotność względna 95%, w cyklu 24-godzinnym wg IEC 60068-2-30
Kompatybilność elektromagnetyczna	<ul style="list-style-type: none"> ■ EN 61000-6-2:2005 (Odporność na zakłócenia) ■ EN 61000-6-3:2007 (emisja) ■ FCC 47 CFR Część15 Klasa B (emisja)
Obudowa	Obudowa kamery i obiektyw: IP 43 (IEC 60529)
Uderzenia	25 g (IEC 60068-2-29)
Drgania	2 g (IEC 60068-2-6)

Dane fizyczne

Masa kamery z akumulatorem	0,34 kg
Wymiary kamery (długość x szerokość x wysokość)	223 × 79 × 83 mm
Materiał	<p>Poliwęglan + tworzywo akrylonitrylowo-butadienowo-styrenowe (PC-ABS)</p> <p>Magnez odlewany w procesie Thixomold</p> <p>Elastomer termoplastyczny (TPE)</p>
Kolor	Niebiesko-szary

Certyfikacje

Certyfikacja	UL, CSA, CE, PSE i CCC
--------------	------------------------

Opcje dostawy

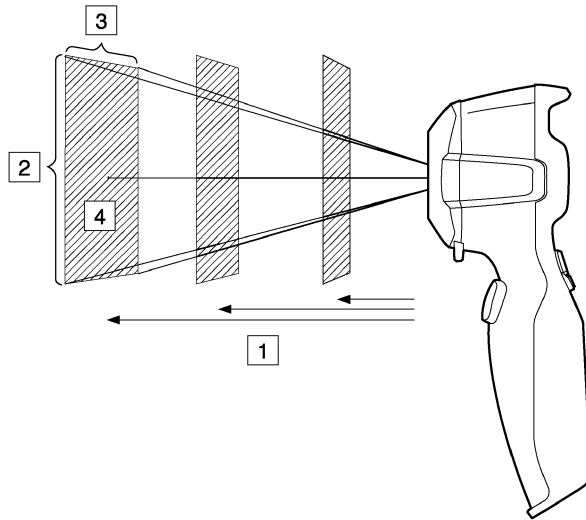
Opakowanie, typ:	Sztuczne
Opakowanie, zawartość	<ul style="list-style-type: none"> ■ Płyta CD-ROM zawierająca FLIR QuickReport ■ Drukowana skrócona instrukcja obsługi ■ CD-ROM z dokumentacją dla użytkownika ■ Certyfikat kalibracji ■ Pasek na rękę ■ Akumulator (w środku kamery) ■ Zasilacz z ładowarką z wtyczkami dla Unii Europejskiej, Wielkiej Brytanii, USA oraz Australii ■ kabel USB ■ Karta pamięci miniSD (512 MB) z adapterem SD

13.2

Dodatkowe dane

Pole widzenia i odległość (FLIR i5)

10780503.a1



Rysunek 13.1 Zależność między polem widzenia a odległością. **1:** Odległość do celu; **2:** VFOV = pionowe pole widzenia; **3:** HFOV = poziome pole widzenia; **4:** IFOV = chwilowe pole widzenia (rozmiar jednego elementu detektora).

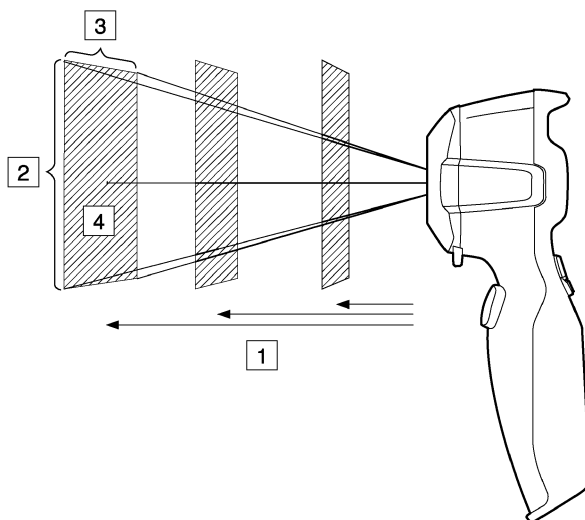
W tabeli podano przykłady pola widzenia dla różnych odległości od obiektu. **Uwaga:** W tabeli pod uwagę nie jest brana minimalna ogniskowa.

10781103.a1

Focal length: 6,76 mm									
Resolution: 80 x 80 pixels									
Field of view in degrees: 16.8									
D --->	0.50	1.00	2.00	5.00	10.00	25.00	50.00	100.00	m
HFOV	0.15	0.30	0.59	1.48	2.96	7.40	14.79	29.59	m
VFOV	0.15	0.30	0.59	1.48	2.96	7.40	14.79	29.59	m
IFOV	1.85	3.70	7.40	18.49	36.98	92.46	184.91	369.82	mm
D --->	1.64	3.28	6.56	16.39	32.79	81.97	163.93	327.87	ft.
HFOV	0.49	0.97	1.94	4.85	9.70	24.25	48.50	97.00	ft.
VFOV	0.49	0.97	1.94	4.85	9.70	24.25	48.50	97.00	ft.
IFOV	0.07	0.15	0.29	0.73	1.46	3.64	7.28	14.56	in.
Legend:									
D = Distance to target in meters & feet									
HFOV = Horizontal field of view in meters & feet									
VFOV = Vertical field of view in meters & feet									
IFOV = Instantaneous field of view (size of one detector element) in millimeters & inches									

Pole widzenia i odległość (FLIR i7)

10780503.a1



Rysunek 13.2 Zależność między polem widzenia a odległością. **1:** Odległość do celu; **2:** VFOV = pionowe pole widzenia; **3:** HFOV = poziome pole widzenia, **4:** IFOV = chwilowe pole widzenia (rozmiar jednego elementu detektora).

W tabeli podano przykłady pola widzenia dla różnych odległości od obiektu. **Uwaga:** W tabeli pod uwagę nie jest brana minimalna ogniskowa.

T638201.a1

Focal length: 6.76 mm									
Resolution: 120 x 120 pixels									
Field of view in degrees: 25.0									
D --->	0.50	1.00	2.00	5.00	10.00	25.00	50.00	100.00	m
HFOV	0.22	0.44	0.89	2.22	4.44	11.09	22.19	44.38	m
VFOV	0.22	0.44	0.89	2.22	4.44	11.09	22.19	44.38	m
IFOV	1.85	3.70	7.40	18.49	36.98	92.46	184.91	369.82	mm
D --->	1.64	3.28	6.56	16.39	32.79	81.97	163.93	327.87	ft.
HFOV	0.73	1.46	2.91	7.28	14.55	36.38	72.75	145.50	ft.
VFOV	0.73	1.46	2.91	7.28	14.55	36.38	72.75	145.50	ft.
IFOV	0.07	0.15	0.29	0.73	1.46	3.64	7.28	14.56	in.
Legend:									
D = Distance to target in meters & feet									
HFOV = Horizontal field of view in meters & feet									
VFOV = Vertical field of view in meters & feet									
IFOV = Instantaneous field of view (size of one detector element) in millimeters & inches									

13.3 Informacje o akcesoriach

Przewód standardowy USB
A ↔ Mini B, 2 m

Długość przewodu	2,0 m
Złącze	Standardowe USB-A – USB Mini-B

Bateria

Typ akumulatora	Akumulator litowo-jonowy
Napięcie akumulatora	3,6 V
Informacje o akumulatorze	Przybliżona zawartość litu: 0,7 g
System ładowania	Akumulator jest ładowany wewnątrz kamery

Zasilacz z ładowarką z wtyczkami dla Unii Europejskiej, Wielkiej Brytanii, USA oraz Australii

Zasilanie prądem przemiennym	100–260 V, 50/60 Hz, na wyjściu prąd stały 5 V, 1,2 A
Zasilanie	6 W
Wymiary (długość × szerokość × wysokość)	69,2 × 43,3 × 29,8 mm
Długość przewodu	1,8 m
Opakowanie, zawartość	<ul style="list-style-type: none"> ■ Zasilanie/ładowarka ■ Wtyczki dla Unii Europejskiej, Wielkiej Brytanii, USA oraz Australii

Karta pamięci, miniSD 512 MB

Karta pamięci, wymiary	512 MB
Wymiary (długość × szerokość × wysokość)	21,5 x 20 x 1,4 mm
Opakowanie, zawartość	<ul style="list-style-type: none"> ■ Karta pamięci miniSD ■ Adapter kart miniSD – SD

14

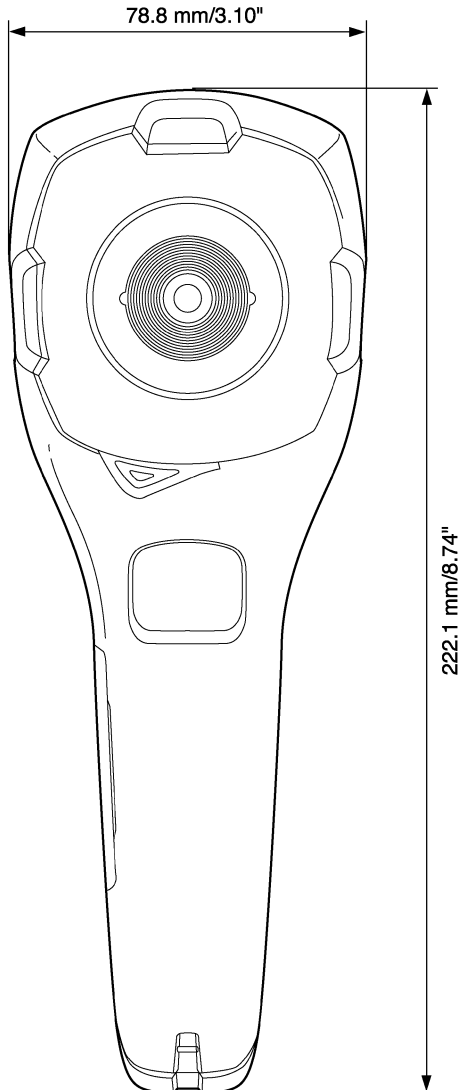
Wymiary

14.1

Kamera (widok z przodu)

Rysunek

10780603.a1

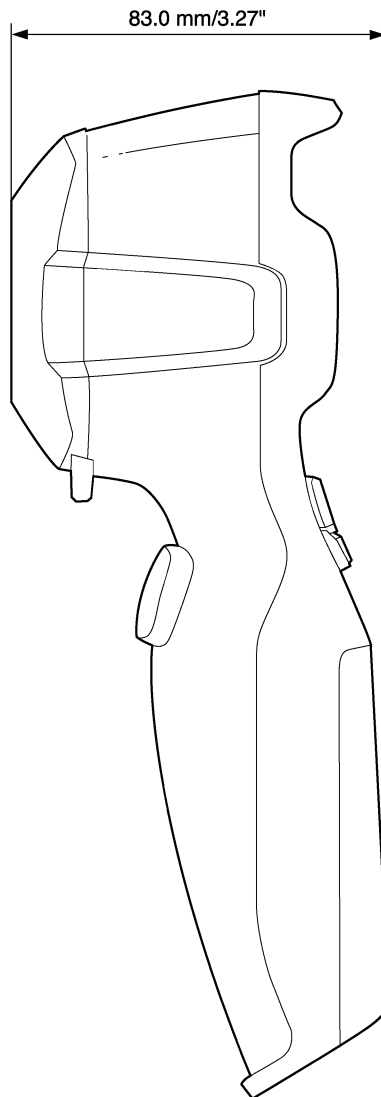


14.2

Kamera (widok z boku)

Rysunek

10780703.a1



15

Przykłady zastosowania

15.1

Szkody spowodowane przez wilgoć i wodę

Ogólne

Przy użyciu kamery termowizyjnej można często wykryć w domu szkody spowodowane przez wilgoć i wodę. Wynika to częściowo z tego, że uszkodzony obszar ma inną właściwość przewodnictwa cieplnego, a częściowo z tego, że ma inną pojemność cieplną do magazynowania ciepła niż otaczający go materiał.

UWAGA

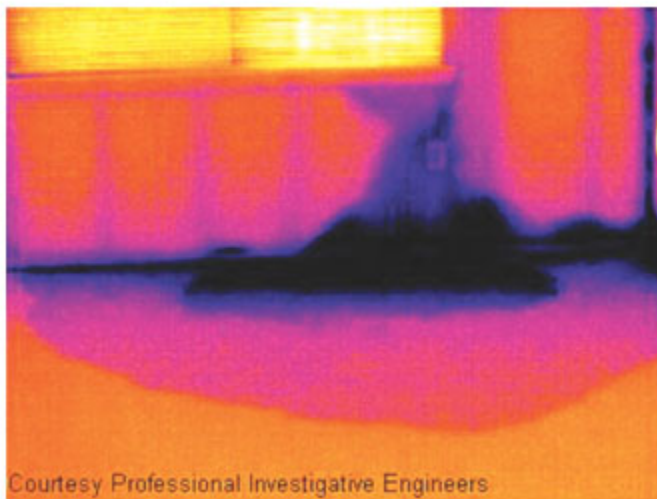
Wygląd szkód spowodowanych przez wilgoć i wodę na obrazie termowizyjnym zależy od wielu czynników.

Części te nagrzewają się i stygną z różną szybkością, w zależności od materiału i pory dnia. Z tego powodu istotne jest, aby użyć również innych metod w celu wykrycia szkód spowodowanych przez wilgoć i wodę.

Rysunek

Na poniższym zdjęciu jest przedstawione rozległe uszkodzenie ściany zewnętrznej, gdzie woda przeniknęła przez zewnętrzną okładzinę z powodu nieprawidłowo zainstalowanego występu okna.

10739503.a1



15.2 Zepsuty styk w gnieździe

Ogólne

W zależności od typu połączenia, jakie jest w gnieździe, nieprawidłowo podłączony styk może powodować lokalny wzrost temperatury. Przyczyną tego wzrostu temperatury, który grozi wybuchem pożaru, może być ograniczona powierzchnia styku między punktem połączenia przychodzącego przewodu a gniazdem.

UWAGA

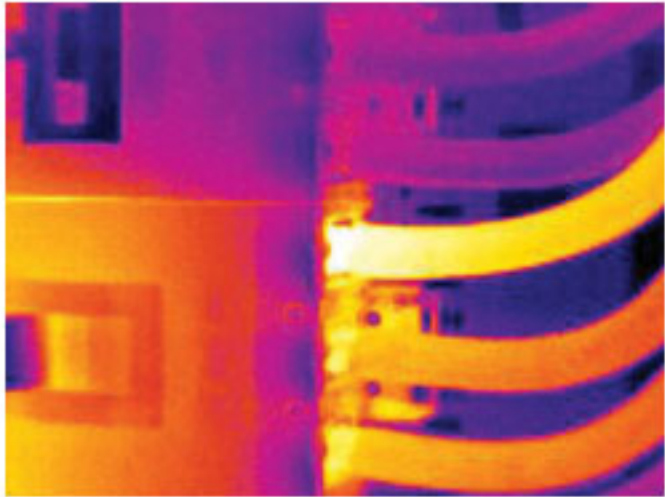
Gniazda różnych producentów mogą być zupełnie inaczej zbudowane. Z tego powodu różne usterki gniazda mogą wyglądać podobnie na obrazie termowizyjnym.

Lokalny wzrost temperatury może być również wynikiem nieprawidłowego styku między przewodem a gniazdem lub różnicą obciążenia.

Rysunek

Na poniższym zdjęciu jest przedstawione połączenie kabla z gniazdem, gdzie nieprawidłowy styk w gnieździe powoduje lokalny wzrost temperatury.

10739603.a1



15.3 *Utlenione gniazdo*

Ogólne

W zależności od typu gniazda i środowiska, w którym jest zainstalowane, powierzchnia jego styków może podlegać utlenianiu. Utlenianie to może prowadzić do lokalnego zwiększenia rezystancji, gdy gniazdo jest obciążone, co na obrazie termowizyjnym jest widoczne jako lokalny wzrost temperatury.

UWAGA

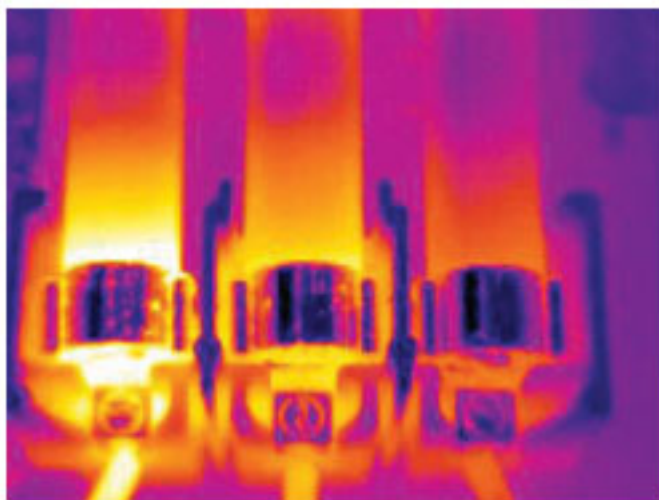
Gniazda różnych producentów mogą być zupełnie inaczej zbudowane. Z tego powodu różne usterki gniazda mogą wyglądać podobnie na obrazie termowizyjnym.

Lokalny wzrost temperatury może być również wynikiem nieprawidłowego styku między przewodem a gniazdem lub różnicą obciążenia.

Rysunek

Na poniższym zdjęciu przedstawiono szereg bezpieczników, gdzie jeden bezpiecznik ma podwyższoną temperaturę na powierzchni styku z uchwytem bezpiecznika. Ponieważ uchwyt bezpiecznika jest z surowego metalu, nie widać na nim wzrostu temperatury, który jest widoczny na materiale ceramicznym bezpiecznika.

10739703.a1



15.4 Niedobory izolacji

Ogólne

Niedobory izolacji mogą wynikać z jej kurczenia się z biegiem czasu, co powoduje, że przestaje ona całkowicie wypełniać wnękę w ścianie szkieletowej.

Kamera termowizyjna pozwala zobaczyć te niedobory izolacji, ponieważ mają one inną właściwość przewodnictwa cieplnego niż odcinki z poprawnie zainstalowaną izolacją i/lub pokazuje miejsca, gdzie powietrze przenika szkielet budynku.

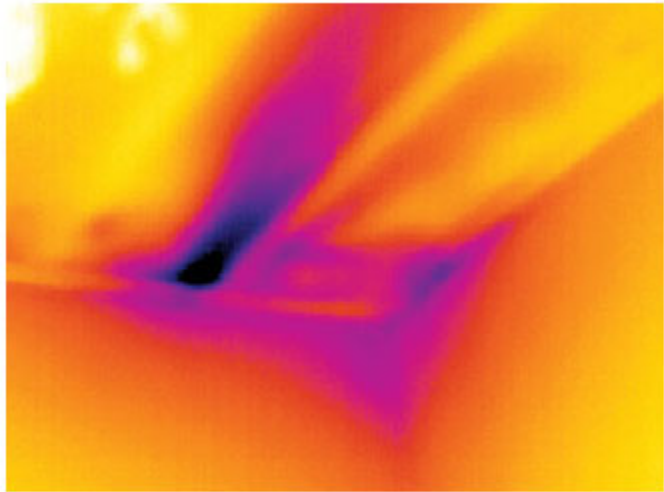
UWAGA

Podczas badania budynku różnica temperatury wewnątrz i na zewnątrz powinna wynosić przynajmniej 10°C. Słupy, rury wodociągowe, kolumny betonowe i podobne obiekty mogą przypominać niedobory izolacji na obrazie termowizyjnym. Mniejsze różnice mogą również występować w sposób naturalny.

Rysunek

Na poniższym zdjęciu brak jest izolacji w szkielecie dachu. Ze względu na brak izolacji powietrze przedostaje się do struktury dachu, co charakterystycznie wygląda na obrazie termowizyjnym.

10739803.a1



15.5 Ciąg

Ogólne

Ciąg może występować pod listwami przypodłogowymi, wokół ościeżnic okiennych i drzwiowych oraz nad opaską sufitową. Ten rodzaj ciągu jest często widoczny na obrazie kamery termowizyjnej, ponieważ strumień zimniejszego powietrza chłodzi otaczającą go powierzchnię.

UWAGA

Do badania ciągu w budynku potrzebne jest wytworzenie ciśnienia niższego niż atmosferyczne. W tym celu należy przed zrobieniem obrazów termowizyjnych pozamykać wszystkie drzwi, okna i kanały wentylacyjne i zostawić wentylator kuchenny włączony na pewien czas.

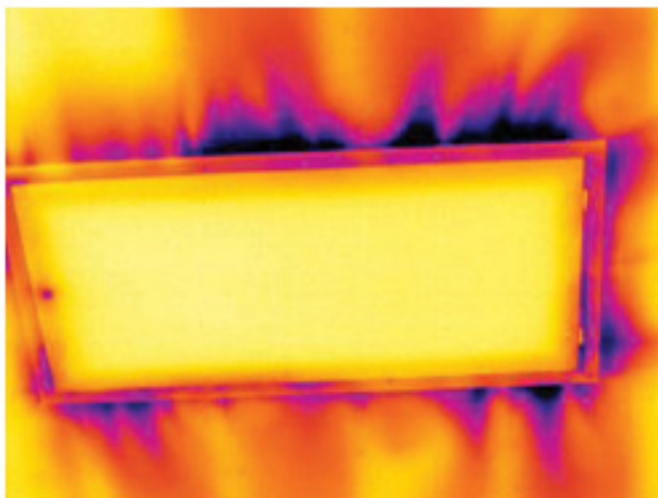
Na obrazie termowizyjnym ciągu widać często typowy obraz strumienia. Taki obraz strumienia jest dobrze widoczny na poniższym zdjęciu.

Należy również pamiętać, że ciągi mogą być ukryte przez ciepło z ogrzewania podłogowego.

Rysunek

Na poniższym zdjęciu jest przedstawiona kłapa sufitowa, gdzie wadliwa izolacja powoduje silny ciąg.

10739903.a1



16 Wprowadzenie do termografii budynków

16.1 *Oświadczenie*

16.1.1 Prawa autorskie

Właścicielami praw autorskich do niektórych fragmentów tekstu i/lub obrazów są następujące organizacje i firmy:

- FORMAS—The Swedish Research Council for Environment, Agricultural Sciences and Spatial Planning, Stockholm, Sweden
- ITC—Infrared Training Center, Boston, MA, United States
- Stockton Infrared Thermographic Services, Inc., Randleman, NC, United States
- Professional Investigative Engineers, Westminster, CO, United States
- United Kingdom Thermography Association (UKTA)

16.1.2 Szkolenia i certyfikacja

Prowadzenie badań termowizyjnych budynków wymaga rozległej wiedzy i doświadczenia, a może również wymagać uzyskania stosownego certyfikatu od krajowego lub regionalnego organu normalizacyjnego. Ten rozdział zawiera jedynie wstęp do termowizji budynków. Użytkownikom usilnie zaleca się odbycie odpowiednich szkoleń.

Więcej informacji na temat szkoleń w zakresie badań termowizyjnych można znaleźć na następującej stronie internetowej:

<http://www.infraredtraining.com>

16.1.3 Krajowe lub regionalne kodeksy budowlane

Elementy konstrukcyjne budynków przedstawione w tym rozdziale mogą różnić się w zależności od kraju. Aby uzyskać więcej informacji na temat szczegółów konstrukcyjnych i norm postępowania, zawsze należy korzystać z krajowych lub regionalnych kodeksów budowlanych.

16.2 *Ważna uwaga*

Niektóre z funkcji opisanych w tym rozdziale mogą nie być obsługiwane w danej konfiguracji kamery.

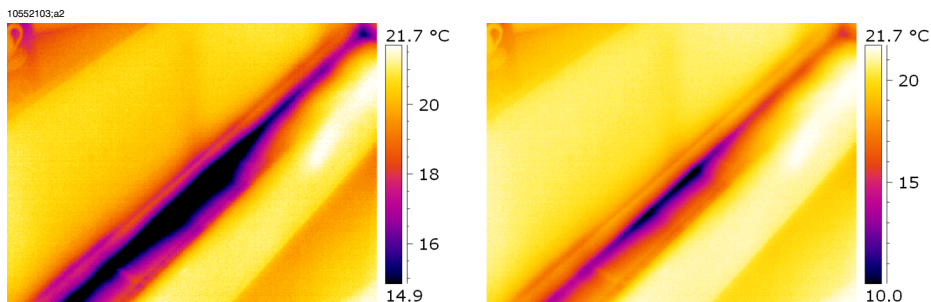
16.3 Typowe badania w terenie

16.3.1 Wskazówki

Jak zauważono w kolejnych podrozdziałach, istnieje szereg wskazówek ogólnych, na które należy zwracać uwagę przy przeprowadzaniu badań termograficznych budynków. Ten podrozdział zawiera ich podsumowanie.

16.3.1.1 Wskazówki ogólne

- Emisyjność większości materiałów budowlanych mieści się w przedziale od 0,85 do 0,96. Dobrym punktem wyjścia jest ustawienie w kamerze wartości emisyjności równej 0,9.
- Samo badanie termograficzne nie powinno stanowić podstawy do podejmowania decyzji o dalszym toku postępowania. Wszelkie podejrzenia i ustalenia należy zawsze zweryfikować innymi metodami, takimi jak schematy konstrukcyjne, mierniki wilgoci, rejestracja danych o wilgotności i temperaturze, badanie gazu lokalizacyjnego itd.
- Zmieniając poziom i zakres temperatur można termicznie dostroić obraz termograficzny i ujawnić dodatkowe szczegóły. Na poniższym rysunku przedstawiono różnicę pomiędzy termicznie niedostrojonym i dostrojonym obrazem termograficznym.



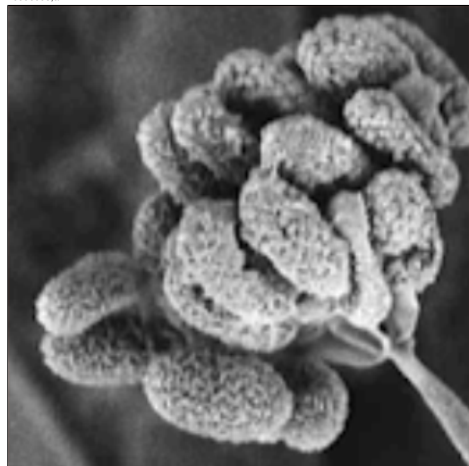
Rysunek 16.1 PO LEWEJ: Termicznie niedostrojony obraz termograficzny; **PO PRAWEJ:** Termicznie dostrojony obraz termograficzny, po zmianie poziomu i zakresu temperatur.

16.3.1.2 Wskazówki odnośnie wykrywania wilgoci, pleśni i uszkodzeń spowodowanych przez wodę

- Uszkodzenia budynków spowodowane przez wilgoć i wodę mogą się ujawnić dopiero po ogrzaniu powierzchni, np. przez słońce.
- Obecność wody zmienia przewodność cieplną i pojemność cieplną materiałów budowlanych. Może także zmieniać temperaturę powierzchniową materiałów budowlanych w efekcie odparowania. Przewodność cieplna jest zdolnością materiału do przewodzenia ciepła, natomiast pojemność cieplna zdolnością do jego przechowywania.

- Badanie termowizyjne nie wykrywa wprawdzie bezpośrednio obecności pleśni, ale może służyć do znalezienia wilgoci, gdzie pleśń może się wytworzyć lub już się wytworzyła. Rozwój pleśni wymaga temperatury między $+4$ a $+38^{\circ}\text{C}$, składników odżywczych i wilgoci. Poziom wilgocci powyżej 50% może zapewnić wystarczającą ilość wilgoci do rozwoju pleśni.

10556003.a1



Rysunek 16.2 Zarodek pleśni pod mikroskopem

16.3.1.3 *Wskazówki odnośnie wykrywania miejsc przenikania powietrza i wad ociepleń*

- Dla uzyskania dokładnych pomiarów za pomocą kamery należy zmierzyć temperaturę i wprowadzić uzyskaną wartość do kamery.
- Zaleca się, aby występowała różnica ciśnienia na zewnątrz i wewnątrz budynku. Ułatwia to analizę obrazów termograficznych i ujawnia wady, które w przeciwnym razie nie byłyby widoczne. Chociaż zalecane podciśnienie wynosi od 10 do 50 Pa, dopuszczalne jest prowadzenie badań termograficznych przy niższym podciśnieniu. Aby uzyskać takie podciśnienie, należy zamknąć wszystkie okna, drzwi i otwory wentylacyjne, a następnie włączyć na pewien czas wyciąg kuchenny, aż do uzyskania podciśnienia rzędu 5–10 Pa (dotyczy wyłącznie budynków mieszkalnych).
- Zaleca się, aby różnica temperatur wewnątrz i na zewnątrz budynku wynosiła $10\text{--}15^{\circ}\text{C}$. Badania można przeprowadzać przy niższej różnicy temperatur, lecz wówczas analiza obrazów termograficznych będzie nieco utrudniona.
- Należy unikać bezpośredniego nasłonecznienia tej części konstrukcji budynku, np. elewacji, która ma być badana od wewnątrz. Światło słoneczne spowoduje nagrzanie elewacji, wyrównując różnicę temperatur i ukrywając wady konstrukcji budynku. Szczególnie ryzykowne jest przeprowadzanie badań w sezonie wiosennym, o niskiej temperaturze nocą ($\pm 0^{\circ}\text{C}$) i wysokiej za dnia ($+14^{\circ}\text{C}$).

16.3.2 Informacje o wykrywaniu wilgoci

Wilgoć w budynku może pochodzić z kilku różnych źródeł, np.:

- Przepieki z zewnątrz, np. powodzie, nieszczelne hydranty przeciwpożarowe itp.
- Przepieki wewnętrzne, np. z instalacji wodociągowej, ściekowej itp.
- Kondensacja, czyli skraplanie się wilgoci zawartej w powietrzu na zimnych powierzchniach.
- Wilgoć zawarta w materiale budowlanym przed postawieniem budynku.
- Woda pozostała po gaszeniu pożaru.

Korzystanie z kamery termowizyjnej, jako nieniszczącej metody badawczej, posiada szereg zalet, lecz również kilka wad w stosunku do innych metod:

Zalety	Wady
<ul style="list-style-type: none"> ■ Metoda jest szybka. ■ Metoda jest nieinwazyjną metodą badawczą. ■ Metoda nie wymaga przekwaterowania mieszkańców. ■ Metoda umożliwia wizualne, graficzne przedstawienie wyników badania. ■ Metoda umożliwia potwierdzenie słabych punktów konstrukcji i dróg migracji wilgoci. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Metoda umożliwia wykrywanie tylko powierzchniowych różnic temperatury, bez możliwości badania poprzez ściany. ■ Metoda nie pozwala na wykrywanie uszkodzeń podpowierzchniowych, np. wilgoci czy uszkodzeń struktury materiału.

16.3.3 Wykrywanie wilgoci (1): Dachy budynków użytkowych o małym nachyleniu

16.3.3.1 Informacje ogólne

Dachy budynków użytkowych, takich jak magazyny, zakłady przemysłowe, warsztaty naprawcze, o małym nachyleniu są najbardziej rozpowszechnione w budownictwie przemysłowym ze względu na niższy koszt materiałów i budowy w stosunku do dachów dwuspadowych. Jednak ze względu na fakt, że w przypadku takiego dachu niemożliwe jest samoistne zsuwanie się śniegu i lodu — jak to ma miejsce w większości dachów dwuspadowych — musi on mieć wystarczająco mocną konstrukcję, aby utrzymać własny ciężar wraz z masą śniegu, lodu i wody deszczowej.

Chociaż przy badaniu termograficznym dachu niezbędna jest podstawowa znajomość konstrukcji dachów budynków użytkowych o niskim nachyleniu, nie trzeba być ekspertem w tej dziedzinie. Istnieje wiele zasad projektowania dachów budynków użytkowych o niskim nachyleniu — zarówno w zakresie materiałów, jak i konstrukcji — i niemożliwością jest, aby osoba przeprowadzająca badanie termograficzne poznała je wszystkie. Jeśli potrzebne są dodatkowe informacje na temat konkretnego dachu, można je zwykle uzyskać od architekta lub wykonawcy budynku.

W poniższej tabeli wymieniono najczęstsze przyczyny zawalenia się dachu (na podstawie SPIE Thermosense Proceedings Vol. 371 (1982 r.), str. 177).

Przyczyna	%
Wadliwe wykonanie	47,6
Obciążenie dachu	2,6
Wadliwy projekt	16,7
Uwięziona wilgoć	7,8
Materiały	8,0
Wiek i starzenie w warunkach atmosferycznych	8,4

Do potencjalnych miejsc przecieku należą:

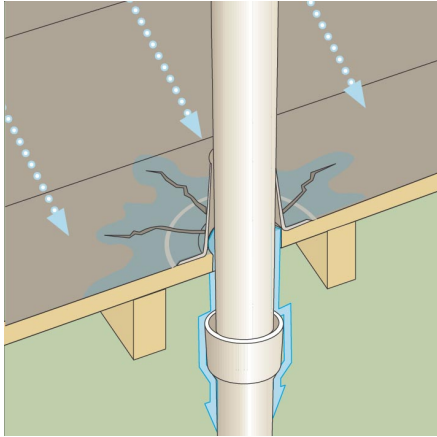
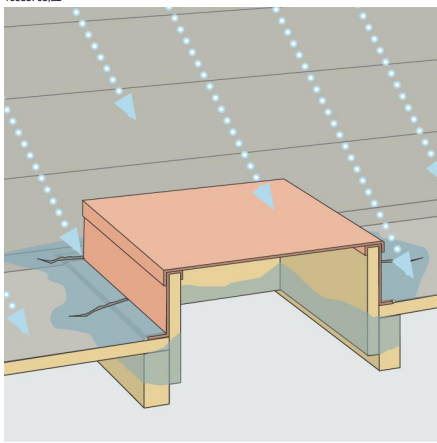
- Obróbka blacharska
- Kanały odprowadzające wodę
- Perforacje
- Pęknięcia powierzchniowe
- Pęcherze

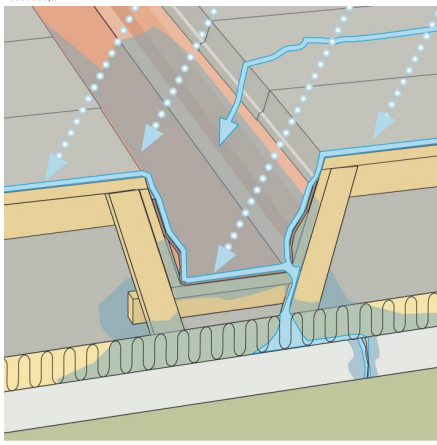
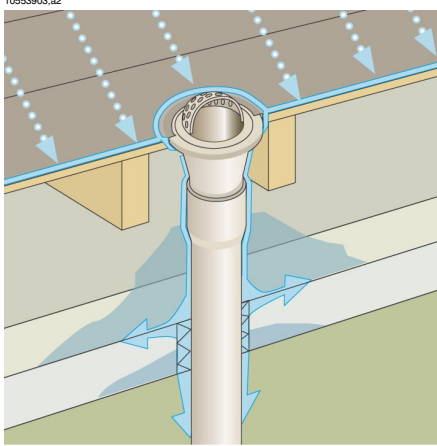
16.3.3.2 Środki bezpieczeństwa

- Zaleca się, aby badanie na dachu przeprowadzały co najmniej dwie osoby, a najlepiej trzy lub więcej.
- Przed wejściem na dach zbadać od spodu stan jego konstrukcji.
- Unikać następowania na pęcherze będące zjawiskiem powszechnie występującym w przypadku wielowarstwowych dachów bitumicznych i żwirowych.
- Mieć przy sobie telefon komórkowy lub krótkofalówkę na wypadek zajścia sytuacji awaryjnej.
- Przed przeprowadzeniem badania dachu w porze nocnej poinformować o tym fakcie lokalny posterunek policji i ochronę zakładu.

16.3.3.3 Elementy konstrukcyjne budynków z komentarzem

W tym punkcie przedstawiono kilka typowych przykładów problemów związanych z wilgocią, występujących na dachach budynków użytkowych o małym nachyleniu.

Schemat konstrukcyjny	Komentarz
<p>10553603,a2</p> 	<p>Nieprawidłowe uszczelnienie powierzchni dachu wokół rur i przewodów wentylacyjnych prowadzące do miejscowego przecieku</p>
<p>10553703,a2</p> 	<p>Nieprawidłowe uszczelnienie powierzchni dachu wokół kłapy otworu dachowego</p>

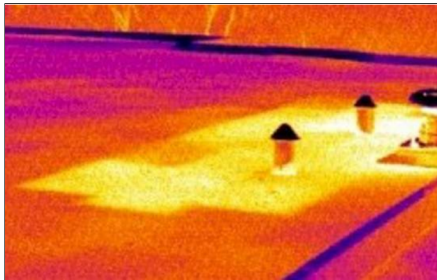
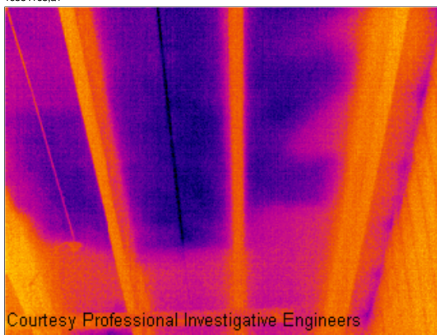
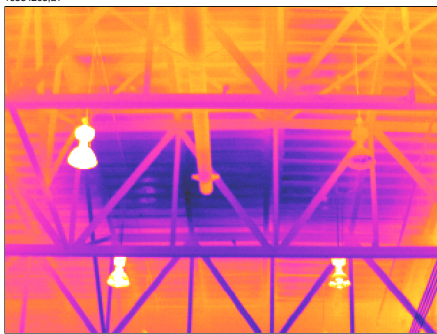
Schemat konstrukcyjny	Komentarz
<p>10553803.a2</p> 	<p>Kanały ściekowe umieszczone zbyt wysoko i o zbyt małym nachyleniu. Po opadach deszczu woda pozostaje w kanale ściekowym, co może prowadzić do miejscowego przecieku wokół kanału.</p>
<p>10553803.a2</p> 	<p>Nieprawidłowe uszczelnienie pomiędzy powierzchnią dachu a wylotem dachowym, prowadzące do miejscowego przecieku wokół wylotu.</p>

16.3.3.4 Obrazy termowizyjne z komentarzem

Jak można stwierdzić obecność wilgoci w izolacji cieplnej pod powierzchnią dachu? Jeśli sama powierzchnia dachu, łącznie ze żwirami lub kruszywem jest sucha, w słoneczny dzień cały dach ulega nagrzaniu. Wczesnym wieczorem, przy dobrej pogodzie, rozpoczyna się stygnięcie dachu przez wypromieniowanie ciepła. Ze względu na większą pojemność cieplną wilgotna izolacja dłużej pozostaje ciepła niż sucha, co jest widoczne w kamerze termograficznej (patrz zdjęcia poniżej). Metoda ta jest skuteczna zwłaszcza w przypadku dachów z izolacją wykonaną z materiałów o właściwościach higroskopijnych, takich jak włókno drzewne, włókno szklane czy perlit, kiedy to rozkład temperatury prawie idealnie odpowiada rozkładowi wilgoci.

Badania termograficzne dachów z izolacją wykonaną z materiałów nie posiadających właściwości higroskopijnych są trudniejsze w analizie, gdyż rozkład temperatur nie jest tutaj tak jednoznaczny.

W tym punkcie przedstawiono kilka typowych obrazów termograficznych problemów związanych z wilgocią, występujących na dachach budynków użytkowych o małym nachyleniu:

Obraz termowizyjny	Komentarz
<p>10554003.a1</p> 	<p>Wykrycie wilgoci na dachu; obraz zarejestrowany wieczorem.</p> <p>Ponieważ zawilgocony materiał posiada większą pojemność cieplną, jego temperatura spada wolniej niż obszaru przyległego.</p>
<p>10554103.a1</p>  <p>Courtesy Professional Investigative Engineers</p>	<p>Uszkodzone przez wodę elementy dachu i izolacji cieplnej zidentyfikowane na obrazie termograficznym spodu dachu wielowarstwowego, na płycie z betonu strukturalnego.</p> <p>Zawilgocone obszary są chłodniejsze niż suche ze względu na zjawisko przewodności i/lub pojemności cieplnej.</p>
<p>10554203.a1</p> 	<p>Dzienne badanie dachu budynku użytkowego o małym nachyleniu.</p> <p>Zawilgocone obszary są chłodniejsze niż suche ze względu na zjawisko przewodności i/lub pojemności cieplnej.</p>

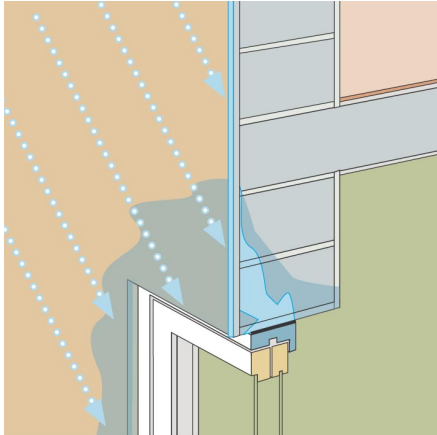
16.3.4 Wykrywanie wilgoci (2): Elewacje budynków użytkowych i mieszkalnych

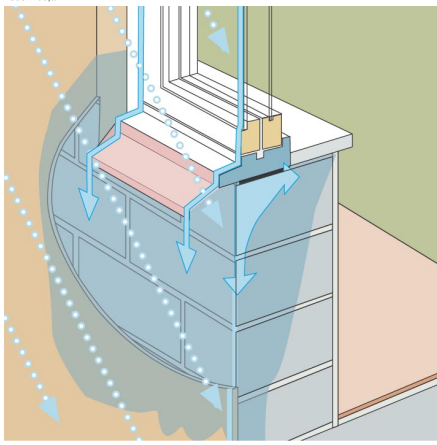
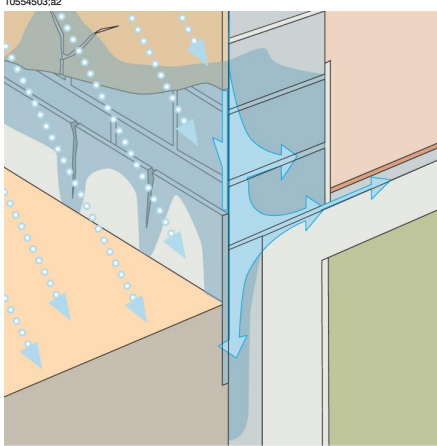
16.3.4.1 Informacje ogólne

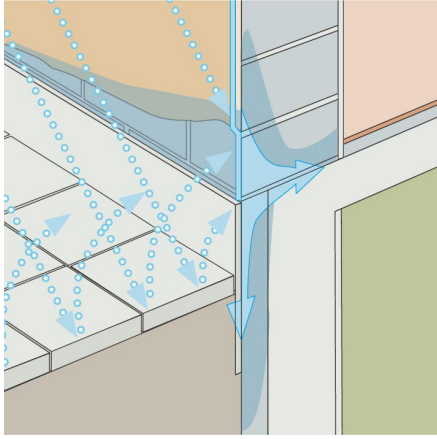
Termowizja sprawdziła się jako nieoceniona metoda oceny wnikania wilgoci w elewacje budynków użytkowych i mieszkalnych. Możliwość fizycznego zobrazowania dróg migracji wilgoci daje więcej informacji niż ekstrapolacja miejsc rozmieszczenia sond wilgotnościomierza i bardziej ekonomiczna niż duże wykonywanie dużych nacięć testowych.

16.3.4.2 Elementy konstrukcyjne budynków z komentarzem

W tym punkcie przedstawiono kilka typowych przykładów problemów związanych z wilgocią, występujących na elewacjach budynków użytkowych i mieszkalnych.

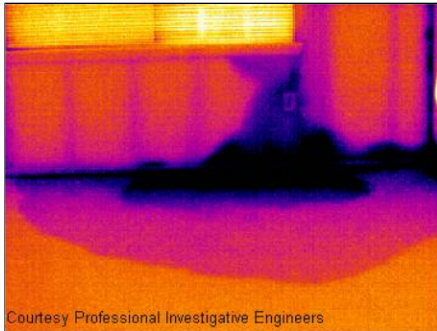
Schemat konstrukcyjny	Komentarz
<p>10554303.a2</p> 	<p>Ulewny deszcz przenika przez elewację ze względu na wadliwie wykonane połączenia nadokienne. Wilgoć gromadzi się w murze nad oknem.</p>

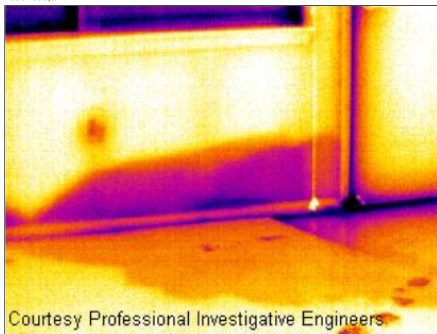
Schemat konstrukcyjny	Komentarz
<p>10554403.a2</p> 	<p>Ulewny deszcz uderza w okno pod kątem. Większa część wody spływa po parapecie krawędzi okna, lecz część wnika w mur w miejscu, gdzie tynk styka się ze spodem parapetu.</p>
<p>10554503.a2</p> 	<p>Deszcz uderza w elewację pod kątem i przenika do tynku przez spękania. Woda następnie penetruje wewnątrz tynku i prowadzi do erozji spowodowanej zamarzaniem.</p>

Schemat konstrukcyjny	Komentarz
<p>10554603.a2</p>  <p>The diagram illustrates a cross-section of a building's exterior corner where a window meets the wall and floor. Blue arrows and dots represent water (rain) falling on the window sill and seeping into the wall and floor structure. The water is shown moving through the masonry and into the interior space, highlighting a common moisture intrusion point.</p>	<p>Deszcz pryska na elewację i wnika w tynk i mur w wyniku absorpcji, co ostatecznie prowadzi do erozji spowodowanej zamarzaniem.</p>

16.3.4.3 Obrazy termowizyjne z komentarzem

W tym punkcie przedstawiono kilka typowych obrazów termowizyjnych problemów związanych z wilgocią, występujących na elewacjach budynków użytkowych i mieszkalnych.

Obraz termowizyjny	Komentarz
<p>10554703.a1</p>  <p>The thermal image shows a wall with a dark, irregular shape, indicating a moisture intrusion. The shape is darker than the surrounding wall, suggesting a lower temperature due to the presence of water. The image is labeled 'Courtesy Professional Investigative Engineers'.</p>	<p>Nieprawidłowo zakończony i uszczelniony fornir kamienny ramy okna i brak parapetu spowodował przenikanie wilgoci do szczelin w murze i do wewnętrznej przestrzeni mieszkalnej.</p>

Obraz termowizyjny	Komentarz
	<p>Migracja wilgoci w mur suchy i elementy wykończenia wnętrza na skutek zjawiska włoskowatości, spowodowana nieprawidłowym prześwitem i nachyleniem elewacji z sidingiem winylowym w bloku mieszkalnym.</p>

16.3.5 Wykrywanie wilgoci (3): Tarasy i balkony

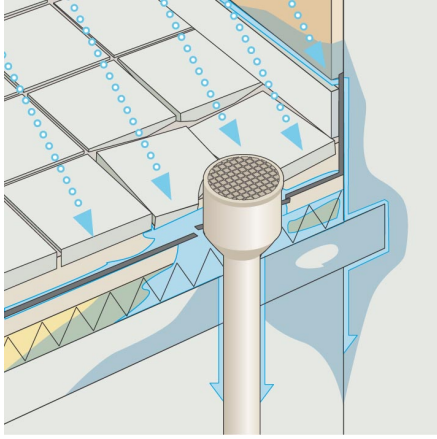
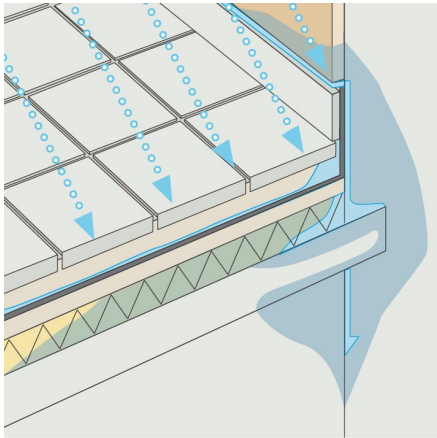
16.3.5.1 Informacje ogólne

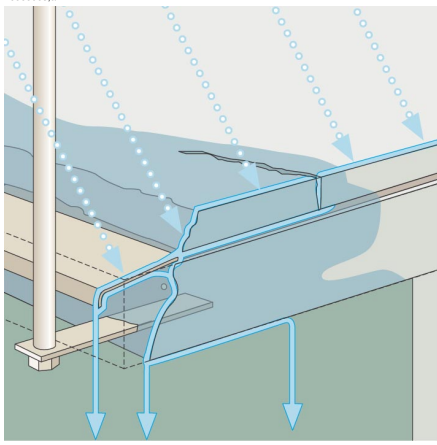
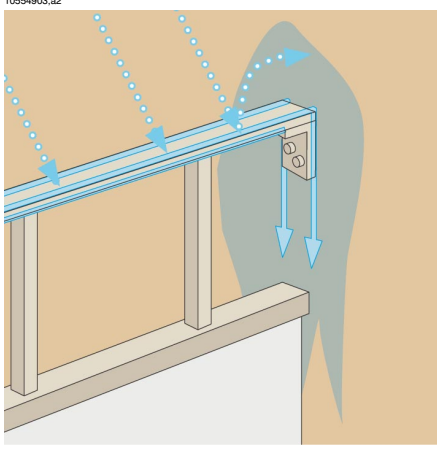
Chociaż różnią się konstrukcją, materiałami i budową, tarasy — placowe, podwórkowe itp — podlegają tym samym problemom związanym z wilgocią i przeciekami, co dachy budynków użytkowych o małym nachyleniu. Niewłaściwe parapety/rynny, nieodpowiednio uszczelnione powierzchnie i niewystarczające odprowadzanie wody mogą prowadzić do poważnych uszkodzeń przedstawionych poniżej elementów konstrukcyjnych budynku.

Balkony, chociaż mniejsze, wymagają tak samo starannej konstrukcji, doboru materiałów i wykonania, jak inne elementy konstrukcyjne budynków. Ponieważ balkony mają zwykle podparcie tylko z jednej strony, wilgoć powodująca korozję wsporników i zbrojenia betonu może powodować problemy i prowadzić do niebezpiecznych sytuacji.

16.3.5.2 Elementy konstrukcyjne budynków z komentarzem

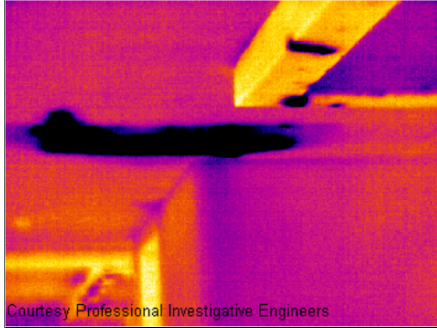
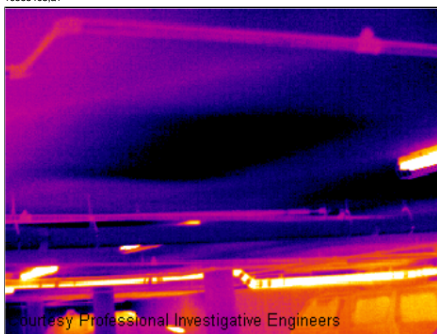
W tym punkcie przedstawiono kilka typowych przykładów problemów związanych z wilgocią, występujących na tarasach i balkonach.

Schemat konstrukcyjny	Komentarz
<p>10555203;a2</p> 	<p>Nieprawidłowe uszczelnienie pomiędzy pokryciem i powierzchnią dachu a wylotem dachowym, prowadzące do przecieków przy padającym deszczu.</p>
<p>10555103;a2</p> 	<p>Brak rynny przy połączeniu tarasu ze ścianą, prowadzący do wnikania wody deszczowej do betonu i izolacji cieplnej.</p>

Schemat konstrukcyjny	Komentarz
<p>10555003.a2</p> 	<p>Woda wniknęła w beton ze względu na nieprawidłową wielkość okapu oraz doprowadziła do uszkodzenia struktury wewnętrznej betonu i korozji zbrojenia.</p> <p>ZAGROŻENIE BEZPIECZEŃSTWA!</p>
<p>10554903.a2</p> 	<p>Woda wniknęła w tynk i mur w miejscu zamocowania poręczy do ściany.</p> <p>ZAGROŻENIE BEZPIECZEŃSTWA!</p>

16.3.5.3 Obrazy termowizyjne z komentarzem

W tym punkcie przedstawiono kilka typowych obrazów termowizyjnych problemów związanych z wilgocią, występujących na tarasach i balkonach.

Obraz termowizyjny	Komentarz
<p>10555303.a1</p>  <p>Courtesy Professional Investigative Engineers</p>	<p>Nieprawidłowy cokół przy połączeniach balkonu ze ścianą oraz brak obwodowego systemu odprowadzania wody doprowadziły do wnikania wilgoci w drewniany szkielet konstrukcji podpierającej balkon pasażowego w kompleksie poddaszy.</p>
<p>10555403.a1</p>  <p>Courtesy Professional Investigative Engineers</p>	<p>Brak kompozytowej płyty odwadniającej w konstrukcji dolnego tarasu parkingowego piętrowego doprowadził do gromadzenia się wody pomiędzy betonową konstrukcją tarasu a jego nawierzchnią.</p>

16.3.6 Wykrywanie wilgoci (4): Pęknięcia rur i nieszczelność instalacji wodociągowej

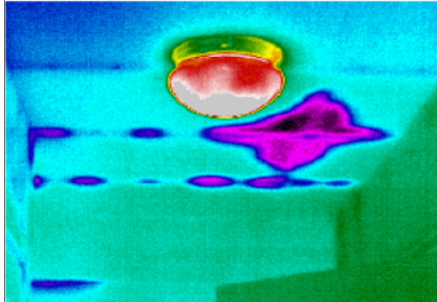
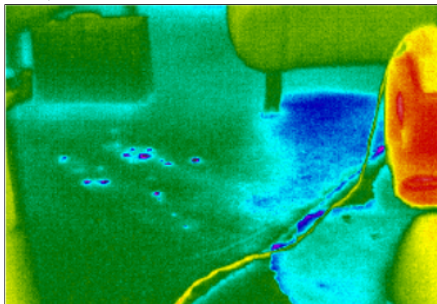
16.3.6.1 Informacje ogólne

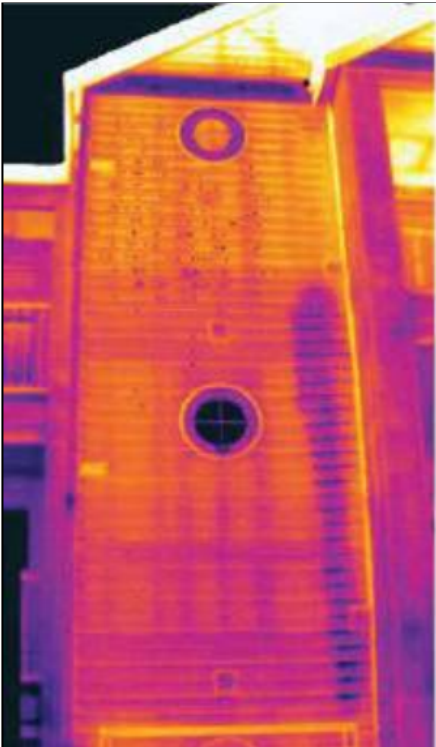
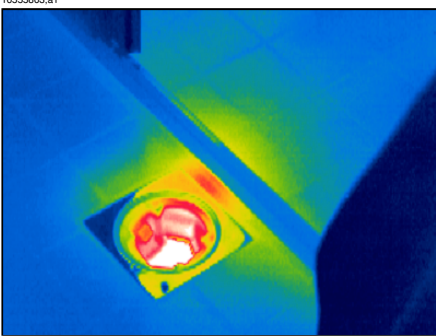
Nieszczelność instalacji wodociągowej może często prowadzić do poważnego uszkodzenia konstrukcji budynku. Niewielkie wycieki mogą być trudne do wykrycia, ale z biegiem lat wilgoć może wnikać w ściany nośne i fundamenty, powodując takie zniszczenia, że budynek nie nadaje się do remontu.

Korzystanie z monitorowania termograficznego budynków na wczesnym etapie, po stwierdzeniu możliwości przerwania lub przecieku instalacji wodociągowej, może przynieść duże oszczędności materiałów i robocizny.

16.3.6.2 Obrazy termowizyjne z komentarzem

W tym punkcie przedstawiono kilka typowych obrazów termowizyjnych pęknięć rur i nieszczelności instalacji wodociągowej.

Obraz termowizyjny	Komentarz
<p>10555603.a1</p>  <p>Courtesy Professional Investigative Engineers</p>	<p>Migracja wilgoci wzdłuż kanałów w stalowych belkach stropowych domu jednorodzinnego, w którym nastąpiło pęknięcie rury wodociągowej.</p>
<p>10555603.a1</p>  <p>Courtesy Professional Investigative Engineers</p>	<p>Wilgoć powstała wskutek nieszczelności instalacji wodociągowej zaszała dalej, niż pierwotnie przewidywał wykonawca podczas przeprowadzania czynności naprawczych, polegających na wycięciu fragmentu wykładziny i zamontowaniu osuszaczy.</p>

Obraz termowizyjny	Komentarz
<p data-bbox="112 162 168 175">10555703.a1</p>  A thermal image of a building facade. The image shows a vertical section of a wall with two circular windows. The wall is primarily yellow and orange, indicating moderate temperatures. The second window from the top shows a distinct, bright yellow and white area, indicating a significant heat leak. The surrounding wall and sky are cooler, appearing in shades of purple and blue.	<p data-bbox="571 162 1008 271">Obraz termowizyjny tego 2-piętrowego budynku z sidingiem winylowym wyraźnie pokazuje drogę poważnego wycieku z pralki na drugim piętrze, który jest całkowicie ukryty wewnątrz ściany.</p>
<p data-bbox="112 951 168 963">10555803.a1</p>  A close-up thermal image of a drain grate. The grate is a square with a circular opening in the center. The area around the grate is mostly blue and green, indicating cooler temperatures. The central opening shows a bright yellow and white area, indicating a significant heat leak. The surrounding floor is cooler, appearing in shades of blue and purple.	<p data-bbox="571 951 1008 1037">Przeciek spowodowany nieprawidłowym uszczelnieniem pomiędzy kratką ściekową podłogową a płytkami ceramicznymi.</p>

16.3.7 Przenikanie powietrza

16.3.7.1 Informacje ogólne

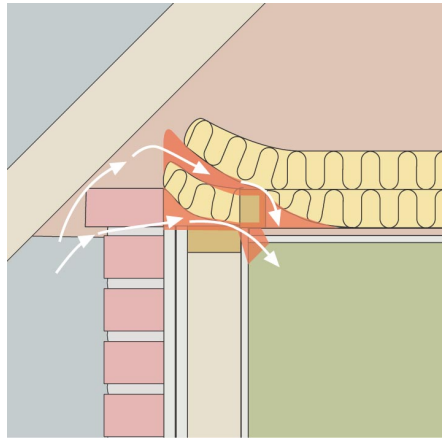
Ze względu na napór wiatru na budynek, różnice pomiędzy temperaturą panującą w jego wnętrzu i na zewnątrz oraz fakt, że większość budynków posiada urządzenia wyciągowe do odprowadzania zużytego powietrza, można spodziewać się podciśnienia rzędu 2–5 Pa. Gdy podciśnienie powoduje przedostawanie się do wnętrza budynku chłodnego powietrza ze względu na wady ociepleń i/lub uszczelnień budynku, mamy do czynienia ze zjawiskiem określanym jako *przenikanie powietrza*. Przenikanie powietrza najczęściej występuje na połączeniach i szwach w konstrukcji budynku.

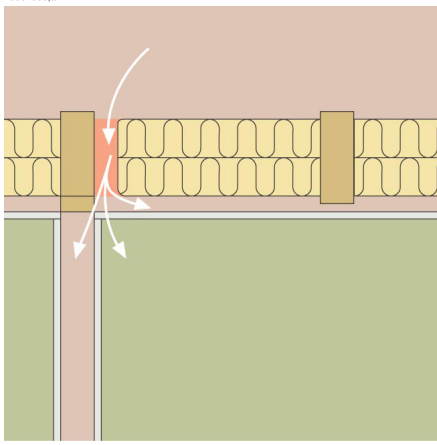
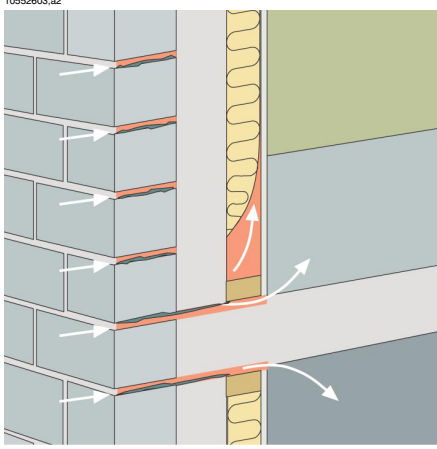
Ponieważ przenikanie powietrza powoduje napływ chłodnego powietrza, np. do pokoju, może prowadzić do pogorszenia komfortu cieplnego wewnątrz budynku. Napływ powietrza rzędu zaledwie 0,15 m/s jest już zauważalny dla domowników, chociaż może być trudny do wykrycia za pomocą zwykłych przyrządów pomiarowych.

Na obrazie termowizyjnym przenikanie powietrza można rozpoznać po charakterystycznym wzorze promienistym rozchodzącym się z punktu wyjścia w konstrukcji budynku, np. spoza listwy przypodłogowej. Ponadto miejsca przenikania powietrza zwykle posiadają niższą temperaturę wykrywaną niż miejsca, w których występują jedynie wady ocieplenia. Wynika to z chłodzącego działania napływającego powietrza.

16.3.7.2 Elementy konstrukcyjne budynków z komentarzem

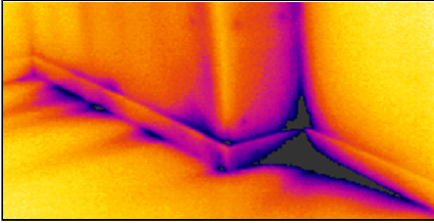
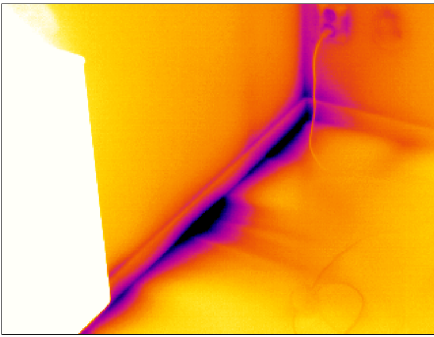
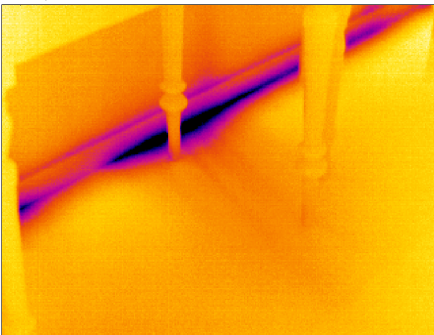
W tym punkcie przedstawiono kilka typowych przykładów elementów konstrukcyjnych budynku, w których może występować przenikanie powietrza.

Schemat konstrukcyjny	Komentarz
<p>10552503.a2</p> 	<p>Wady ocieplenia przy okapie domu murowanego wynikające z nieprawidłowego zamocowania płyt izolacyjnych z waty szklanej.</p> <p>Powietrze wnika do pokoju spoza gzymsu.</p>

Schemat konstrukcyjny	Komentarz
<p>10552303.a2</p> 	<p>Niedobory izolacji w przepływie pośrednim wskutek niepoprawnie zainstalowanych mat izolacyjnych z włókna szklanego.</p> <p>Powietrze wnika do pokoju spoza gipsu.</p>
<p>10552603.a2</p> 	<p>Przenikanie powietrza w strefie przypodłogowej z powodu pęknięć w murowanej elewacji.</p> <p>Powietrze wnika do pokoju spod listwy przypodłogowej.</p>

16.3.7.3 Obrazy termowizyjne z komentarzem

W tym punkcie przedstawiono kilka typowych obrazów termowizyjnych elementów konstrukcyjnych budynku, w których występuje przenikanie powietrza.

Obraz termowizyjny	Komentarz
<p>10552703.a1</p> 	<p>Przenikanie powietrza spod listwy przypodłogowej. Zwróć uwagę na typowy wzór promienisty.</p>
<p>10552803.a1</p> 	<p>Przenikanie powietrza spod listwy przypodłogowej. Zwróć uwagę na typowy wzór promienisty. Biały obszar po lewej stronie to grzejnik.</p>
<p>10552903.a1</p> 	<p>Przenikanie powietrza spod listwy przypodłogowej. Zwróć uwagę na typowy wzór promienisty.</p>

16.3.8 Niedobory izolacji

16.3.8.1 *Informacje ogólne*

Wady ociepleń nie muszą prowadzić do przenikania powietrza. W przypadku nieprawidłowego zamocowania płyt izolacyjnych z waty szklanej, w konstrukcji budynku mogą powstawać przestrzenie wypełnione powietrzem. Ze względu na inną przewodność cieplną takich przestrzeni w stosunku do obszarów, gdzie płyty izolacyjne zostały prawidłowo zamocowane, można je wykryć podczas badania termowizyjnego budynku.

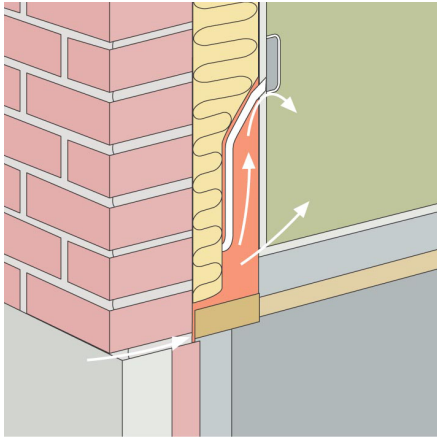
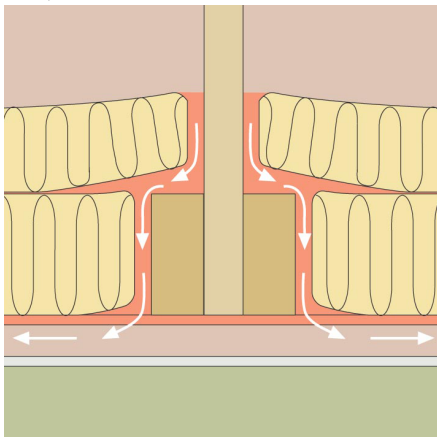
Obszary z wadami ociepleń mają zwykle wyższą temperatury niż miejsca przenikania powietrza.

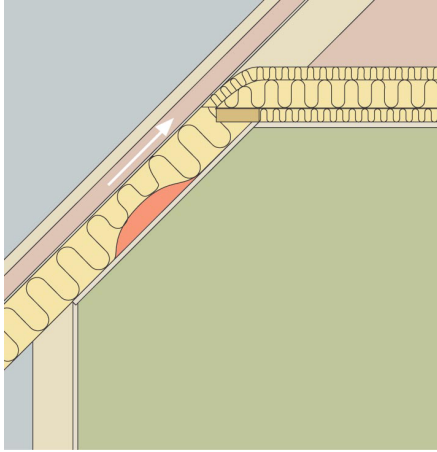
Podczas przeprowadzania badań termowizyjnych mających na celu wykrycie wad ociepleń, należy zwracać uwagę na następujące elementy konstrukcyjne budynku, które na obrazie termowizyjnym mogą przypominać wady ociepleń.

- Drewniane belki stropowe, słupki, krokwie, dźwigary
- Stalowe dźwigary i belki
- Rury wodociągowe w ścianach, sufitach, podłogach
- Elementy instalacji elektrycznej w ścianach, sufitach, podłogach — takie jak kanały kablowe, rurki kablowe itp.
- Słupy betonowe w ścianach z okładziną drewnianą
- Przewody wentylacyjne i powietrzne

16.3.8.2 Elementy konstrukcyjne budynków z komentarzem

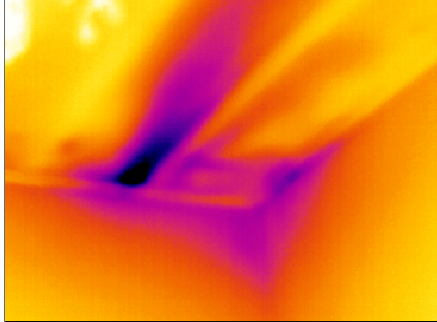
W tym punkcie przedstawiono kilka typowych przykładów elementów konstrukcyjnych budynków z wadami ociepleń:

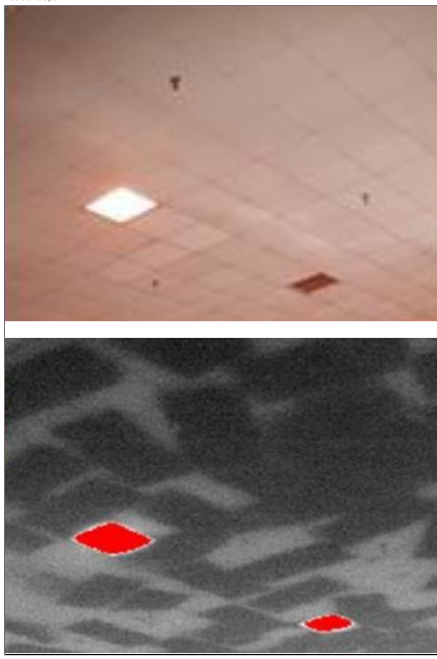
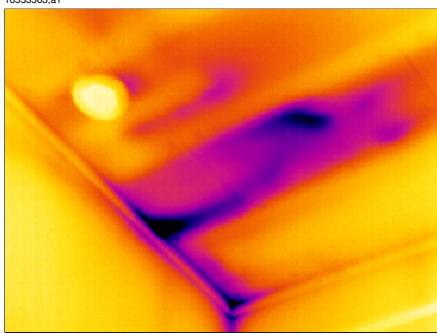
Schemat konstrukcyjny	Komentarz
<p>10553203.a2</p> 	<p>Wady ociepleń (i przenikanie powietrza) spowodowane nieprawidłowym zamocowaniem płyt izolacyjnych wokół przewodów sieci elektrycznej.</p> <p>Wady tego rodzaju są widoczne na obrazie termowizyjnym w postaci ciemnych obszarów.</p>
<p>10553103.a2</p> 	<p>Wady ociepleń spowodowane nieprawidłowym zamocowaniem płyt izolacyjnych wokół belki podłogowej poddasza. Chłodne powietrze przenika przez strukturę i chłodzi wnętrze stropu.</p> <p>Wady tego rodzaju są widoczne na obrazie termowizyjnym w postaci ciemnych obszarów.</p>

Schemat konstrukcyjny	Komentarz
<p>10553003.a2</p> 	<p>Wady ociepleń spowodowane nieprawidłowym zamocowaniem płyt izolacyjnych, powodującym powstawanie przestrzeni wypełnionej powietrzem na zewnętrznej stronie pochylego stropu.</p> <p>Wady tego rodzaju są widoczne na obrazie termowizyjnym w postaci ciemnych obszarów.</p>

16.3.8.3 Obrazy termowizyjne z komentarzem

W tym punkcie przedstawiono kilka typowych obrazów termowizyjnych wad ociepleń.

Obraz termowizyjny	Komentarz
<p>10553303.a1</p> 	<p>Wady ociepleń w pośrodku struktury podłogi. Wada może wynikać z braku płyt izolacyjnych lub ich nieprawidłowego zamocowania (przestrzenie wypełnione powietrzem).</p>

Obraz termowizyjny	Komentarz
<p>10553403.a1</p> 	<p>Nieprawidłowo zamocowane płyty z waty szklanej w suficie podwieszonym.</p>
<p>10553903.a1</p> 	<p>Wady ociepleń w pośredniej strukturze podłogi. Wada może wynikać z braku płyt izolacyjnych lub ich nieprawidłowego zamocowania (przestrzenie wypełnione powietrzem).</p>

16.4 Podstawy teorii budownictwa

16.4.1 Informacje ogólne

W ostatnich latach znacznie wzrosło zapotrzebowanie na konstrukcje energooszczędne. Rozwój sytuacji energetycznej na świecie oraz zapotrzebowanie na komfortowe warunki mieszkaniowe spowodowały konieczność przykładania większej wagi zarówno do skuteczności i szczelności ociepleń budynków, jak i sprawności systemów ogrzewania i wentylacji.

Wady ocieplenia i szczelności w miejscach najbardziej wrażliwych mogą powodować znaczne straty energii. Nie tylko stwarzają one ryzyko wzrostu kosztów ogrzewania i utrzymania, lecz także warunki do pogorszenia komfortu klimatycznego wewnątrz budynku.

Stopień ocieplenia budynku jest często wyrażany w postaci oporu cieplnego lub współczynnika oporu cieplnego (wartość U) różnych części budynku. Jednak wyznaczone wartości oporu cieplnego rzadko stanowią miarę faktycznych strat energii w budynku. Przenikanie powietrza przez nieszczelne i niewystarczająco wypełnione materiałem izolacyjnym spoiny i połączenia często powoduje znaczne odchyłki od wartości projektowych i przewidywanych.

Weryfikacja, czy poszczególne materiały i elementy budynku posiadają właściwości deklarowane przez producenta, odbywa się na drodze badań laboratoryjnych. Gotowe budynki wymagają sprawdzenia i zbadania w celu potwierdzenia, że zamierzone parametry ocieplenia i szczelności zostały osiągnięte.

Termowizja służy w budownictwie do badania różnic temperatury na powierzchniach budynku. Różnice w oporze cieplnym konstrukcji mogą w pewnych warunkach powodować różnice temperatury na jej powierzchniach. Przenikanie chłodnego (lub ciepłego) powietrza przez elementy konstrukcji również ma wpływ na różnice temperatury powierzchniowej. Oznacza to, że wady ociepleń, mosty cieplne i nieszczelności w osłonowych elementach konstrukcyjnych budynku mogą być lokalizowane i badane.

Sama termowizja nie pokazuje bezpośrednio oporu cieplnego czy szczelności konstrukcji. Jeśli niezbędne jest określenie oporu cieplnego lub szczelności, należy wykonać dodatkowe pomiary. Analiza termowizyjna budynków wymaga istnienia w budynku określonych warunków w zakresie temperatury i ciśnienia.

Przy zmianie dowolnego z tych parametrów szczegóły, kształty i kontrast na obrazie termowizyjnym mogą się zmieniać dość wyraźnie. Dlatego dokładna analiza i interpretacja obrazów termowizyjnych wymaga dokładnej znajomości takich zagadnień, jak właściwości materiałów i konstrukcji, wpływ warunków klimatycznych oraz najnowsze techniki pomiarowe. Do oceny wyników pomiarów niezbędne jest spełnienie

określonych wymagań odnośnie kwalifikacji i doświadczenia osób wykonujących takie pomiary, np. poprzez uzyskanie uprawnień wydawanych przez krajowy lub regionalny organ normalizacyjny.

16.4.2 Efekty badań i kontroli

Trudno jest przewidzieć, jaka będzie skuteczność i szczelność ocieplenia gotowego budynku. Przy montażu różnych elementów konstrukcyjnych występują pewne czynniki, które mogą mieć istotny wpływ na efekt końcowy. Nie można z góry przewidzieć skutków transportu, przenoszenia i przechowywania materiałów w miejscu budowy ani sposobu wykonania pracy. W celu potwierdzenia, czy zamierzona sprawność została osiągnięta, niezbędna jest weryfikacja poprzez badanie i kontrolę gotowego budynku.

Nowoczesna technologia ociepleń zmniejszyła teoretyczne zapotrzebowanie na ciepło. Oznacza to jednak, że wady stosunkowo niewielkie, lecz występujące w ważnych miejscach, np. nieszczelne połączenia lub nieprawidłowo zamocowana izolacja termiczna, mogą mieć poważne konsekwencje, zarówno w kategoriach ciepła, jak i komfortu. Badania kontrolne, np. z wykorzystaniem termowizji, sprawdziły się zarówno z punktu widzenia projektanta i wykonawcy, jak i dewelopera, zarządcy nieruchomości i użytkownika.

- Dla projektanta istotne jest poznanie funkcji różnych rodzajów konstrukcji, aby przy projektowaniu mógł wziąć pod uwagę zarówno metody pracy, jak i wymagania funkcjonalne. Projektant musi także wiedzieć, jak różne materiały i ich połączenia sprawdzają się w praktyce. Do osiągnięcia wymaganego postępu w tej dziedzinie można wykorzystać efektywne badania i kontrole, jak również opinie praktyków.
- Wykonawcy zależy na zwiększeniu zakresu badań i kontroli w celu zapewnienia, że konstrukcje dobrze pełnią swoją funkcję, zgodnie z wymogami określonymi w przepisach wydanych przez stosowne organy oraz zawartymi w dokumentach kontraktowych. Wykonawca chce wiedzieć na wczesnym etapie budowy o wszelkich zmianach, które mogą być niezbędne celem uniknięcia powtarzalnych błędów. W trakcie budowy należy więc przeprowadzić kontrolę pierwszych ukończonych mieszkań w dużym projekcie budowlanym. Podobne kontrole są następnie przeprowadzane w miarę postępu prac. W ten sposób można uniknąć powtarzalnych błędów i zbędnych kosztów, jak również przyszłych problemów. Taka kontrola przynosi korzyści zarówno producentom, jak i użytkownikom.
- Dla dewelopera i zarządcy nieruchomości istotne jest, aby budynki były sprawdzane pod kątem energooszczędności, łatwości utrzymania (uszkodzenia spowodowane wilgocią lub jej przenikaniem) oraz komfortu mieszkańców (np. powierzchnie chłodniejsze i ruch powietrza w strefach mieszkalnych).

- Dla użytkownika istotne jest, aby gotowy produkt spełniał wymagania odnośnie ocieplenia i szczelności budynku. Zakup domu jest poważną inwestycją finansową i nabywca chce wiedzieć, czy ewentualne wady konstrukcyjne nie będą pociągać za sobą poważnych konsekwencji finansowych lub problemów z utrzymaniem higieny.

Efekty badania i kontroli ocieplenia i szczelności budynku są po części fizjologiczne, a po części finansowe.

Fizjologiczne odczucie komfortu cieplnego w budynku jest bardzo subiektywne, zależne od bilansu cieplnego ciała ludzkiego oraz indywidualnego sposobu odczuwania temperatury. Odczucie komfortu cieplnego zależy od temperatury powietrza w budynku, jak również na zewnątrz. Pewne znaczenie ma również prędkość ruchu powietrza wewnętrznego i zawartość wilgoci w nim. Pod względem fizjologicznym przeciąg daje wrażenie miejscowego chłodzenia powierzchni ciała spowodowanego

- nadmiernym ruchem powietrza w strefie mieszkalnej przy normalnej temperaturze powietrza;
- normalnym ruchem powietrza w strefie mieszkalnej przy zbyt niskiej temperaturze w pomieszczeniu;
- znaczną wymianą promieniowanego ciepła z chłodną powierzchnią.

Trudno jest ocenić finansowe efekty badania i kontroli ocieplenia budynków.

Badania wykazały, że wykryte wady ocieplenia i szczelności budynków mogą powodować straty ciepła o ok. 20–30% większe niż przewidywane. Wykazało to również monitorowanie zużycia energii przed i po zastosowaniu środków zaradczych w stosunkowo dużych kompleksach domów jednorodzinnych oraz w blokach wielorodzinnych. Podane liczby prawdopodobnie nie są reprezentatywne dla wszystkich budynków, gdyż danych uzyskanych z badań nie można uznać za istotne dla całej grupy budynków. Jednak według ostrożnych szacunków, efektywne badanie i kontrola ociepleń i szczelności budynków może przynieść ograniczenie zużycia energii na poziomie ok. 10%.

Badania wykazały również, że zwiększone zużycie energii związane z wadami jest często powodowane przez mieszkańców, którzy zwiększają temperaturę o jeden lub kilka stopni powyżej normalnej w celu skompensowania irytującego zjawiska promieniowania cieplnego w kierunku powierzchni chłodniejszych lub odczucia ruchu powietrza w pokoju.

16.4.3 Źródła zakłóceń w termowizji

Podczas badania termowizyjnego ryzyko pomylenia różnic temperatur spowodowanych wadami ocieplenia z różnicami spowodowanymi naturalną zmiennością wartości U wzdłuż ciepłych powierzchni konstrukcji jest w normalnych warunkach uważane za niewielkie.

Zmiany temperatury spowodowane zmiennością wartości U są zwykle stopniowe i symetrycznie rozłożone na powierzchni. Różnice tego typu mogą oczywiście występować przy kątach formowanych przez dachy i podłogi oraz w narożnikach ścian.

Zmiany temperatury związane z nieszczelnościami lub wadami ociepleń są w większości przypadków bardziej oczywiste i mają ostre zarysy o charakterystycznym kształcie. Rozkład temperatur jest zwykle asymetryczny.

Podczas przeprowadzania badania termowizyjnego i interpretacji obrazów termowizyjnych ich porównanie może dać cenne informacje przydatne przy ocenie.

Źródła zakłóceń w badaniach termowizyjnych, które najczęściej występują w praktyce, to:

- oddziaływanie promieni słonecznych na badaną powierzchnię (wpadających przez okno);
- gorące grzejniki z rurami;
- lampy skierowane na badaną powierzchnię lub umieszczone w jej pobliżu;
- nawiew powietrza (np. z wlotów powietrza) skierowany na badaną powierzchnię;
- wpływ wilgoci osiadłej na powierzchni.

Powierzchnie, na które pada światło słoneczne, nie powinny być objęte badaniem termowizyjnym. Jeśli istnieje ryzyko oddziaływania światła słonecznego, należy zasłonić okna (zasunąć żaluzje). Jednak należy pamiętać, że istnieją usterki lub problemy (zwykle spowodowane przez wilgoć), które ujawniają się dopiero po ogrzaniu powierzchni, np. przez słońce.

Więcej informacji na temat wykrywania wilgoci można znaleźć w punkcie 16.3.2 – Informacje o wykrywaniu wilgoci na stronie 56 — Informacje o wykrywaniu wilgoci.

Gorący grzejnik jest widoczny na obrazie termowizyjnym jako jasna powierzchnia. Temperatura powierzchniowa ściany znajdującej się przy grzejniku jest podniesiona, co może ukrywać ewentualne wady.

Najlepszym sposobem uniknięcia zakłócającego wpływu gorących grzejników jest ich wyłączenie na krótko przed przeprowadzeniem pomiaru. Jednakże, w zależności od konstrukcji budynku (mała lub duża pojemność cieplna), może zająć konieczność wyłączenia grzejników na kilka godzin przed badaniem termowizyjnym. Temperatura powietrza w pomieszczeniu nie może spaść na tyle, by zakłócać rozkład temperatury na powierzchniach konstrukcji. Grzejniki elektryczne stygną dość szybko po wyłączeniu (20–30 minut).

W czasie rejestrowania obrazu termowizyjnego lampy umieszczone na ścianach powinny być wyłączone.

W czasie badania termowizyjnego nie powinny występować zakłócające przepływy powietrza (np. otwarte okna, wentylatory skierowane na badaną powierzchnię), które mogą wpływać na badane powierzchnie.

Wilgoć znajdująca się na powierzchni, np. w wyniku skraplania powierzchniowego, ma istotny wpływ na przenoszenie ciepła i temperaturę powierzchni. Obecność wilgoci pociąga za sobą parowanie, w wyniku którego ciepło jest pobierane z otoczenia, obniżając temperaturę powierzchni o kilka stopni. Ryzyko skraplania się pary wodnej na powierzchni występuje przy większych mostach cieplnych i wadach ocieplenia.

Istotne zakłócenia tego rodzaju można zwykle wykryć i wyeliminować przed dokonaniem pomiaru.

Jeśli podczas badania termowizyjnego nie można zabezpieczyć badanej powierzchni przed wpływem czynników zakłócających, należy je uwzględnić przy interpretacji i ocenie wyników. Warunki przeprowadzania badania termowizyjnego należy szczegółowo odnotować przy wykonywaniu każdego pomiaru.

16.4.4 Temperatura powierzchniowa a nieszczelność

Wszelkie nieszczelności spowodowane niewielkimi szczelinami w konstrukcji budynku można wykryć przez pomiar temperatury powierzchni. Jeśli w badanym budynku występuje podciśnienie, powietrze wpływa do wewnątrz przez takie nieszczelności. Zimne powietrze wpływające przez niewielkie szczeliny w ścianie zwykle obniża temperaturę jej przyległych obszarów. W efekcie na wewnętrznej powierzchni ściany powstaje obszar chłodniejszy o charakterystycznym kształcie. Termografia umożliwia wykrycie takich chłodniejszych obszarów. Ruch powietrza przy powierzchni ściany można zmierzyć za pomocą miernika prędkości wiatru. Jeśli w badanym budynku panuje nadciśnienie, ciepłe powietrze ucieka z pomieszczenia przez szczeliny w ścianie, powodując miejscowe ocieplenie powierzchni wokół takich szczelin.

Intensywność wypływu lub napływu powietrza zależy częściowo od wielkości szczelin, a częściowo od różnicy ciśnień po obu stronach konstrukcji.

16.4.4.1 Ciśnienie powietrza w budynku

Najważniejsze przyczyny występowania różnicy ciśnień po obu stronach elementu konstrukcyjnego budynku to:

- wiatr wiejący wokół budynku;
- działanie systemu wentylacji;
- różnica temperatur powietrza wewnątrz i na zewnątrz budynku (termiczna różnica ciśnień).

Rzeczywiste ciśnienie panujące w budynku jest zwykle wypadkową tych czynników.

Otrzymany w efekcie gradient ciśnienia dla różnych elementów konstrukcyjnych przedstawiono na rysunku na stronie 83. Nieregularne oddziaływanie wiatru na budynki powoduje, że w praktyce panujące ciśnienie może być dość zmienne i trudne do ustalenia.

Przy stałym wietrze można zastosować prawo Bernoulliego:

$$\frac{\rho v^2}{2} + p = \text{constant}$$

gdzie:

ρ	Gęstość powietrza w kg/m^3
v	Prędkość wiatru w m/s
p	Ciśnienie statyczne w Pa

i gdzie:

$$\frac{\rho v^2}{2}$$

określa ciśnienie dynamiczne, a p ciśnienie statyczne. Suma tych ciśnień daje ciśnienie całkowite.

Obciążenie powierzchni wiatrem sprawia, że ciśnienie dynamiczne staje się ciśnieniem statycznym oddziałującym na tę powierzchnię. Wielkość ciśnienia statycznego zależna jest m.in. od kształtu powierzchni i jej nachylenia w stosunku do kierunku wiatru.

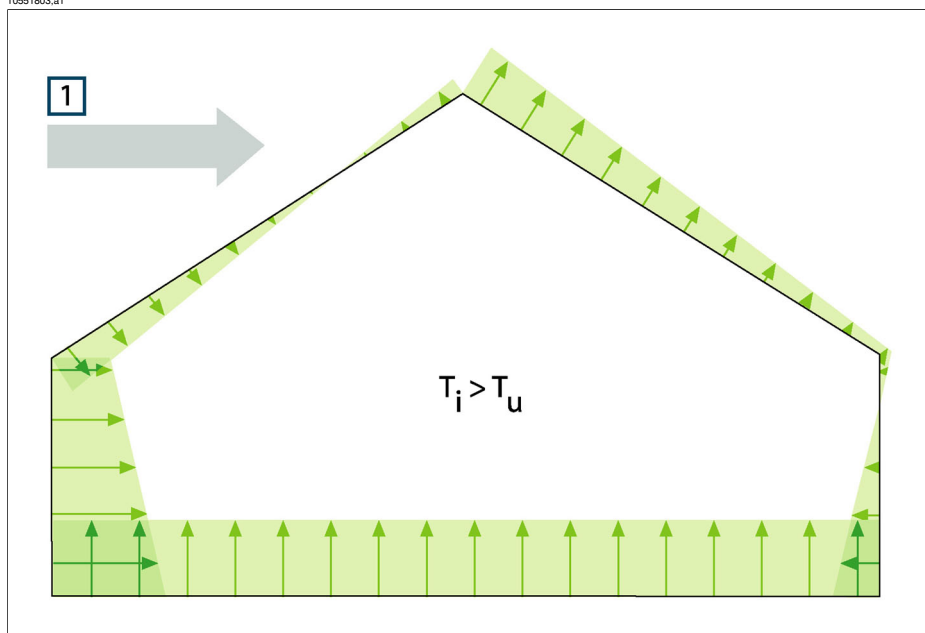
Część ciśnienia dynamicznego, która staje się ciśnieniem statycznym oddziałującym na powierzchnię (p_{stat}) jest uzależniona od wartości współczynnika spiętrzenia naprężenia:

$$C = \frac{p_{\text{stat}}}{\frac{\rho v^2}{2}}$$

Jeśli ρ wynosi $1,23 \text{ kg/m}^3$ (gęstość powietrza w temperaturze $+15^\circ\text{C}$), otrzymujemy następujące ciśnienia miejscowe spowodowane wiatrem:

$$p_{\text{stat}} = C \times \frac{\rho v^2}{2} = C \times \frac{v^2}{1.63} \text{ Pa}$$

10551803,a1

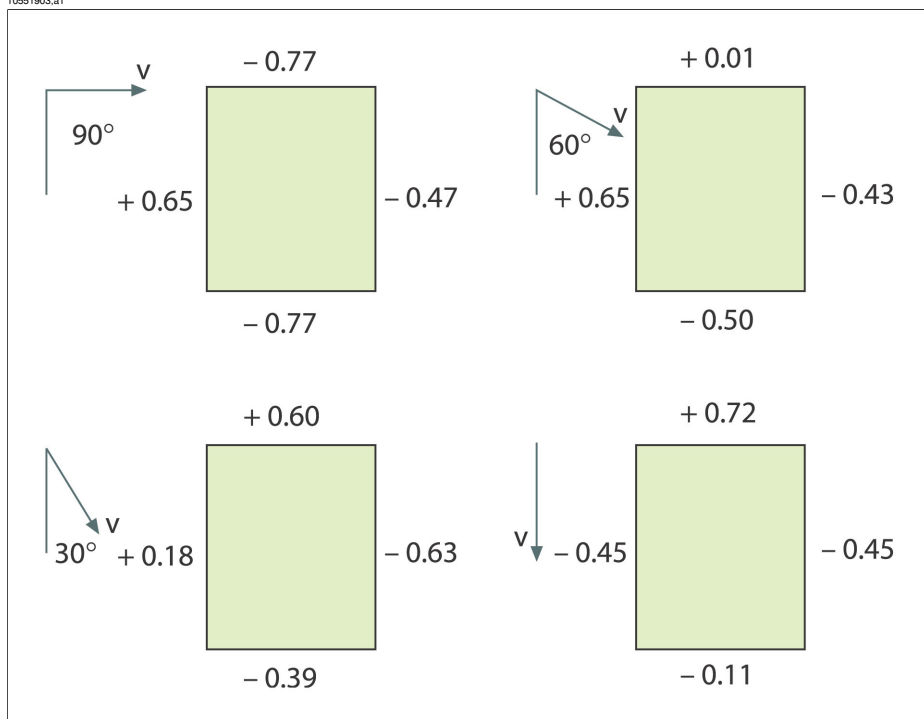


Rysunek 16.3 Rozkład ciśnień wynikowych na powierzchni osłaniające budynku w zależności od oddziaływania wiatru, skuteczności wentylacji i różnicy temperatur wewnątrz/na zewnątrz. 1: Kierunek wiatru; T_u : Termodynamiczna temperatura powietrza na zewnątrz w K; T_i : Termodynamiczna temperatura powietrza wewnątrz w K.

Jeśli całe ciśnienie dynamiczne stanie się ciśnieniem statycznym, wówczas $C = 1$. Przykładowe rozkłady współczynnika spiętrzenia naprężeń dla budynku przy różnych kierunkach wiatru pokazano na rysunku na stronie 84.

Wiatr powoduje więc powstanie wewnętrznego podciśnienia po stronie nawietrznej i wewnętrznego nadciśnienia po stronie zawietrznej. Ciśnienie powietrza wewnątrz budynku zależy od siły i kierunku wiatru, występowania nieszczelności i ich rozkładu względem kierunku wiatru. Jeśli nieszczelności są rozłożone równomiernie, ciśnienie wewnętrzne może różnić się o $\pm 0.2 p_{\text{stat}}$. Jeśli większość nieszczelności znajduje się po stronie nawietrznej, ciśnienie wewnętrzne nieco wzrasta. W przeciwnym przypadku, gdy większość nieszczelności znajduje się po stronie zawietrznej, ciśnienie wewnętrzne spada.

10551903.a1



Rysunek 16.4 Rozkłady współczynnika spiętrzenia naprężeń (C) względem budynku dla różnych kierunków i prędkości wiatru (v)

Wiatr może znacznie zmieniać się z upływem czasu oraz różnić się między stosunkowo blisko położonymi miejscami. W termografii takie zmiany mogą mieć istotny wpływ na wyniki pomiarów.

Eksperymentalnie wykazano, że różnica ciśnień na elewacji poddanej działaniu wiatru o średniej sile ok 5 m/s wynosi ok. 10 Pa.

Wentylacja mechaniczna powoduje powstawanie stałego podciśnienia lub nadciśnienia (w zależności od kierunku nawiewu). Badania wykazały, że podciśnienie spowodowane mechanicznym odprowadzaniem powietrza (kuchenne wyciągi) w niewielkich domach wynosi zwykle od 5 do 10 Pa. W przypadku systemu wentylacji z mechanicznym odprowadzaniem, np. w blokach wielorodzinnych, podciśnienie jest nieco większe i wynosi 10–50 Pa. W przypadku tzw. wentylacji zrównoważonej (mechanicznie sterowane doprowadzanie i odprowadzanie powietrza) zwykle ustawia się niewielkie podciśnienie wewnątrz budynku (3–5 Pa).

Różnica ciśnień spowodowana przez różnicę temperatur, tzw. efekt kominowy (różna gęstość powietrza w różnych temperaturach) oznacza, że w dolnej części budynku panuje podciśnienie, a w górnej — nadciśnienie. Na pewnej wysokości występuje strefa neutralna, w której ciśnienie wewnątrz i na zewnątrz budynku jest takie same, patrz rysunek na stronie 86. Taką różnicę ciśnień można opisać zależnością:

$$\Delta p = g \times \rho_u \times h \left(1 - \frac{T_u}{T_i} \right) \text{ Pa}$$

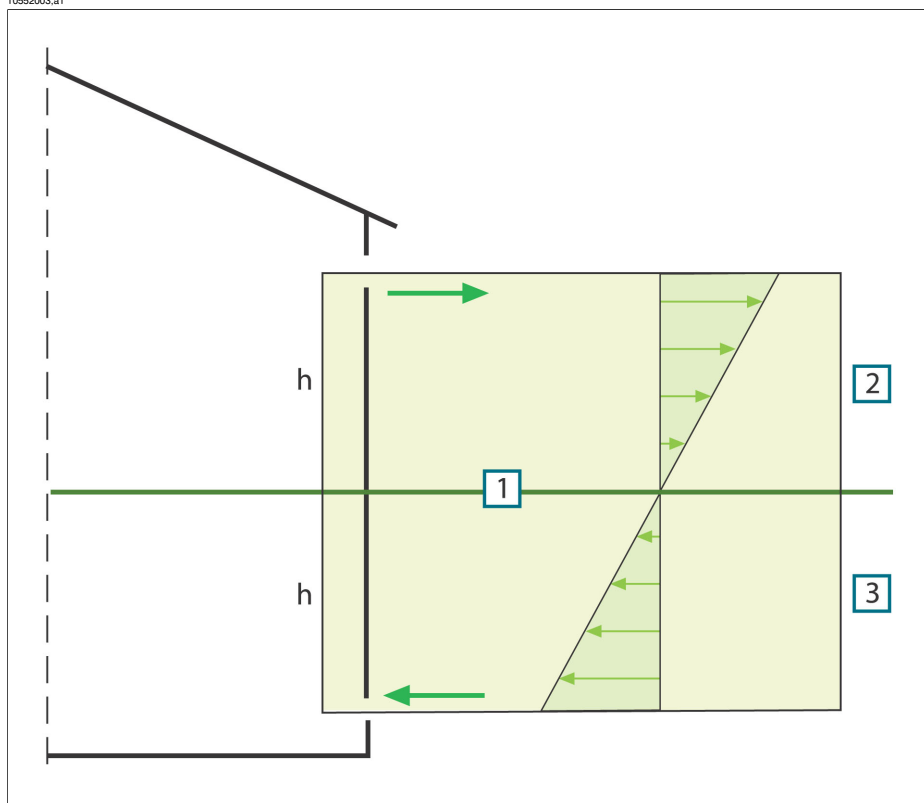
Δp	Różnica ciśnień w budynku w Pa
g	9,81 m/s ²
ρ_u	Gęstość powietrza w kg/m ³
T_u	Termodynamiczna temperatura powietrza na zewnątrz w K
T_i	Termodynamiczna temperatura powietrza wewnątrz w K
h	Odstęłość od strefy neutralnej w metrach

Jeśli $\rho_u = 1,29 \text{ kg/m}^3$ (gęstość powietrza w temperaturze 273 K i przy ciśnieniu $\approx 100 \text{ kPa}$), otrzymujemy:

$$\Delta p \approx 13 \times h \left(1 - \frac{T_u}{T_i} \right)$$

Przy różnicy pomiędzy temperaturą otoczenia wewnątrz i na zewnątrz budynku wynoszącej $+25^\circ\text{C}$ otrzymujemy różnicę ciśnień w obrębie budynku wynoszącą ok. 1 Pa/m różnicy wysokości.

10552003,a1



Rysunek 16.5 Rozkład ciśnień w budynku z dwoma otworami, gdy temperatura na zewnątrz jest niższa od temperatury wewnątrz. 1: Strefa neutralna; 2: Nadciśnienie; 3: Podciśnienie; h : Odległość od strefy neutralnej w metrach.

Położenie strefy neutralnej może się różnić przy występowaniu nieszczelności w budynku. Jeśli nieszczelności są równomiernie rozłożone pionowo, strefa znajduje się mniej więcej w połowie wysokości budynku. Jeśli w dolnej części budynku występuje więcej nieszczelności niż w górnej, strefa neutralna przesuwa się w dół. Jeśli w górnej części budynku występuje więcej nieszczelności niż w dolnej, strefa neutralna przesuwa się w górę. W przypadku komina z wylotem znajdującym się powyżej dachu położenie strefy neutralnej znacznie się różni i w całym budynku może występować podciśnienie. Sytuacja taka najczęściej ma miejsce w przypadku małych budynków.

W większych budynkach, takich jak wysokie budynki przemysłowe, w których nieszczelności występują przy drzwiach i oknach w dolnej części budynku, strefa neutralna leży mniej więcej w połowie wysokości budynku.

16.4.5 Warunki pomiarowe i sezon przeprowadzania pomiarów

Powyżej przedstawione informacje narzucają następujące wymagania odnośnie warunków pomiarowych przy przeprowadzaniu badań termowizyjnych budynków:

Badanie termowizyjne powinno być przeprowadzane w taki sposób, aby ograniczyć do minimum zakłócający wpływ zewnętrznych czynników klimatycznych. Z tego względu jest ono przeprowadzane wewnątrz budynku, tzn. w przypadku budynku ogrzewanego badane są ciepłe powierzchnie konstrukcji.

Termowizja zewnętrzna służy jedynie do uzyskania pomiarów odniesienia dla większych powierzchni elewacji. W pewnych przypadkach, np. gdy izolacja termiczna jest bardzo słaba lub gdy występuje wewnętrzne nadciśnienie, pomiary zewnętrzne mogą być przydatne. Nawet przy badaniu wpływu instalacji znajdujących się w strefie klimatycznej budynku, przeprowadzenie badania termowizyjnego z zewnątrz budynku może być uzasadnione.

Zalecane są następujące warunki pomiaru:

- Różnica pomiędzy temperaturą powietrza w badanych częściach budynku a temperaturą panującą na zewnątrz musi przez wiele godzin utrzymywać się na poziomie co najmniej $+10^{\circ}\text{C}$ przed rozpoczęciem badania termograficznego i w czasie trwania całej procedury. Przez ten czas różnica temperatury otoczenia nie może ponadto zmieniać się o więcej niż $\pm 30\%$ w stosunku do różnicy występującej w momencie rozpoczęcia badania. W czasie badania termograficznego wewnętrzna temperatura otoczenia nie powinna zmieniać się o więcej niż $\pm 2^{\circ}\text{C}$.
- Przez wiele godzin przed rozpoczęciem badania termograficznego i przez cały czas jego trwania na badaną część budynku nie może padać światło słoneczne.
- Podciśnienie w obrębie budynku $\approx 10\text{--}50\text{ Pa}$.
- W przypadku badań termowizyjnych mających na celu jedynie wykrycie nieszczelności w częściach osłaniających budynek, wymagania odnośnie warunków pomiarowych mogą być niższe. Różnica pomiędzy temperaturą otoczenia wewnątrz i na zewnątrz budynku wynosząca 5°C powinna być wystarczająca do wykrycia takich wad. Muszą być wówczas jednak spełnione określone wymagania odnośnie różnicy ciśnień; wystarczająca powinna być różnica wynosząca ok. 10 Pa .

16.4.6 Interpretacja obrazów termowizyjnych

Głównym celem badań termograficznych jest odnalezienie wad i uszkodzeń w izolacji termicznej ścian zewnętrznych i stropów oraz ustalenie ich charakteru i rozległości. Może nim być także sprawdzenie, czy badana ściana posiada deklarowane przez producenta właściwości termoizolacyjne i odpowiednią szczelność. Na podstawie 'deklarowanych przez producenta właściwości termoizolacyjnych' ściany zgodnych z projektem można przewidzieć rozkład temperatur na badanej powierzchni, jeśli warunki występujące w momencie wykonywania pomiarów są znane.

W praktyce metoda wiąże się z następującymi kwestiami:

Za pomocą badań przeprowadzanych w laboratorium lub w terenie otrzymuje się przewidywany rozkład temperatur w postaci typowych lub porównawczych obrazów termowizyjnych powszechnie stosowanych konstrukcji ścian, zarówno bez defektów, jak i z defektami.

Przykłady typowych obrazów termowizyjnych pokazano w podrozdziale 16.3 – Typowe badania w terenie na stronie 54.

Jeśli obrazy termowizyjne elementów konstrukcyjnych zarejestrowane podczas pomiarów w terenie mają służyć jako porównawcze obrazy termowizyjne, wówczas szczegółowo muszą być znane i udokumentowane: materiał, budowa konstrukcji i warunki pomiarowe panujące w momencie rejestracji obrazów.

Aby móc skomentować przyczyny odchyień od oczekiwanych wyników, trzeba znać fizyczne, metrologiczne i budowlane warunki wstępane.

Sposób interpretacji obrazów termowizyjnych zarejestrowanych podczas pomiarów w terenie można w skrócie opisać następująco:

W zależności od konstrukcji badanej ściany i warunków przeprowadzania pomiarów w terenie wybrany zostaje porównawczy obraz termowizyjny konstrukcji pozbawionej wad. Obraz termowizyjny badanego elementu budynku zostaje wówczas porównany z wybranym obrazem porównawczym. Wszelkie odchyłki, których nie można wyjaśnić konstrukcją elementu lub warunkami pomiarowymi, zostają odnotowane jako potencjalna wada ocieplenia. Charakter i rozległość wady zostają zwykle określone z wykorzystaniem porównawczych obrazów termowizyjnych różnych wad.

Przy braku stosownego obrazu termowizyjnego oceny dokonuje się na podstawie doświadczenia. Wymaga to trafniejszego wyciągania wniosków podczas analizy.

Przy ocenie obrazu termowizyjnego należy zwracać uwagę na następujące elementy:

- Jednolita jasność obrazów termowizyjnych powierzchni bez mostów cieplnych
- Regularność i występowanie chłodniejszych obszarów powierzchni, np. przy słupach i narożnikach
- Wyraźne zarysy i charakterystyczne kształty w chłodniejszym obszarze powierzchni
- Stwierdzone różnice temperatur pomiędzy normalną temperaturą powierzchni konstrukcji a wybranym obszarem chłodniejszym takiej powierzchni
- Ciągłość i jednolitość krzywej izotermy na powierzchni konstrukcji. W programie do obsługi kamery funkcja izotermy jest zwana **izotermą** lub **alarmem barwnym**, w zależności od modelu kamery.

Odchylenia i nieprawidłowości w wyglądzie obrazu termowizyjnego często wskazują na wady ocieplenia. Oczywiście mogą występować znaczne różnice w wyglądzie obrazów termowizyjnych konstrukcji z wadami ociepleń. Niektóre rodzaje wad ociepleń mają na obrazie termowizyjnym charakterystyczne kształty.

W podrozdziale 16.3 – Typowe badania w terenie na stronie 54 pokazano przykłady interpretacji obrazów termowizyjnych.

Przy rejestracji obrazów termowizyjnych jednego budynku obrazy innych obszarów powinny być rejestrowane przy tych samych ustawieniach kamery termowizyjnej, gdyż ułatwia to porównywanie różnych obszarów powierzchni.

16.4.7 Wilgotność i punkt rosy

16.4.7.1 Wilgotność względna i bezwzględna

Wilgotność może być wyrażona na dwa różne sposoby — jako *wilgotność względna* lub jako *wilgotność bezwzględna*. Wilgotność względna jest wyrażona w postaci procenta ilości wody, którą określona objętość powietrza może utrzymać w określonej temperaturze, natomiast wilgotność bezwzględna jest procentowym stosunkiem masy wody do masy materiału. Ten drugi sposób wyrażenia wilgotności jest powszechnie stosowany przy pomiarze wilgotności drewna i innych materiałów budowlanych.

Im wyższa temperatura powietrza, tym większą ilość wody może zawierać dana objętość powietrza.

16.4.7.2 Definicja punktu rosy

Punkt rosy jest to temperatura, w której wilgoć w określonej objętości powietrza ulegnie skropleniu.

16.4.8 Wyciąg z przypisu technicznego ‘Ocena obecności mostków cieplnych i ciągłości izolacji’ (przykład z Wielkiej Brytanii)

16.4.8.1 Podziękowania

Poniższy przypis techniczny został opracowany przez grupę roboczą składającą się m.in. z fachowców w dziedzinie termografii oraz konsultantów naukowych. Dodatkowo konsultacje z innymi osobami i organizacjami sprawiają, że ten dokument może być przydatny w firmach dowolnego rodzaju.

Zawartość niniejszego przypisu technicznego została zamieszczona dzięki uprzejmości stowarzyszenia UKTA (United Kingdom Thermography Association), które zachowuje do niego wszystkie prawa autorskie.

UK Thermography Association
c/o British Institute of Nondestructive Testing
1 Spencer Parade
Northampton NN1 5AA

Wielka Brytania

Tel: +44 (0)1604 630124

Faks: +44 (0)1604 231489

16.4.8.2 Wprowadzenie

Od kilku lat jesteśmy świadkami błyskawicznego rozwoju sprzętu, zastosowań, oprogramowania i znajomości termografii. Wraz ze stopniową integracją tej technologii z powszechnie stosowanymi praktykami wzrosło zapotrzebowanie na standardy, poradniki do zastosowań oraz szkolenia związane z termografią.

Ten przepis techniczny jest publikowany przez stowarzyszenie UKTA w celu ustalenia jednolitego podejścia do oceny badania 'ciągłości izolacji termicznej'. Osoby tworzące specyfikacje powinny skorzystać z tego dokumentu jako poradnika zawierającego wymagania stosownych przepisów budowlanych, aby umożliwić wydanie raportu pozytywnego lub negatywnego przez wykwalifikowaną osobę wykonującą badanie termowizyjne.

16.4.8.3 Informacje podstawowe

Termografia jest w stanie wykrywać różnice w temperaturze powierzchni sięgające nawet 0,1 K oraz generować obrazy wizualnie ilustrujące rozkład temperatury na powierzchni budynku.

Różnice właściwości termicznych struktur budynku, jak np. źle zamontowana izolacja lub ubytki w izolacji, powodują różnice temperatury powierzchni po obu stronach tych struktur. Są one zatem widoczne dla kamery termowizyjnej. Różnice temperatury mogą być jednak powodowane także przez wiele innych czynników jak lokalne źródła ciepła, odbicia i przenikanie powietrza.

Fachowa analiza jest zazwyczaj niezbędna, aby odróżnić rzeczywiste usterki od innych źródeł różnic temperatury. Osoby wykonujące badania termowizyjne są coraz częściej proszeni o uzasadnienie ich oceny struktur budynku, a brak odpowiednich wytycznych może utrudniać wyznaczenie definitywnych poziomów akceptowalnych i nieakceptowalnych różnic temperatury.

Aktualnie obowiązująca w Wielkiej Brytanii norma obrazowania termicznego struktur budynku to BS EN 13187:1999 (BS EN 13187:1999, Thermal Performance of Buildings—Qualitative detection of thermal properties in building envelopes—Infrared method. ISO 6781:1983 ze zmianami). Pozostawia ona jednak interpretację obrazu termicznego fachowcom w zakresie termografii i zawiera niewiele porad, jak należy wytyczyć granicę między różnicami akceptowalnymi a nieakceptowalnymi. Porady dotyczące anomalii termicznych można znaleźć w Poradnikach BINDT o termowizji

(Infrared Thermography Handbook; Volume 1, Principles and Practise, Norman Walker, ISBN 0903132338, Volume 2, Applications, A. N. Nowicki, ISBN 090313232X, BINDT, 2005).

16.4.8.3.1 Wymagania

Badanie termowizyjne wykazujące ciągłość izolacji, obszary mostów cieplnych i zgodności z przepisami budowlanymi powinno zawierać następujące elementy:

- Anomalie termiczne.
- Rozróżnienie między rzeczywistymi anomaliami termicznymi, w przypadku których przyczyną różnicy temperatur są wady izolacji termicznej, oraz takimi, których występowanie wynika z czynników zakłócających, jak lokalne różnice w ruchach powietrza, odbiciach i emisyjności.
- Oszacowanie wielkości obszarów z anomaliami w stosunku do wszystkich zaizolowanych obszarów.
- Stwierdzenie, czy anomalie i izolację termiczną budynku można ogólnie zaakceptować.

16.4.8.4 Ilościowe szacowanie anomalii termicznych

Badanie termowizyjne wykazuje różnice pozornych temperatur obszarów w polu widzenia. Jednak aby było przydatne, musi systematycznie wykrywać wszystkie dostrzegalne wady, oceniać je na podstawie wcześniej ustalonego zbioru kryteriów, prawidłowo pomijając te, które nie są prawdziwymi wadami, oceniać te, które są, oraz referować wyniki klientowi.

16.4.8.4.1 Dobór parametru temperatury krytycznej

Dokument BRE information Paper IP17/01 (Information Paper IP17/01, Assessing the Effects of Thermal Bridging at Junctions and Around Openings. Tim Ward, BRE, 2001) zawiera przydatne porady dotyczące minimalnych dopuszczalnych temperatur wewnętrznych i prawidłowych wartości współczynnika krytycznej temperatury powierzchni, f_{CRsi} . Poprzez współczynnik temperatury powierzchni badacze mogą, niezależnie od warunków cieplnych, pokazywać obszary, gdzie w warunkach przewidzianych konstrukcyjnie występuje ryzyko skraplania lub pleśnienia.

Rzeczywista temperatura powierzchni zależy w dużym stopniu od temperatury wewnętrznej i zewnętrznej w chwili badania, ale 'współczynnik temperatury powierzchni' (f_{Rsi}) jest całkowicie niezależny od warunków bezwzględnych. Jest to stosunek spadku temperatury na przestrzeni struktury budynku do całkowitego spadku temperatury między powietrzem wewnętrznym a zewnętrznym.

W badaniach wewnętrznych: $f_{Rsi} = (T_{si} - T_e)/(T_i - T_e)$

T_{si} = wewnętrzna temperatura powierzchni

T_i = wewnętrzna temperatura powietrza

T_e = zewnętrzna temperatura powietrza

Wartość f_{CRsi} równa 0,75 jest uważana za wartość odpowiednią w nowych budynkach, ponieważ wykorzystanie w górnych zakresach nie jest współczynnikiem uwzględnianym w testach 'ciągłości izolacji' lub 'obecności mostu cieplnego'. Jednak w przypadku budynków poddawanych renowacji lub rozbudowie, jak np. basenów, w wewnętrznych badaniach może być wymagane uwzględnienie nietypowych okoliczności.

16.4.8.4.2 *Alternatywna metoda tylko przy użyciu temperatur powierzchni*

Istnieją silne argumenty przemawiające za tym, aby opierać badania termowizyjne tylko na temperaturze powierzchni, bez pomiaru temperatury powietrza.

- Rozwarstwienie wewnątrz budynku utrudnia bardzo odniesienia do wewnętrznych temperatur powietrza. Czy ma to być średnia, minimalna czy maksymalna temperatura powietrza czy temperatura na poziomie anomalii i w jakiej odległości od ściany należy ją mierzyć?
- Korzystanie z zewnętrznej temperatury powietrza utrudnia wpływ promieniowania, np. promieniowania nocnego nieba. Temperatura powierzchni zewnętrznej struktury budynku może być niższa od temperatury powietrza ze względu na promieniowanie w niebo, które może sięgać -50°C (-58°F). Widać to gołym okiem po tym, że rosa i szron pojawiają się często na powierzchniach budynku nawet, gdy temperatura powietrza nie spadła poniżej punktu rosy.
- Należy zauważyć, że podstawą pojęcia wartości U są 'temperatury środowiskowe' po każdej stronie struktury. Jest to lekceważone przez wielu niedoświadczonych analityków.
- Dwie temperatury, które są silnie związane z przenoszeniem ciepła przez strukturę budynku (i dowolną bryłę), to temperatury powierzchni po obu stronach.
- W związku z tym badanie jest pewniejsze, gdy odnosi się do temperatur powierzchni.
- Stosowane temperatury powierzchni są średnimi temperaturami powierzchni tego samego materiału w obszarze w pobliżu anomalii wewnątrz i na zewnątrz struktury. Wraz z temperaturą anomalii można ustawić poziom progowy zależny od tych temperatur, który będzie wykorzystywał współczynnik krytycznej temperatury powierzchni.
- Argumenty te nie eliminują konieczności uwzględnienia przez analityka odbić od obiektów tła o nietypowej temperaturze, skierowanych na powierzchnię struktury budynku.
- Analityk powinien również dokonać porównania między zewnętrznymi powierzchniami skierowanymi w różne strony, aby ustalić, czy ciepło resztkowe wskutek nagrzania przez promieniowanie słoneczne nie ma wpływu na powierzchnie zewnętrzne.
- Badania zewnętrzne nie powinny być wykonywane na powierzchni, gdzie wartość $T_{si} - T_{so}$ na powierzchni jest o ponad 10% większa niż wartość $T_{si} - T_{so}$ od powierzchni jak najbliższej północy.

- Jeśli anomalia powoduje nieuszczelnność poniżej warunku 0,75 dokumentu IP17/01, krytyczne współczynniki powierzchni wynoszą 0,78 na powierzchni wewnętrznej i 0,93 na powierzchni zewnętrznej.

W poniższej tabeli są pokazane temperatury powierzchni wewnętrznej i zewnętrznej dla anomalii skutkującej nieuszczelnnością poniżej wymagań dokumentu IP17/01. Jest w niej również podany ubytek izolacji termicznej niezbędny, aby to spowodować.

Przykład dotyczy lekkiej, wielowarstwowej okładziny z wadliwą izolacją	Obszar o dobrej izolacji	Obszar o złej izolacji
Temperatura wewnętrzna w °C	0	0
Temperatura powierzchni wewnętrznej w °C	19,1	15,0
Temperatura powierzchni zewnętrznej w °C	0,3	1,5
Współczynnik powierzchni z dokumentu IP17/01	0.95	0,75
Współczynnik temperatury krytycznej powierzchni zewnętrznej po IP17/01		0,92
Grubość izolacji zapewniająca taki poziom działania, mm	80	5,1
Lokalna wartość U W/m ² K	0,35	1,92
Współczynnik powierzchni UKTA TN1		0,78
Zewnętrzny współczynnik powierzchni UKTA TN1		0,93

Uwagi do tabeli

1 Wartości rezystancji powierzchni pochodzące z ADL2 2001 wynoszą:

- Powierzchnia wewnętrzna 0,13 m²K/W
- Powierzchnia zewnętrzna 0,04 m²K/W

Pochodzą one z normy BS EN ISO 6946 (BN EN ISO 6946:1997 Building components and building elements - Thermal resistance and thermal transmittance - Calculation method).

2 Przyjmuje się, że przewodność izolacji cieplnej wynosi 0,03 W/m K.

3 Różnica temperatury między anomalią a obszarami o dobrej izolacji wynosi 1,2 stopnia na zewnątrz i 4,1 stopnia wewnątrz.

4 Współczynnik temperatury powierzchni UKTA TN1 dla badań wewnętrznych wynosi:

$$F_{si} = (T_{sia} - T_{so}) / (T_{si} - T_{so})$$

gdzie:

T_{sia} = temperatura powierzchni wewnętrznej w miejscu anomalii

T_{so} = temperatura powierzchni zewnętrznej (obszar o dobrej izolacji)

T_{si} = temperatura powierzchni wewnętrznej (obszar o dobrej izolacji)

5 Współczynnik temperatury powierzchni UKTA TN1 dla badań zewnętrznych wynosi:

$$F_{so} = (T_{soa} - T_{si}) / (T_{so} - T_{si})$$

gdzie T_{soa} = temperatura powierzchni zewnętrznej w miejscu anomalii

16.4.8.4.3 Wybieranie maksymalnego akceptowalnego obszaru nieszczelności

Dozwolony obszar nieszczelności jest kwestią kontroli jakości. Można dążyć do całkowitego wyeliminowania miejsc, gdzie będzie występować skraplanie, pleśnienie lub brak izolacji, i wszystkie takie przypadki uwzględniać w raporcie. Najczęściej przyjmuje się jednak, że wartość 0,1% odsłoniętej powierzchni budynku jest generalnie akceptowalna jako maksymalny łączny obszar nieszczelności, który jest zgodny z przepisami budowlanymi. Odpowiada to jednemu metrowi kwadratowemu na tysiąc.

16.4.8.4.4 Pomiar temperatury powierzchni

Pomiar temperatury powierzchni jest funkcją systemu termowizyjnego. Wykwalifikowana osoba wykonująca badanie termowizyjne jest w stanie rozpoznać, uwzględnić i wskazać w raporcie różnicę emisyjności i odbijalności rozpatrywanych powierzchni.

16.4.8.4.5 Pomiar obszaru nieszczelności

Pomiar obszaru nieszczelności można wykonać, licząc piksele w programie do analizy termicznej lub większości arkuszy kalkulacyjnych pod warunkiem, że:

- odległość między kamerą a obiektem została precyzyjnie zmierzona, najlepiej laserowym przyrządem pomiarowym;
- odległość docelowa powinna brać pod uwagę wartość IFOV systemu termowizyjnego;
- jeśli występuje jakakolwiek zmiana kąta między kamerą a powierzchnią obiektu od pionu, została ona uwzględniona.

Budynki zawierają wiele elementów konstrukcyjnych, które nie wpływają na badania ilościowe, jak np. okna, świetliki, oświetlenie, źródła ciepła, systemy chłodnicze, rury doprowadzające i kable elektryczne. W badaniu muszą być jednak uwzględnione złącza i połączenia między tymi obiektami a strukturą budynku.

16.4.8.5 Warunki i sprzęt

Aby osiągnąć jak najlepsze wyniki badania izolacji termicznej, należy uwzględnić warunki środowiskowe i użyć najbardziej odpowiedniej techniki termowizyjnej.

Anomalie termiczne będą widoczne dla osoby wykonującej badanie termowizyjne tylko tam, gdzie występują różnice temperatur i zostały uwzględnione czynniki środowiskowe. Spełnione muszą być przynajmniej następujące warunki:

- Różnice temperatur na przestrzeni struktury budynku większe niż 10°C (18°F).
- Różnica między temperaturą powietrza wewnętrznego a powietrza otoczenia nie spadająca poniżej 5°C (9°F) przez ostatnie 24 godziny przed badaniem.

- Zmiany temperatury powietrza zewnętrznego w granicach $\pm 3^{\circ}\text{C}$ ($\pm 5.4^{\circ}\text{F}$) przez czas trwania badania i godzinę przed nim.
- Zmiany temperatury powietrza zewnętrznego w granicach $\pm 10^{\circ}\text{C}$ ($\pm 18^{\circ}\text{F}$) przez 24 godziny poprzedzające badanie.

Ponadto badania zewnętrzne powinny spełniać następujące warunki:

- Niezbędne powierzchnie wolne od bezpośredniego nasłonecznienia i efektów szczałkowych uprzedniego nasłonecznienia. Można to sprawdzić, porównując temperatury powierzchni po przeciwległych stronach budynku.
- Brak opadów na krótko przed badaniem i w jego trakcie.
- Wszystkie kontrolowane powierzchnie budynku muszą być suche.
- Szybkość wiatru poniżej 10 m/s.

Podczas planowania badania termowizyjnego budynku oprócz temperatury należy uwzględnić wiele innych warunków środowiskowych. Wpływ na kontrole zewnętrzne, czasami nawet większy niż nasłonecznienie powierzchni, mogą mieć np. emisje radiacyjne i odbicia od budynków sąsiednich lub czystego zimnego nieba.

Ponadto, jeśli temperatury tła różnią się od temperatur powietrza wewnątrz lub zewnątrz o więcej niż 5 K, należy zmierzyć temperatury tła na wszystkich badanych powierzchniach, aby umożliwić odpowiednią precyzję pomiaru temperatury powierzchni.

16.4.8.6 *Badania i analiza*

Ta sekcja zawiera wskazówki operacyjne dla operatora systemu termowizyjnego.

W trakcie badania musi zostać zebrana ilość informacji termowizyjnych wystarczająca do wykazania, że wszystkie powierzchnie zostały skontrolowane, aby zaraportować i ocenić wszystkie anomalie termiczne.

Najpierw, podobnie jak przy każdym badaniu termowizyjnym, należy zebrać dane środowiskowe, w tym:

- Temperatura wewnętrzna w regionie anomalii.
- Temperatura zewnętrzna w regionie anomalii.
- Emisyjność powierzchni.
- Temperatura tła.
- Odległość od powierzchni.

Temperaturę progową, która będzie stosowana, należy określić przez interpolację.

- W badaniach wewnętrznych temperatura progowa powierzchni (T_{sia}) wynosi $T_{sia} = f_{si}(T_{si} - T_{so}) + T_{so}$. Osoba wykonująca badanie termowizyjne będzie szukała oznak, że temperatura powierzchni znajduje się poniżej tego progu.

- W badaniach zewnętrznych temperatura progowa (T_{soa}) wynosi $T_{soa} = f_{so}(T_{so} - T_{si}) + T_{si}$. Osoba wykonująca badanie termowizyjne będzie szukała oznak, że temperatura powierzchni znajduje się powyżej tego progu.

Obrazy anomalii muszą być rejestrowane w taki sposób, aby nadawały się do analizy:

- Obraz jest prostopadły do wszystkich elementów ściany lub dachu.
- Kąt widzenia jest prawie prostopadły do obrazowanej powierzchni. Źródła zakłóceń podczerwieni, jak światła, źródła ciepła, przewodniki elektryczne, elementy odbijające promieniowanie, są zminimalizowane.

Metoda analizy będzie do pewnego stopnia zależała od używanego programu, ale najważniejsze etapy są następujące:

Wygenerować obraz każdej anomalii lub skupiska anomalii.

- Korzystając z oprogramowania do analiz, zawrzeć obszar anomalii w obrazie tak, aby nie obejmował on detali konstrukcyjnych, które mają być wykluczone.
- Obliczyć obszar poniżej temperatury progowej dla badań wewnętrznych i powyżej temperatury progowej dla badań zewnętrznych. Jest to obszar nieszczelności. Niektóre anomalie, które wydawały się być wadami w trakcie badania, mogą na tym etapie nie zostać zidentyfikowane jako obszary nieszczelności.
- Dodać obszary nieszczelności ze wszystkich obrazów $\sum A_d$.
- Obliczyć łączny obszar odsłoniętej struktury budynku. Jest to obszar powierzchni wszystkich ścian i dachu. Zazwyczaj używa się obszaru powierzchni zewnętrznej. W przypadku budynku o prostym kształcie oblicza się go na podstawie ogólnej szerokości, długości i wysokości.
$$A_t = (2h(L + w)) + (Lw)$$
- Zidentyfikować krytyczny obszar nieszczelności A_c . Wstępnie ustala się go na poziomie 0,1% łącznego obszaru powierzchni.
$$A_c = A_t/1000$$
- Jeśli $\sum A_d < A_c$, można uznać, że budynek jako całość ma 'wystarczająco ciągłą' izolację.

16.4.8.7 Raportowanie

Raporty powinny zawierać zaświadczenie o wyniku pozytywnym/negatywnym, spełniać wymagania klienta i zawierać przynajmniej informacje wymagane przez normę BSEN 13187. Zazwyczaj wymagane są następujące dane, aby badanie można było powtórzyć po działaniach naprawczych.

- Geneza celu i zasady testu.
- Lokalizacja, ustawienie, data i godzina badania.
- Niepowtarzalny numer identyfikacyjny.
- Imię, nazwisko i kwalifikacje osoby wykonującej badanie termowizyjne.
- Rodzaj budowy.

- Warunki meteorologiczne, prędkość i kierunek wiatru, ostatni opad, usłonecznienie, stan zachmurzenia.
- Temperatury otoczenia wewnątrz i na zewnątrz przed rozpoczęciem badania, w chwili rozpoczęcia badania i w chwili rejestrowania każdego obrazu. Należy zarejestrować temperaturę powietrza i temperaturę promieniowania.
- Oświadczenie dotyczące ewentualnych rozbieżności w stosunku do odpowiednich wymagań testu.
- Użyty sprzęt, data ostatniej kalibracji, ewentualne znane usterki.
- Imię, nazwisko, przynależność i kwalifikacje testera.
- Typ, zakres i położenie każdej zaobserwowanej wady.
- Wyniki ewentualnych dodatkowych pomiarów i badań.
- Raporty powinny być indeksowane i archiwizowane przez osoby wykonujące badania termowizyjne.

16.4.8.7.1 Wskazówki i ograniczenia

Wybór między badaniem zewnętrznym a wewnętrznym zależy od następujących elementów:

- Dostęp do powierzchni. Budynki, których zarówno wewnętrzne, jak i zewnętrzne powierzchnie są zastonięte, np. przez podparcie podsufitki lub materiały oparte o ściany, mogą nie nadawać się do badania tego rodzaju.
- Położenie izolacji termicznej. Badania są zazwyczaj skuteczniejsze od strony bliższej izolacji termicznej.
- Położenie ciężkich materiałów. Badania są zazwyczaj mniej skuteczne od strony bliższej ciężkiemu materiałowi.
- Cel badania. Jeśli badanie ma na celu wykazanie ryzyka skraplania i pleśnienia, powinno być wykonane wewnątrz.
- Położenie szkła, odsłoniętego metalu lub innych materiałów, które mogą być wysoko odblaskowe. Badania wysoko odblaskowych powierzchni są zazwyczaj mniej efektywne.
- Nieszczelność wytwarza zazwyczaj mniejszą różnicę temperatur po zewnętrznej stronie ściany wystawionej na ruchy powietrza zewnętrznego. Mimo to brak lub ubytek izolacji w pobliżu powierzchni zewnętrznej można często łatwiej zidentyfikować od zewnątrz.

17 Wprowadzenie do badań termowizyjnych instalacji elektrycznych

17.1 *Ważna uwaga*

Niektóre z funkcji opisanych w tym rozdziale mogą nie być obsługiwane w danej konfiguracji kamery.

W każdym kraju obowiązują inne przepisy dotyczące instalacji elektrycznych. Z tego względu procedury elektryczne opisane w tym rozdziale mogą być niezgodne ze standardową procedurą w danym kraju. Ponadto w wielu krajach wykonywanie inspekcji elektrycznych wymaga posiadania formalnych kwalifikacji. Zawsze należy zweryfikować zgodność procedur z krajowymi lub lokalnymi przepisami dotyczącymi instalacji elektrycznych.

17.2 *Informacje ogólne*

17.2.1 *Wprowadzenie*

Obecnie termowizja jest powszechnie przyjętą metodą badania instalacji elektrycznych. Było to pierwsze zastosowanie termografii i w dalszym ciągu pozostaje najpowszechniejszym. Same kamery termowizyjne przeszły gwałtowny rozwój i można powiedzieć, że obecnie mamy do czynienia z systemami termograficznymi VIII generacji. Wszystko rozpoczęło się ponad 40 lat temu, w 1964 roku. Metoda jest obecnie rozpowszechniona na całym świecie. Przyjęły ją zarówno kraje uprzemysłowione, jak i rozwijające się.

Termowizja, w połączeniu z analizą wibracji, w ciągu ostatnich dziesięcioleci stała się główną metodą diagnostyki usterek w przemyśle, jako część programu konserwacji profilaktycznej. Wielką zaletą tych metod jest fakt, że badania można prowadzić na działających instalacjach. Prowadzenie badań w normalnych warunkach roboczych jest warunkiem niezbędnym do uzyskania prawidłowych wyników pomiarów. Dzięki temu trwający proces produkcyjny nie zostaje zakłócony. Termowizyjne badania instalacji elektrycznych są wykorzystywane w trzech głównych dziedzinach:

- Wytwarzanie energii elektrycznej
- Przesyłanie energii elektrycznej
- Dystrybucja, tzn. przemysłowe wykorzystanie energii elektrycznej.

Fakt, że badania są przeprowadzane w normalnych warunkach roboczych, stworzył naturalny podział na takie grupy. Przedsiębiorstwa zajmujące się wytwarzaniem energii elektrycznej dokonują pomiarów w okresach wysokiego obciążenia. Okresy takie różnią się w zależności od kraju i strefy klimatycznej. Okresy przeprowadzania pomiarów mogą się także różnić w zależności od rodzaju badanej elektrowni: wodna, jądrowa, węglowa czy zasilana paliwem płynnym.

W przemyśle badania — przynajmniej w krajach skandynawskich o wyraźnie zaznaczonych sezonach — są przeprowadzane wiosną lub jesienią albo przed dłuższymi wyłączeniami. Dzięki temu naprawy można przeprowadzać wówczas, gdy elektrownia i tak jest wyłączona z ruchu. Jednakże przestaje to być regułą i badania są coraz częściej przeprowadzane przy różnych obciążeniach elektrowni i w różnych warunkach roboczych.

17.2.2 Ogólne dane sprzętu

Badany sprzęt posiada określone właściwości termiczne, które powinny być znane osobie przeprowadzającej badanie termowizyjne przed jego rozpoczęciem. W przypadku urządzeń elektrycznych dobrze znana jest zasada fizyczna, że wadliwe elementy wykazują inny rozkład temperatur ze względu na zwiększoną rezystancję lub natężenie prądu elektrycznego.

Należy jednak pamiętać, że w niektórych przypadkach, np. cewek cylindrycznych, 'przegrzanie' jest zjawiskiem normalnym i nie oznacza powstania uszkodzenia. W innych przypadkach, takich jak połączenia w silnikach elektrycznych, przegrzanie może wynikać z faktu, że sprawna część przejmuje całe obciążenie i dlatego ulega przegrzaniu.

Podobny przykład pokazano w punkcie 17.5.7 – Przegrzanie jednej części spowodowane uszkodzeniem innej na stronie 115.

Uszkodzone podzespoły sprzętu elektrycznego mogą więc zarówno wykazywać przegrzanie, jak i być chłodniejsze od normalnych, sprawnych podzespołów. Przed rozpoczęciem badania sprzętu należy zebrać o nim jak najwięcej informacji, aby wiedzieć, czego można się spodziewać.

Jednak ogólna zasada mówi, że występowanie punktu gorącego jest spowodowane prawdopodobnym uszkodzeniem. Temperatura i obciążenie danego podzespołu w momencie badania mówi nam, jak poważne jest uszkodzenie i jak poważne może się stać w innych warunkach.

Prawidłowa ocena każdego konkretnego przypadku wymaga posiadania szczegółowych informacji na temat właściwości termicznych podzespołu, to znaczy musimy znać maksymalną dopuszczalną temperaturę jego materiałów i rolę, jaką odgrywa w układzie.

Na przykład izolacje przewodów tracą swoje właściwości izolacyjne powyżej określonej temperatury, co zwiększa ryzyko powstania pożaru.

W przypadku wyłączników, przy zbyt wysokiej temperaturze elementy wyłącznika mogą ulec stopieniu, uniemożliwiając jego otwarcie i czyniąc go bezużytecznym.

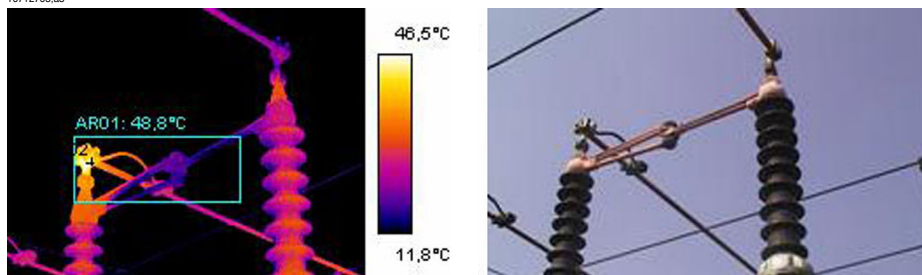
Im więcej operator kamery termowizyjnej wie na temat badanego sprzętu, tym lepsza jakość badania. Jednakże praktycznie niemożliwością jest, aby osoba dokonująca badań termowizyjnych posiadała szczegółową wiedzę na temat wszystkich badanych urządzeń. Z tego względu powszechną praktyką jest obecność przy badaniu osoby odpowiedzialnej za dany sprzęt.

17.2.3 Badanie

Przygotowania do badania powinny obejmować wybór odpowiedniego rodzaju raportu. Często niezbędne jest skorzystanie z przyrządów dodatkowych, takich jak amperomierze do mierzenia natężenia prądu w obwodach, w których stwierdzono uszkodzenia. Anemometr jest niezbędny, jeśli zachodzi potrzeba zmierzenia prędkości wiatru przy badaniu sprzętu znajdującego się na wolnym powietrzu.

Funkcje automatyczne ułatwiają operatorowi kamery termowizyjnej wizualizację obrazu termograficznego przy zastosowaniu odpowiedniego kontrastu dla łatwej identyfikacji uszkodzeń lub punktów gorących. Prawie niemożliwe jest niezauważenie punktu gorącego badanego podzespołu. Funkcja pomiaru również automatycznie wyświetla najgorętszy punkt w danym obszarze obrazu lub różnicę pomiędzy temperaturą maksymalną w wybranym obszarze a wybieraną przez operatora temperaturą odniesienia, np. temperaturą otoczenia.

10712703:a3



Rysunek 17.1 Obraz w podczerwieni i w świetle widzialnym izolatora linii energetycznej

Gdy uszkodzenie zostanie wyraźnie zidentyfikowane i osoba wykonująca badanie termowizyjne upewni się, że nie jest to odbicie naturalnie występującego punktu gorącego, rozpoczyna się gromadzenie danych, z utworzeniem raportu o uszkodzeniu. Raport taki zawiera wartość emisyjności, dane identyfikacyjne podzespołu oraz rzeczywiste warunki robocze, wraz ze zmierzoną temperaturą. Dla ułatwienia identyfikacji podzespołu często wykonywane jest zdjęcie uszkodzenia w świetle widzialnym.

17.2.4 Klasyfikacja i raportowanie

Raportowanie zawsze było najbardziej czasochłonnym elementem badania termowizyjnego. Jednodniowe badanie mogło wymagać jednego lub dwóch dni pracy nad raportem i klasyfikacją stwierdzonych uszkodzeń. Nadal ma to miejsce w przypadku wielu użytkowników kamer, którzy nie zdecydowali się na skorzystanie z ułatwień w monitoringu stanu termograficznego urządzeń, wnoszonych przez komputery i nowoczesne oprogramowanie do raportowania.

Klasyfikacja uszkodzeń pozwala na ich bardziej szczegółowe ujęcie, uwzględniające nie tylko sytuację panującą w momencie badania (z pewnością bardzo istotną), lecz także możliwość normalizacji stanu podwyższonej temperatury do warunków standardowego obciążenia i temperatury otoczenia.

Podwyższona temperatura rzędu $+30^{\circ}\text{C}$ z pewnością wskazuje na nieprawidłowość. Lecz jeśli taka podwyższona temperatura dotyczy jednego podzespołu pracującego z pełnym obciążeniem i innego — z połowicznym — oczywistym jest, że przy wzroście obciążenia tego drugiego z 50% do 100% temperatura wzrośnie do znacznie wyższej. Taką normę można przyjąć stosownie do warunków pracy danej elektrowni. Jednakże bardzo często temperatury są przewidywane dla stanu pełnego obciążenia. Norma ułatwia porównywanie nieprawidłowości z biegiem czasu i uzyskanie pełniejszej klasyfikacji.

17.2.5 Priorytet

W oparciu o klasyfikację uszkodzeń kierownik serwisu nadaje uszkodzeniom odpowiedni priorytet serwisowy. Bardzo często informacje zebrane w trakcie badania termowizyjnego są zestawiane z informacjami uzupełniającymi na temat sprzętu, zebranymi za pomocą innych środków, takich jak monitorowanie wibracji, badania ultradźwiękowe czy planowa konserwacja profilaktyczna.

Chociaż badania termowizyjne stają się najpowszechniejszą metodą bezpiecznego zbierania informacji o podzespołach elektrycznych w normalnych warunkach roboczych, istnieje wiele innych źródeł informacji, które musi wziąć pod uwagę kierownik serwisu lub produkcji.

Dlatego ustalanie priorytetu napraw nie powinno być w normalnym przypadku zadaniem operatora kamery termowizyjnej. W razie wykrycia sytuacji krytycznej podczas badania lub klasyfikacji uszkodzeń niewątpliwie trzeba na nią zwrócić uwagę kierownika serwisu, ale to on powinien ponosić odpowiedzialność za ustalenie priorytetu napraw.

17.2.6 **Naprawa**

Naprawa stwierdzonych uszkodzeń jest najistotniejszym zadaniem konserwacji profilaktycznej. Jednak zapewnienie terminowości i ograniczenie kosztów produkcji może również być istotnym celem zespołu serwisowego. Informacje uzyskane z badania termowizyjnego można wykorzystać do poprawy efektywności napraw, jak również do osiągnięcia innych celów przy uwzględnieniu wkalkulowanego ryzyka.

Monitorowanie temperatury w miejscu stwierdzonego uszkodzenia, które nie może zostać natychmiastowo naprawione ze względu na np. brak części zamiennych, często może zapewnić wielokrotny zwrot kosztów badania, a czasem nawet zakupu kamery. Podjęcie decyzji o nienaprawianiu stwierdzonych uszkodzeń celem uniknięcia kosztów serwisowych i zbędnych przestojów jest kolejnym sposobem produktywnego wykorzystania informacji uzyskanych z badania termowizyjnego.

Jednakże, najczęstszym efektem identyfikacji i klasyfikacji stwierdzonych uszkodzeń jest zalecenie natychmiastowej naprawy lub gdy tylko stanie się ona możliwa ze względów praktycznych. Istotne jest, aby zespół serwisowy znał fizyczne zasady identyfikacji uszkodzeń. Jeśli miejsce uszkodzenia wykazuje wysoką temperaturę, a jego stan jest krytyczny, bardzo często personel serwisowy oczekuje znalezienia elementu o wysokim stopniu korozji. Zespołu serwisowego nie powinien także dziwić fakt, że zwykle sprawne połączenie może wykazywać równie wysoką temperaturę, co skorodowane, jeśli ulegnie poluzowaniu. Taka błędna interpretacja jest dość powszechna i grozi utratą zaufania do rzetelności badania termowizyjnego.

17.2.7 **Kontrola**

Naprawiony podzespół powinien zostać skontrolowany jak najszybciej po naprawie. Oczekiwanie na kolejne zaplanowane badanie termograficzne w celu połączenia nowego badania z kontrolą naprawionych uszkodzeń nie jest dobrym rozwiązaniem. Statystyki dotyczące efektów napraw wskazują, że nawet jedna trzecia naprawionych uszkodzeń nadal wykazuje przegrzanie. Innymi słowy, uszkodzenia takie stwarzają potencjalne ryzyko awarii.

Oczekiwanie na następne zaplanowane badanie termowizyjne stanowi dla elektrowni zbędne ryzyko.

Poza zwiększeniem efektywności cyklu serwisowego (mierzonej w kategoriach niższego ryzyka dla elektrowni) natychmiastowa kontrola efektów naprawy daje inne korzyści dla sprawności działania samego zespołu serwisowego.

Jeśli po naprawie miejsce uszkodzenia nadal wykazuje przegrzanie, ustalenie jego przyczyny usprawnia procedurę naprawy, ułatwia wybór najlepszych dostawców podzespołów i wykrywanie wad konstrukcyjnych instalacji elektrycznej. Zespół od razu widzi efekt swojej pracy i szybko uczy się na sukcesach i błędach w naprawie.

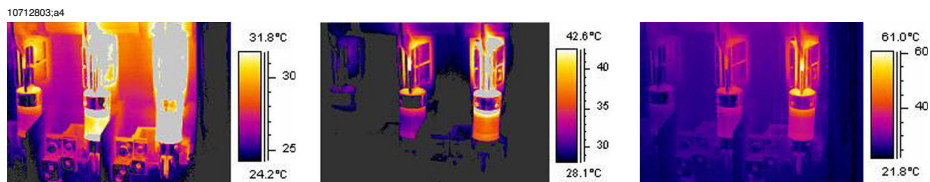
Innym powodem, dla którego celowe może być wyposażenie zespołu serwisowego w przyrząd termowizyjny jest fakt, że wiele spośród uszkodzeń wykrytych podczas badania termograficznego jest niegroźnych. Zamiast ich naprawy, pochłaniającej czas serwisu i powodującej przestoje w produkcji, można podjąć decyzję o utrzymaniu ich pod kontrolą. Z tego powodu personel serwisowy powinien mieć do dyspozycji własny sprzęt termowizyjny.

Powszechną praktyką jest odnotowywanie na formularzu raportu usterek stwierdzonych podczas naprawy, jak również podjętych działań. Takie spostrzeżenia stanowią istotne źródło doświadczenia, które można wykorzystać do ograniczenia poziomu zapasów, w wyborze najlepszych dostawców czy szkoleniu nowego personelu serwisowego.

17.3 Techniki pomiarowe wykorzystywane w badaniach termowizyjnych instalacji elektrycznych

17.3.1 Prawidłowa regulacja sprzętu

Obraz termiczny może wykazywać znaczne różnice temperatur:



Rysunek 17.2 Różnice temperatur w skrzynce bezpieczników

Na powyższych zdjęciach maksymalna temperatura bezpiecznika po prawej stronie wynosi $+61^{\circ}\text{C}$, tego po lewej — $+32^{\circ}\text{C}$, a środkowego wypadła między nimi. Te trzy zdjęcia różnią się tym, że skala temperatury uwydatnia tylko jeden bezpiecznik na każdym z nich. Jest to jednak to samo zdjęcie, zawierające wszystkie informacje o wszystkich trzech bezpiecznikach. Jest to tylko kwestia ustawienia wartości skali temperatury.

17.3.2 Pomiar temperatury

Niektóre spośród obecnie dostępnych kamer posiadają zdolność odnalezienia na obrazie miejsca o najwyższej temperaturze. Na poniższym obrazie pokazano, jak to widzi operator.



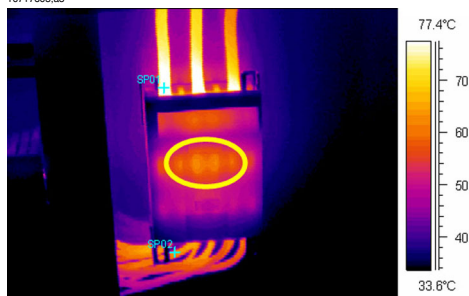
Rysunek 17.3 Termowizyjny obraz skrzynki bezpieczników z pokazaną temperaturą maksymalną.

Maksymalna temperatura w zaznaczonym obszarze wynosi $+62,2^{\circ}\text{C}$. Miernik punktowy pokazuje dokładne położenie punktu gorącego. Obraz można łatwo zapisać w pamięci kamery.

Prawidłowy pomiar temperatury nie zależy jednak wyłącznie od działania oprogramowania pomiarowego czy samej kamery. Może się zdarzyć tak, że faktyczne miejsce uszkodzenia, np. połączenie, będzie niewidoczne dla kamery w jej aktualnym poło-

żeniu. W takim przypadku może być na przykład mierzone ciepło przewodzone z pewnej odległości, podczas gdy 'rzeczywisty' punkt gorący jest ukryty. Przykład takiej sytuacji pokazano na poniższym obrazie.

10717603,a3

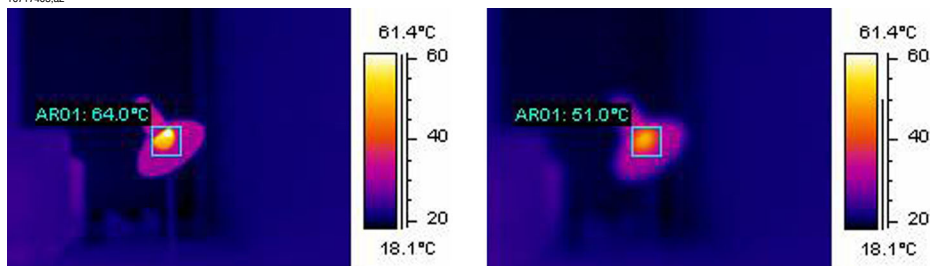


Rysunek 17.4 Ukryty punkt gorący w skrzynce bezpieczników

Najlepiej jest wypróbować różne kąty i upewnić się, czy gorący obszar jest widoczny w pełnym rozmiarze, tzn. najgorętszy punkt nie jest niczym zasłonięty. Na tym zdjęciu najgorętszy punkt, który 'widzi' kamera, ma temperaturę $+83^{\circ}\text{C}$, podczas gdy temperatura robocza na kablach pod skrzynką wynosi $+60^{\circ}\text{C}$. Rzeczywisty najgorętszy punkt jest jednak prawdopodobnie ukryty wewnątrz skrzynki i jest to obszar otoczony żółtym obramowaniem. Awaria jest zgłaszana jako przekroczenie temperatury o $+23,0^{\circ}\text{C}$, ale rzeczywisty problem jest zapewne znacznie gorętszy.

Inną przyczyną zaniżenia temperatury obiektu może być nieprawidłowe ogniskowanie (ostrość). Bardzo istotne jest, aby obraz znalezionej punktu gorącego był ostry — patrz poniższy przykład.

10717403,a2



Rysunek 17.5 **PO LEWEJ:** Obraz punktu gorącego jest ostry; **PO PRAWIEJ:** Obraz punktu gorącego jest nieostry.

Na lewej ilustracji obraz lampy jest ostry. Jej średnia temperatura wynosi $+64^{\circ}\text{C}$. Na prawej ilustracji obraz lampy jest nieostry, co powoduje, że średnia temperatura wynosi zaledwie $+51^{\circ}\text{C}$.

17.3.3 Pomiar porównawczy

Do badań termowizyjnych instalacji elektrycznych wykorzystywana jest specjalna metoda oparta na porównaniu różnych obiektów, tzw. *pomiar z odniesieniem*. Oznacza to po prostu, że trzy fazy są porównywane ze sobą. Metoda ta wymaga systematycznego, równoległego skanowania trzech faz w celu ustalenia, czy temperatura w danym punkcie odbiega od normalnego rozkładu temperatur.

Normalny obraz temperatury oznacza, że elementy przewodzące prąd mają temperaturę roboczą pokazaną na wyświetlaczu w określonym kolorze (lub odcieniu szarości), która jest zazwyczaj identyczna dla wszystkich trzech faz pod symetrycznym obciążeniem. Na drodze prądu mogą występować niewielkie różnice koloru, np. w punkcie styku dwóch różnych materiałów, w obszarach o rosnących lub malejącym przewodnictwie lub na wyłącznikach, gdzie droga prądu jest obudowana.

Poniższy obraz przedstawia trzy bezpieczniki, których temperatury są bardzo zbliżone. Wstawiona izoterma pokazuje różnicę między poszczególnymi fazami, wynoszącą mniej niż $+2^{\circ}\text{C}$.

Różnice w kolorach występują zwykle wówczas, gdy poszczególne fazy są obciążone niesymetrycznie. Taka różnica w kolorach nie oznacza przegrzania, gdyż nie występuje miejscowo, lecz na całej długości fazy.

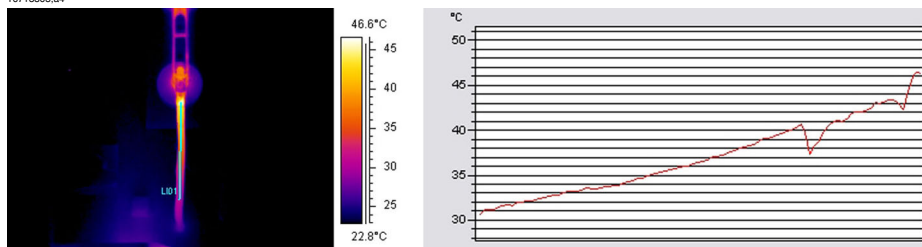
10713203.a3



Rysunek 17.6 Izoterma na termograficznym obrazie skrzynki bezpieczników

Natomiast w 'rzeczywistym' gorącym punkcie widać, jak temperatura rośnie w miarę przybliżania się do źródła ciepła. Na poniższym zdjęciu jest przedstawione, jak profil (linia) pokazuje stale rosnącą temperaturę do około $+93^{\circ}\text{C}$ w gorącym punkcie.

10713303,a4



Rysunek 17.7 Profil (linia) na obrazie termograficznym i wykres pokazujący wzrost temperatury

17.3.4 Normalna temperatura robocza

Przy termowizyjnym pomiarze temperatury zwykle otrzymywana jest bezwzględna temperatura obiektu. Dla prawidłowej oceny, czy dany podzespół jest przegrzany, niezbędna jest znajomość jego temperatury roboczej, tzn. jego normalnej temperatury przy danym obciążeniu i temperaturze otoczenia.

Ponieważ pomiar bezpośredni daje temperaturę bezwzględną — którą należy także brać pod uwagę (gdyż większość podzespołów posiada górne ograniczenie takiej temperatury) — niezbędne jest obliczenie oczekiwanej temperatury roboczej przy danym obciążeniu i temperaturze otoczenia. Warto zapamiętać następujące definicje:

- Temperatura robocza: temperatura bezwzględna podzespołu. Zależy od obciążenia prądowego i temperatury otoczenia. Jest zawsze wyższa od temperatury otoczenia.
- Nadwyżka temperatury (przegrzanie): różnica temperatur pomiędzy sprawnym a uszkodzonym podzespołem.

Nadwyżka temperatur stanowi różnicę pomiędzy temperaturą 'normalnego' podzespołu, a temperaturą podzespołu sąsiedniego. Istotne jest, aby porównywać ze sobą te same punkty poszczególnych faz.

Poniżej przedstawiono przykładowy obraz urządzenia znajdującego się w pomieszczeniu:

10713403,a4



Rysunek 17.8 Obraz termograficzny urządzenia elektrycznego znajdującego się w pomieszczeniu (1).

Dwie fazy z lewej strony można uznać za normalne, podczas gdy na fazie po prawej widać bardzo wyraźnie nadmierną temperaturę. W rzeczywistości temperatura robocza lewej fazy wynosi $+68^{\circ}\text{C}$, czyli jest dość znaczna, podczas gdy dla uszkodzonej fazy po prawej stronie podana jest temperatura $+86^{\circ}\text{C}$. Oznacza to nadmiar temperatury o $+18^{\circ}\text{C}$, z czego wynika, że jest to awaria, którą należy jak najszybciej usunąć.

Ze względów praktycznych za (normalną, oczekiwaną) temperaturę roboczą danego podzespołu przyjmuje się temperaturę dwóch podzespołów pracujących na co najmniej dwóch z trzech faz, pod warunkiem, że uzna się je za sprawne. Oczywiście 'najbardziej normalny' przypadek występuje wówczas, gdy wszystkie trzy fazy wykazują tę samą lub prawie tę samą temperaturę. Temperatura robocza podzespołów pracujących na wolnym powietrzu w podstacjach lub na liniach energetycznych zwykle przewyższa temperaturę powietrza tylko o 1°C lub 2°C . W podstacjach znajdujących się w pomieszczeniach temperatury robocze są znacznie bardziej zróżnicowane.

Fakt ten jest wyraźnie widoczny także na poniższym obrazie. Tutaj lewa faza wykazuje nadwyżkę temperatury. Temperatura robocza, przyjęta jako temperatura dwóch 'zimnych' faz, wynosi $+66^{\circ}\text{C}$. Faza uszkodzona wykazuje temperaturę $+127^{\circ}\text{C}$, która wymaga natychmiastowej uwagi.

10713803.a5



Rysunek 17.9 Obraz termograficzny urządzenia elektrycznego znajdującego się w pomieszczeniu (2).

17.3.5 Klasyfikacja uszkodzeń

Po wykryciu wadliwego połączenia zastosowanie środków naprawczych może być konieczne — lub niekonieczne w danym momencie. Aby móc zalecić najbardziej odpowiedni sposób postępowania, należy wziąć pod uwagę następujące kryteria:

- Obciążenie podczas pomiaru
- Charakter obciążenia (stałe bądź zmienne)
- Umieszczenie uszkodzonego elementu w instalacji elektrycznej
- Obciążenie, które może wystąpić w przyszłości

- Czy nadwyżka temperatury jest mierzona bezpośrednio w miejscu uszkodzenia, czy też pośrednio, jako ciepło przewodzone spowodowane usterką wewnątrz urządzenia?

Nadwyżki temperatury mierzone bezpośrednio na uszkodzonym elemencie można zwykle podzielić na trzy kategorie odpowiadające maksymalnemu obciążeniu.

I	< 5°C	Początek przegrzania. Wymaga ścisłego monitorowania.
II	5–30°C	Przegrzanie. Wymaga jak najszybszej naprawy (przed podjęciem decyzji należy wziąć pod uwagę obciążenie).
III	> 30°C	Poważne przegrzanie. Wymaga natychmiastowej naprawy (przed podjęciem decyzji należy wziąć pod uwagę obciążenie).

17.4 Raportowanie

Obecnie badania termowizyjne instalacji elektrycznych są w przeważającej większości przypadków dokumentowane z wykorzystaniem oprogramowania do raportowania. Programy takie, różniące się między sobą w zależności od producenta, są zwykle bezpośrednio przystosowane do danego typu kamery, przez co bardzo przyspieszają i ułatwiają tworzenie raportów.


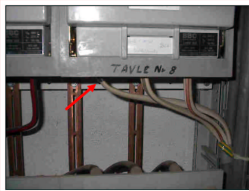
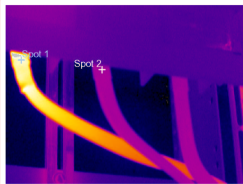
Program wykorzystany do utworzenia pokazanej poniżej strony raportu nosi nazwę FLIR Reporter. Jest on przystosowany do kilku typów kamer termowizyjnych firmy FLIR Systems.

Profesjonalny raport jest często podzielony na dwie części:

- Pierwsza strona, zawierająca podstawowe informacje dotyczące badania, takie jak:
 - Określenie klienta, np. nazwa firmy klienta i nazwisko osoby kontaktowej
 - Miejsce badania: adres, miejscowość itd.
 - Data badania
 - Data sporządzenia raportu
 - Nazwisko osoby wykonującej badanie
 - Podpis osoby wykonującej badanie
 - Streszczenie lub spis treści
- Strony badania zawierające obrazy termowizyjne, umożliwiające udokumentowanie i analizę właściwości lub anomalii termicznych.
 - Określenie przedmiotu badania:
 - Co jest przedmiotem badania: oznaczenie, nazwa, numer itd.
 - Zdjęcie
 - Obraz termowizyjny; przy zbieraniu obrazów termowizyjnych należy zwrócić uwagę na następujące elementy:
 - Ostrość optyczna
 - Dostrojenie obrazu termowizyjnego (poziom i zakres skali temperatur)
 - Kompozycja: prawidłowa odległość od obiektu i kąt widzenia
 - Komentarz
 - Czy stwierdzono nieprawidłowości?
 - Czy występują odbicia?

- Użycie narzędzia pomiarowego — punktowego, powierzchniowego lub izotermi — w celu ilościowego ujęcia problemu. Użycie jak najprostszego narzędzia; wykres profilu jest bardzo rzadko potrzebny w raportach dotyczących instalacji elektrycznych.

10713603.a3

	THERMOGRAPHY INSPECTION for FLIR Systems AB		Date: 2005-10-10	
			Sign: _____ Contract : 1708	
Photograph				
	Place	Building 1		
	Localization	Right panel, group 2		
	Equipment	Fuse		
	Model / type	BBC LHBN 250		
	Phase / ID	Supply for Panel 8		
	Room temperature °C	15		
	Status	Over heated		
Thermogram				
	Temp. Spot 1	34 °C		
	Temp. Spot 2	17 °C		
	TEMPERATURE DIFF		17 °C	
	Phase	L1	L2	L3
	Load (A)	45	47	47
	Rated load	250		
Fault class	2			
Comment				
<p>Disconnect cable, clean contact surfaces. Check for connectivity between cable shoe and lead. Replace any defective component. Assemble according to directions with correct torque.</p> <p>Note that load is only 18%. Calculated temperature rise at 50% load would be approximately 104°C. [T50=(T1-T2)*(125/45)^1.6+T2]</p>				
Corrected				
Measure taken: _____		Date: _____		
Sign: _____		Sign.: _____		

Side 1

Rysunek 17.10 Przykładowy raport

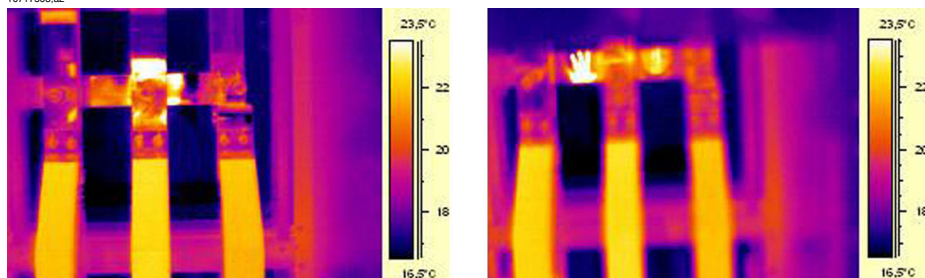
17.5 Rodzaje punktów gorących występujących w instalacjach elektrycznych

17.5.1 Odbicia

Kamera termowizyjna rejestruje promieniowanie docierające do obiektywu, nie tylko pochodzące od badanego obiektu, lecz także z innych źródeł, po odbiciu od niego. W większości przypadków podzespoły elektryczne odbijają promieniowanie podczerwone jak lustro, chociaż w świetle widzialnym nie jest to tak oczywiste. Odślonięte części metalowe są szczególnie połyskliwe, natomiast pomalowane, z izolacją z tworzywa sztucznego lub kauczuku przeważnie nie są. Na poniższym obrazie wyraźnie widać odbicie od osoby przeprowadzającej badanie. Oczywiście nie jest punkt gorący na obiekcie. Aby przekonać się, czy widziany obraz jest odbiciem czy też nie, wystarczy przesunąć się. Na obiekt należy patrzeć pod różnymi kątami, obserwując ‘punkt gorący’. Jeśli porusza się wraz z obserwatorem, jest to odbicie.

Nie jest możliwy pomiar temperatury elementów o lustrzanej powierzchni. Obiekt na poniższych obrazach posiada obszary pomalowane farbą, które nadają się do pomiaru temperatury. Obiekt jest wykonany z miedzi, która jest bardzo dobrym przewodnikiem ciepła. Oznacza to, że różnice temperatur na jego powierzchni są niewielkie.

10717503.a2

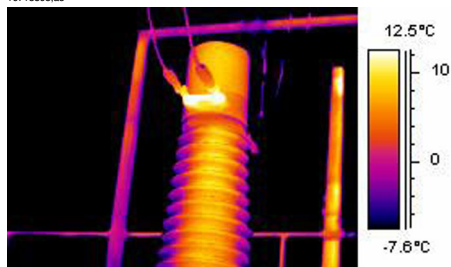


Rysunek 17.11 Odbicia na obrazie obiektu

17.5.2 Nagrzewanie przez promieniowanie słoneczne

Powierzchnia podzespołu o wysokiej emisyjności, na przykład wyłącznika, może w upalne dni zostać rozgrzana do wysokiej temperatury przez promieniowanie słoneczne. Na obrazie pokazano wyłącznik automatyczny rozgrzany przez słońce.

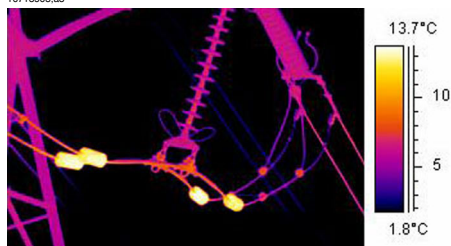
10713903.a3



Rysunek 17.12 Obraz termograficzny wyłącznika automatycznego

17.5.3 Nagrzewanie indukcyjne

10713903.a3



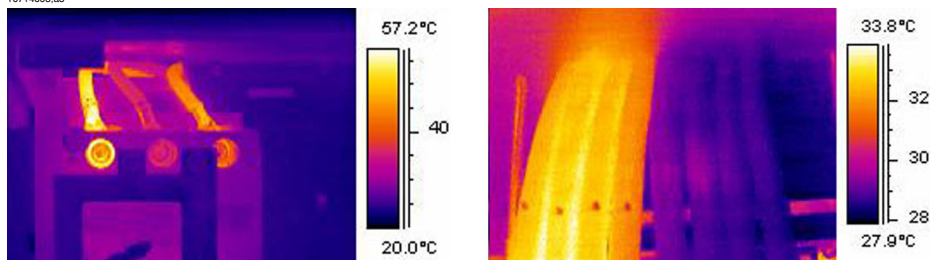
Rysunek 17.13 Obraz termograficzny nagranych obciążników stabilizacyjnych

Prądy wirowe mogą powodować powstawanie punktów gorących na drodze prądu. W przypadku bardzo wysokiego natężenia prądu i bliskości innych materiałów może to prowadzić do pożarów. Ten rodzaj nagrzewania występuje w materiałach magnetycznych znajdujących się wokół drogi prądu, takich jak metalowe podstawy izolatorów przepustowych. Na powyższym obrazie występują obciążniki stabilizacyjne, przez które przepływa prąd o wysokim natężeniu. Te metalowe obciążniki, wykonane z materiału lekko magnetycznego, nie przewodzą prądu, ale są narażone na działanie zmiennych pól magnetycznych, powodujących ich rozgrzewanie. Przegrzanie pokazane na rysunku nie sięga $+5^{\circ}\text{C}$. Jednak nie zawsze tak musi być.

17.5.4 Różnice obciążenia

Systemy trójfazowe to norma w energetyce. Szukając przegrzanych miejsc, można z łatwością porównać bezpośrednio ze sobą wszystkie trzy fazy, np. kable, wyłączniki, izolatory. Równomierne obciążenie we wszystkich fazach powinno skutkować jednorodnym obrazem temperatury dla wszystkich trzech faz. Usterkę można podejrzewać w sytuacjach, gdy temperatura jednej fazy różni się znacznie od dwóch pozostałych. Zawsze jednak należy się upewnić, czy obciążenie jest równomiernie rozłożone. Można to sprawdzić za pomocą stacjonarnych lub przenośnych amperomierzy (do 600 A).

10714003.a3



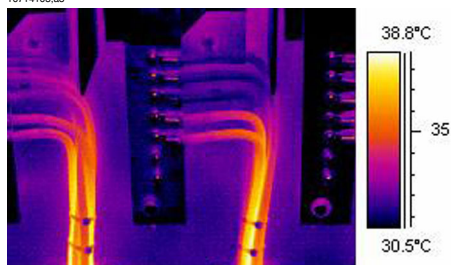
Rysunek 17.14 Przykładowe obrazy termowizyjne przy różnicach w obciążeniu faz

Obraz po lewej stronie przedstawia trzy kable obok siebie. Są w wystarczającej odległości od siebie, aby można je było uważać za termicznie odizolowane. Kabel znajdujący się pośrodku ma niższą temperaturę niż pozostałe. Zakładając, że dwie fazy nie są uszkodzone i przegrzane, jest to typowy przykład niesymetrycznego obciążenia. Rozkład temperatury jest równomierny na całej długości kabli, co wskazuje na wzrost temperatury spowodowany zmianą obciążenia, a nie wadliwym połączeniem.

Obraz po prawej przedstawia dwie wiązki kabli o bardzo odmiennym obciążeniu. Wiązka po prawej stronie praktycznie posiada tylko minimalne obciążenie. Kable o znacznym obciążeniu prądowym posiadają temperaturę o ok. 5°C wyższą, niż kable bez obciążenia. W tych przykładach nie występuje żadna usterka, którą należy zaznaczyć w raporcie.

17.5.5 Odmienne warunki chłodzenia

10714103.a3



Rysunek 17.15 Obraz termograficzny wiązek kabli

W przypadku wiązki kabli może wystąpić sytuacja, że w wyniku słabego chłodzenia kabli znajdujących się w środku wiązki ich temperatura może znacznie wzrosnąć, patrz obraz powyżej.

Kable po prawej stronie obrazu nie wykazują przegrzania w pobliżu zacisków. Jednak w części pionowej wiązki są one utrzymywane bardzo blisko siebie, chłodzenie jest słabe, ciepło nie jest rozpraszane w wyniku konwekcji powietrza, a w efekcie kable posiadają znacznie wyższą temperaturę (o ok. 5°C) w stosunku do lepiej chłodzonego odcinka.

17.5.6 Różnice rezystancji

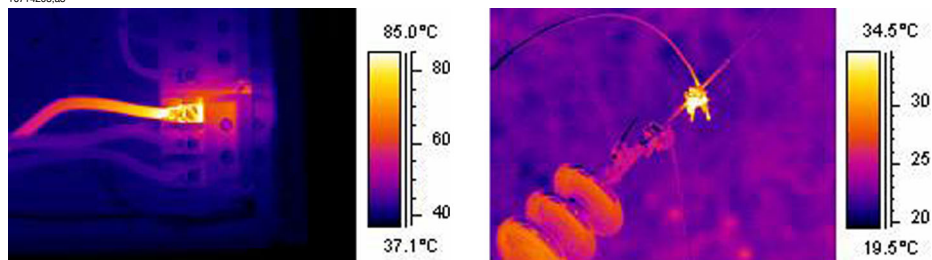
Przegrzanie może wynikać z różnych przyczyn. Niektóre z nich są opisane poniżej.

Słaby docisk styków może wystąpić przy montażu złącza lub na przykład w wyniku zużycia materiału, zmniejszenia napięcia sprężyny, zużycia gwintów śrub i nakrętek, a nawet użycia zbyt dużej siły przy montażu. Przy wzroście obciążenia i temperatury granica plastyczności materiału zostaje przekroczona i docisk słabnie.

Obraz po lewej stronie przedstawia styk o obniżonej jakości wskutek poluzowania śruby. Ponieważ obniżona jakość styku występuje na bardzo małej powierzchni, przegrzanie powstaje w miejscu o bardzo małych wymiarach, skąd ciepło jest równomiernie rozprowadzane wzdłuż kabla połączeniowego. Należy zwrócić uwagę na niższą emisyjność samej śruby, w wyniku czego może wyglądać na nieco chłodniejszą od izolowanej — a stąd o wyższej emisyjności — części kabla.

Obraz po prawej stronie przedstawia inny przykład przegrzania, również spowodowanego luźnym połączeniem. Połączenie to znajduje się na wolnym powietrzu i stąd podlegała chłodzącemu działaniu wiatru. W pomieszczeniu przegrzanie takie prawdopodobnie wykazywałoby wyższą temperaturę.

10714203_a3



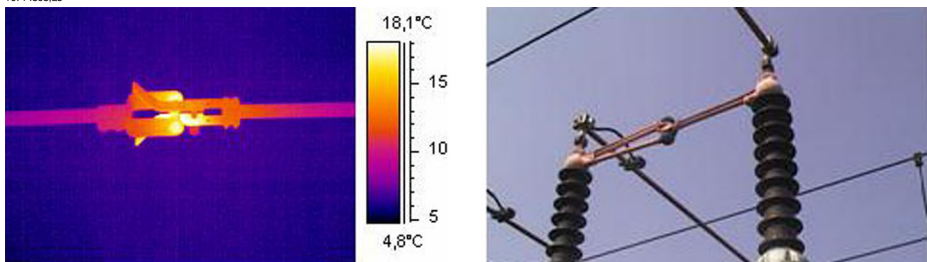
Rysunek 17.16 PO LEWEJ: Obraz termowizyjny połączenia o słabej jakości styku w wyniku poluzowania śruby; **PO PRAWEJ:** Luźne połączenie na wolnym powietrzu, podlegające chłodzącemu działaniu wiatru.

17.5.7 Przegrzanie jednej części spowodowane uszkodzeniem innej

W pewnych sytuacjach element może wykazywać przegrzanie, chociaż jest sprawny. Powodem tego jest fakt, że oba elementy przewodzące podlegają wspólnemu obciążeniu (są połączone równolegle). Jeden z nich posiada zwiększoną rezystancję, a

drugi jest sprawny. Wskutek tego wadliwy element przenosi mniejsze obciążenie, natomiast sprawny musi przejąć większe, które może przekraczać dopuszczalne i powodować wzrost temperatury, patrz obraz.

10714303.a3



Rysunek 17.17 Przegrzanie wyłącznika automatycznego

Przegrzanie tego wyłącznika automatycznego jest najprawdopodobniej spowodowane słabą jakością styku bliższego palca stycznika. Wskutek tego dalszy palec przenosi prąd o większym natężeniu i rozgrzewa się. Na obrazie termowizyjnym i na zdjęciu pokazano inne, choć podobne do siebie elementy.

17.6 Czynniki zakłócające przy badaniach termowizyjnych instalacji elektrycznych

Podczas badań termowizyjnych instalacji elektrycznych różnego typu czynniki zakłócające, takie jak wiatr, duża odległość od obiektu, deszcz czy śnieg często wpływają na wynik pomiaru.

17.6.1 Wiatr

Przy badaniach na wolnym powietrzu należy uwzględniać chłodzące działanie wiatru. Przegrzanie zmierzone przy prędkości wiatru 5 m/s będzie ok. dwukrotnie wyższe przy prędkości wiatru 1 m/s. Nadwyżka temperatury zmierzona przy prędkości wiatru 8 m/s będzie ok. 2,5 raza wyższa przy prędkości wiatru 1 m/s. Współczynniki korekcyjne uzyskane na podstawie pomiarów doświadczalnych zwykle sprawdzają się przy prędkości wiatru do 8 m/s.

Zdarzają się jednak przypadki, gdy niezbędne jest wykonanie badania przy silniejszym wietrze niż 8 m/s. Na świecie jest wiele miejsc, gdzie wieją silne wiatry: wyspy, góry itd. Najważniejsze jest, by pamiętać, że przegrzany element miałby znacznie wyższą temperaturę przy mniejszej prędkości wiatru. Doświadczalnie uzyskane współczynniki korekcyjne można zestawić w listę.

Prędkość wiatru (m/s)	Prędkość wiatru (węzły)	Współczynnik korekcyjny
1	2	1
2	4	1.36
3	6	1.64
4	8	1.86
5	10	2.06
6	12	2.23
7	14	2.40
8	16	2,54

Mnożąc zmierzoną nadwyżkę temperatury przez współczynnik korekcyjny, otrzymujemy nadwyżkę temperatury w warunkach bezwietrznych, tzn. przy prędkości wiatru równej 1 m/s.

17.6.2 Deszcz i śnieg

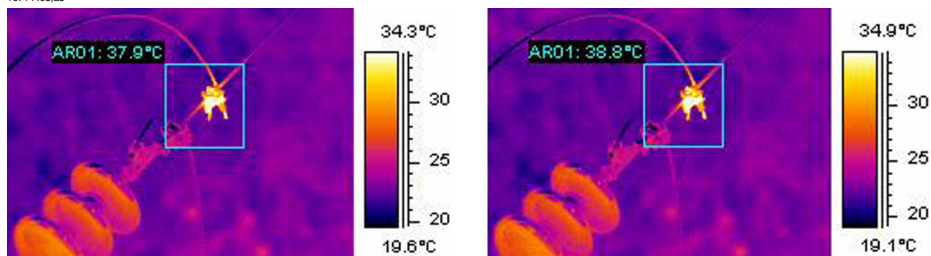
Deszcz i śnieg również mają działanie chłodzące w stosunku do podzespołów elektrycznych. Pomiar termowizyjny można przeprowadzać z zadawalającymi wynikami przy niewielkich opadach śniegu (suchy śnieg) oraz przy lekkiej mżawce. Jakość

obrazu pogarsza się przy intensywnych opadach śniegu lub deszczu. Otrzymanie rzetelnych wyników pomiaru jest wówczas niemożliwe. Głównym powodem tego jest fakt, że gęsty śnieg i ulewny deszcz są nieprzenikliwe dla promieniowania podczerwonego i wówczas mierzona jest raczej temperatura płatków śniegu lub kropel deszczu.

17.6.3 Odległość od obiektu

Poniższy obraz uzyskano z helikoptera, z odległości 20 m od wadliwego połączenia. Odległość nieprawidłowo ustawiono na 1 m i otrzymano temperaturę $+37,9^{\circ}\text{C}$. Wartość otrzymaną po zmianie odległości na 20 m pokazano na obrazie po prawej stronie, na którym skorygowana temperatura wynosi $+38,8^{\circ}\text{C}$. Różnica nie jest zbyt duża, ale może przenosić usterkę do wyższej kategorii pod względem stopnia ważności. Tak więc nie należy zaniedbywać prawidłowego ustawienia odległości.

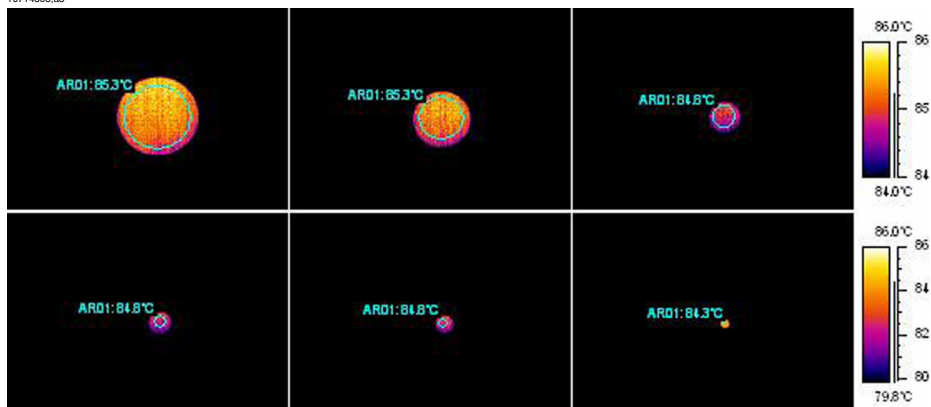
10714403.a3



Rysunek 17.18 PO LEWEJ: Nieprawidłowe ustawienie odległości; **PO PRAWEJ:** Prawidłowe ustawienie odległości

Poniższe obrazy przedstawiają wskazania temperatury dla ciała doskonale czarnego o temperaturze $+85^{\circ}\text{C}$ przy wzrastających odległościach.

10714503.a3



Rysunek 17.19 Wskazania temperatury dla ciała doskonale czarnego o temperaturze $+85^{\circ}\text{C}$ przy wzrastających odległościach

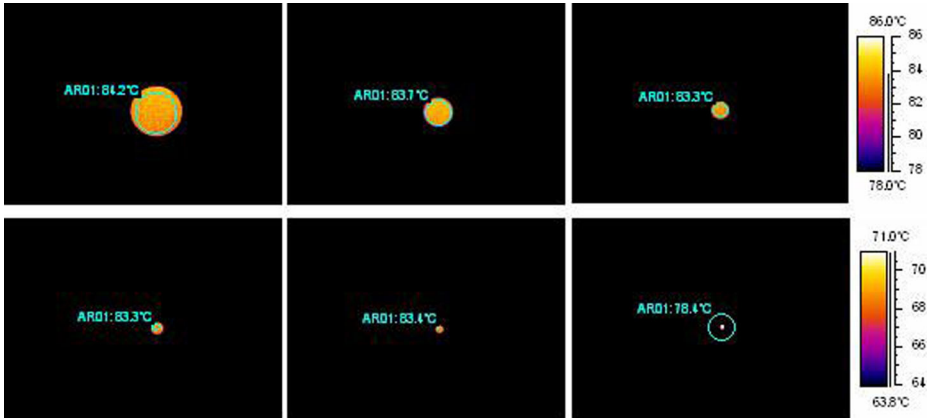
Uzyskane temperatury średnie ciała doskonale czarnego o temperaturze $+85^{\circ}\text{C}$ to kolejno (od lewej do prawej): $+85,3^{\circ}\text{C}$, $+85,3^{\circ}\text{C}$, $+84,8^{\circ}\text{C}$, $+84,8^{\circ}\text{C}$, $+84,8^{\circ}\text{C}$ i $+84,3^{\circ}\text{C}$. Termogramy zostały otrzymane przy użyciu obiektywu 12° . Odległości wynoszą kolejno: 1, 2, 3, 4, 5 i 10 m. Korekta odległości została dokładnie ustawiona i działa, gdyż obiekt jest wystarczająco duży do skorygowania pomiaru.

17.6.4 Wielkość obiektu

Kolejna seria obrazów przedstawia ten sam obiekt, ale uzyskana została przy użyciu zwykłego obiektywu 24° . W tym przypadku uzyskane temperatury średnie ciała doskonale czarnego o temperaturze $+85^{\circ}\text{C}$ to kolejno: $+84,2^{\circ}\text{C}$, $+83,7^{\circ}\text{C}$, $+83,3^{\circ}\text{C}$, $+83,3^{\circ}\text{C}$, $+83,4^{\circ}\text{C}$ i $+78,4^{\circ}\text{C}$.

Ostatnia wartość ($+78,4^{\circ}\text{C}$) jest temperaturą maksymalną, gdyż obraz obiektu w tym przypadku nie wypełniał całego kółka pomiarowego. Oczywiście nie jest możliwe uzyskanie dokładnych wartości, jeśli obiekt jest zbyt mały. Odległość prawidłowo ustawiono na 10 m.

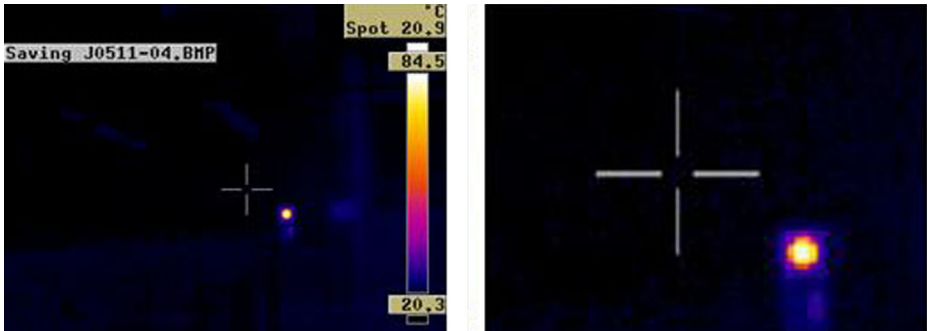
10714603.a3



Rysunek 17.20 Wskazania temperatury dla ciała doskonale czarnego o temperaturze +85°C przy wzrastających odległościach (obiektów 24°).

Przyczyną tego jest fakt, że istnieje ograniczenie minimalnej wielkości obiektu, zapewniającej poprawny pomiar temperatury. W przypadku wszystkich kamer firmy FLIR Systems użytkownik widzi, jaka powinna być minimalna wielkość obiektu. Poniżej przedstawiono obraz widziany w wizjerze kamery model 695. Miernik punktowy posiada otwór w środku, wyraźniej widoczny na obrazie po prawej stronie. Obraz obiektu musi być większy od otworu, gdyż w przeciwnym razie do obiektywu kamery docierać będzie promieniowanie od dużo chłodniejszych obiektów sąsiednich, znacznie zaniżając wynik pomiaru. W powyższym przypadku obiektu punktowego o temperaturze znacznie wyższej od temperatury otoczenia odczyt będzie zbyt niski.

10714703.a3



Rysunek 17.21 Obraz z wizjera kamery ThermoCAM 695

Wynika to z niedoskonałości układu optycznego i wielkości elementów detektora. Jest to zjawisko typowe dla wszystkich kamer termowizyjnych, którego nie można uniknąć.

17.7 *Praktyczne porady dla osób przeprowadzających badania termowizyjne*

W trakcie praktycznego użytkowania kamery można zauważyć pewne drobiazgi, które ułatwiają pracę. Poniżej przedstawiono pięć z nich na początek.

17.7.1 **Przejście z zimnego do ciepłego pomieszczenia**

Załóżmy, że używaliśmy kamery na zewnątrz, w temperaturze $+5^{\circ}\text{C}$. Teraz musimy kontynuować badania w pomieszczeniu. Osoby noszące okulary odruchowo wycierają szkła w celu usunięcia skroplonej wilgoci, gdyż w przeciwnym razie nic by nie widziały. To samo dzieje się z obiektywem kamery. Aby prawidłowo przeprowadzić pomiar należy odczekać, aż kamera wystarczająco się ogrzeje, by wilgoć wyparowała. Pozwoli to również na przystosowanie się wewnętrznego systemu kompensacji temperatury do zmienionych warunków.

17.7.2 **Ulewne deszcze**

Przy padającym deszczu nie zaleca się przeprowadzać badań, gdyż woda znacznie zmniejsza temperaturę powierzchniową badanego obiektu. Jednak czasem zachodzi konieczność skorzystania z kamery nawet przy mokrej pogodzie. Należy wówczas zabezpieczyć kamerę zwykłą przezroczystą torebką foliową z polietylenu. Tłumienie materiału torebki można skompensować, ustawiając odległość od obiektu tak, aby odczyt temperatury był taki sam, jak bez torebki. Niektóre modele kamer są wyposażone w oddzielną opcję **przepuszczalności zewnętrznego układu optycznego**.

17.7.3 **Emisyjność**

Należy określić emisyjność materiału badanego obiektu. W większości przypadków wartości takiej nie można znaleźć w tabelach. W takim przypadku należy użyć czarnej farby optycznej, Nextel Black Velvet. Należy pomalować niewielki fragment materiału badanego obiektu. Emisyjność farby optycznej zwykle wynosi 0,94. Należy pamiętać, że obiekt musi posiadać temperaturę różniącą się — zwykle wyższą — od temperatury otoczenia. Im większa różnica, tym lepsza dokładność obliczenia emisyjności. Różnica powinna wynosić co najmniej 20°C . Również inne farby dostępne na rynku są odporne na bardzo wysokie temperatury, do $+800^{\circ}\text{C}$. Jednak ich emisyjność może być niższa niż w przypadku czarnej farby optycznej.

Czasem pomalowanie powierzchni badanego obiektu nie jest możliwe. W takim przypadku można użyć taśmy. Cienka taśma, której emisyjność wcześniej określono, sprawdza się w większości przypadków i można ją później zerwać, bez niebezpieczeństwa uszkodzenia przedmiotu badania. Należy pamiętać, że niektóre taśmy są półprzezroczyste i z tego względu niezbyt dobrze nadają się do tego celu. Jedną z najlepszych taśm do tego celu jest taśma izolacyjna marki Scotch do użytku na zewnątrz pomieszczeń i w ujemnej temperaturze.

17.7.4 **Temperatura otoczenia (odbita temperatura pozorna)**

Dokonywany jest pomiar w sytuacji, gdy wpływ na wynik wywierają różne źródła gorąca. Należy wybrać właściwą wartość odbitej temperatury pozornej, aby wprowadzić ją do kamery i uzyskać jak najlepszą korekcję. Właściwa procedura jest następująca: ustaw emisyjność na wartość 1,0. Nastaw obiektyw kamery prawie na ostrość i, patrząc w kierunku przeciwnym od obiektu, zapisz jeden obraz. Za pomocą obszaru lub izotermy określ najbardziej prawdopodobną wartość średnią obrazu i użyj jej jako danej wejściowej temperatury otoczenia.

17.7.5 **Zbyt duża odległość od obiektu**

W pewnych sytuacjach może istnieć wątpliwość, czy kamera daje prawidłowy odczyt przy danej odległości. Praktyczną regułą odpowiednia dla obiektywu kamery mówi, aby pomnożyć wartość IFOV przez 3 (wartość IFOV określa kąt widzenia pojedynczego elementu detektora). Przykład: 25 stopni odpowiada ok. 437 miliradianom. Jeśli rozdzielczość kamery wynosi 120×120 pikseli, wówczas wartość IFOV wynosi $437/120 = 3,6$ miliradiana (3,6 mm/m), a współczynnik apertury plamki wynosi ok. $1000/(3 \times 3,6) = 92:1$. Oznacza to, że przy odległości 9,2 m szerokość obiektu musi wynosić co najmniej ok. 0,1 m, czyli 100 mm. Bezpieczną odległością będzie wówczas odległość mniejsza niż 9 metrów. Przy odległości 7–8 m pomiar powinien być prawidłowy.

18 Informacje o firmie FLIR Systems

Powstała w 1978 r. firma FLIR Systems zapisała się w historii jako pionier rozwoju systemów termowizyjnych. Jest światowym liderem w projektowaniu, wytwarzaniu i sprzedaży tych systemów, używanych do różnych celów w sektorze handlowym, przemysłowym i publicznym. Obecnie FLIR Systems łączy dorobek pięciu firm, które od 1958 r. osiągały znaczące sukcesy na rynku technologii termowizyjnych — szwedzkiej AGEMA Infrared Systems (dawniej AGA Infrared Systems), trzech amerykańskich Indigo Systems, FSI i Inframetrics oraz francuskiej Cedic. W listopadzie 2007 firma FLIR Systems zakupiła firmę Extex Instrument Systems.

7639608.a1

PATENT SPECIFICATION
DRAWINGS ATTACHED
Inventors: PER JOHAN LINDBERG and HANS GUNNER MALMBERG
1.057.624
Date of Application and First Complete Specifications: No. 15, 1982, No. 451,612.
Complete Specification Published: Feb. 1, 1982.
© Crown Copyright 1982.

Inventor's address: -184 PHL
St. Cl. -H 64 x 136



COMPLETE SPECIFICATION
Scanning Mechanism
This invention relates to scanning mechanisms and in particular to such mechanisms whereby electromagnetic radiation is presented and applied thereby to radiation-responsive means which values are modified by the radiation-responsive means can be modified.

It is an object of the present invention to provide an improved scanning mechanism to the character indicated.

Fig. 1 is a further object of the present invention to provide improved scanning mechanism for continuous and alternating scanning a field of view for scanning the energy levels in such field.

It is a further object of the present invention to provide a scanning mechanism for scanning a field of view of the present invention for continuous scanning the energy levels in a relatively small field.

According to the present invention there is provided a scanning mechanism for receiving electromagnetic radiation within the optical, infrared or other visible regions of the electromagnetic spectrum which includes a reflecting prism adapted to be rotated about its longitudinal axis and the end faces of the prism being positioned, each of which defines an even number of sides, of which opposite sides are parallel, collecting reflective surfaces being positioned on the inner surface of each of which system extends in the longitudinal axis of the prism, in an optically slanted substantially to the axis of the collecting reflective system through which radiation passing through the prism can be seen and a reflecting surface for reflecting the radiation back to the scanning aperture.

Other objects and features of the present invention will be apparent from the following and more detailed description of the accompanying drawings, in which:

Fig. 1 is a side view of a scanning prism with an arrangement of rays of electromagnetic radiation by the prism and the focusing of the rays at a fixed scanning aperture.

Fig. 2 is a view showing the scanning prism for various refractive indices of the prism.

Fig. 3 is a view showing the scanning surface for rays in one perpendicular plane for different indices of refraction of the prism.

The scanning mechanism of the present invention is particularly applicable to receiving electromagnetic radiation within the optical, ultra violet or infrared regions of the electromagnetic spectrum, the scanning mechanism also may be of a kind known in the art and such as is shown in the drawings.

Whereas the main difficulty in achieving high scanning speeds has been of a mechanical nature, the present invention uses a rotating refractive prism for fast scanning in one direction; scanning perpendicular to this direction is slower and can be accomplished by other means, for example by a tilting mirror in the collecting optic. This slower scanning can be accomplished by using the rotating axis of the prism. This

United States Patent Office

Patented May 31, 1988

1,232,898
SCANNING MECHANISM FOR RECEIVING ELECTROMAGNETIC RADIATION
Per Johan Lindberg, Helsingborg, Sweden, assignor to AGA AB, Helsingborg, Sweden.
Filed July 14, 1982, Ser. No. 15,642.
Class. 359, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 378, 379, 380, 381, 382, 383, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 400, 401, 402, 403, 404, 405, 406, 407, 408, 409, 410, 411, 412, 413, 414, 415, 416, 417, 418, 419, 420, 421, 422, 423, 424, 425, 426, 427, 428, 429, 430, 431, 432, 433, 434, 435, 436, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 446, 447, 448, 449, 450, 451, 452, 453, 454, 455, 456, 457, 458, 459, 460, 461, 462, 463, 464, 465, 466, 467, 468, 469, 470, 471, 472, 473, 474, 475, 476, 477, 478, 479, 480, 481, 482, 483, 484, 485, 486, 487, 488, 489, 490, 491, 492, 493, 494, 495, 496, 497, 498, 499, 500, 501, 502, 503, 504, 505, 506, 507, 508, 509, 510, 511, 512, 513, 514, 515, 516, 517, 518, 519, 520, 521, 522, 523, 524, 525, 526, 527, 528, 529, 530, 531, 532, 533, 534, 535, 536, 537, 538, 539, 540, 541, 542, 543, 544, 545, 546, 547, 548, 549, 550, 551, 552, 553, 554, 555, 556, 557, 558, 559, 560, 561, 562, 563, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 571, 572, 573, 574, 575, 576, 577, 578, 579, 580, 581, 582, 583, 584, 585, 586, 587, 588, 589, 590, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 601, 602, 603, 604, 605, 606, 607, 608, 609, 610, 611, 612, 613, 614, 615, 616, 617, 618, 619, 620, 621, 622, 623, 624, 625, 626, 627, 628, 629, 630, 631, 632, 633, 634, 635, 636, 637, 638, 639, 640, 641, 642, 643, 644, 645, 646, 647, 648, 649, 650, 651, 652, 653, 654, 655, 656, 657, 658, 659, 660, 661, 662, 663, 664, 665, 666, 667, 668, 669, 670, 671, 672, 673, 674, 675, 676, 677, 678, 679, 680, 681, 682, 683, 684, 685, 686, 687, 688, 689, 690, 691, 692, 693, 694, 695, 696, 697, 698, 699, 700, 701, 702, 703, 704, 705, 706, 707, 708, 709, 710, 711, 712, 713, 714, 715, 716, 717, 718, 719, 720, 721, 722, 723, 724, 725, 726, 727, 728, 729, 730, 731, 732, 733, 734, 735, 736, 737, 738, 739, 740, 741, 742, 743, 744, 745, 746, 747, 748, 749, 750, 751, 752, 753, 754, 755, 756, 757, 758, 759, 760, 761, 762, 763, 764, 765, 766, 767, 768, 769, 770, 771, 772, 773, 774, 775, 776, 777, 778, 779, 780, 781, 782, 783, 784, 785, 786, 787, 788, 789, 790, 791, 792, 793, 794, 795, 796, 797, 798, 799, 800, 801, 802, 803, 804, 805, 806, 807, 808, 809, 810, 811, 812, 813, 814, 815, 816, 817, 818, 819, 820, 821, 822, 823, 824, 825, 826, 827, 828, 829, 830, 831, 832, 833, 834, 835, 836, 837, 838, 839, 840, 841, 842, 843, 844, 845, 846, 847, 848, 849, 850, 851, 852, 853, 854, 855, 856, 857, 858, 859, 860, 861, 862, 863, 864, 865, 866, 867, 868, 869, 870, 871, 872, 873, 874, 875, 876, 877, 878, 879, 880, 881, 882, 883, 884, 885, 886, 887, 888, 889, 890, 891, 892, 893, 894, 895, 896, 897, 898, 899, 900, 901, 902, 903, 904, 905, 906, 907, 908, 909, 910, 911, 912, 913, 914, 915, 916, 917, 918, 919, 920, 921, 922, 923, 924, 925, 926, 927, 928, 929, 930, 931, 932, 933, 934, 935, 936, 937, 938, 939, 940, 941, 942, 943, 944, 945, 946, 947, 948, 949, 950, 951, 952, 953, 954, 955, 956, 957, 958, 959, 960, 961, 962, 963, 964, 965, 966, 967, 968, 969, 970, 971, 972, 973, 974, 975, 976, 977, 978, 979, 980, 981, 982, 983, 984, 985, 986, 987, 988, 989, 990, 991, 992, 993, 994, 995, 996, 997, 998, 999, 1000.

This invention relates to an improved optical scanning mechanism for receiving electromagnetic radiation and radiation-responsive means receiving such optical scanning.

It is an object of the invention to provide improved optical scanning mechanism of the character indicated.

It is another object of the invention to provide improved scanning mechanism for scanning a field of view of the present invention for continuous scanning the energy levels in a relatively small field.

It is a further object of the invention to provide means for optical-scanning of said field of view many times per second.

A further specific object is to provide means for more accurate and efficient scanning of a field of view, the "dwell" or interrupted scanning time being reduced to a minimum.

Other objects and various further features of novelty and invention will be outlined here or will occur to those skilled in the art from a reading of the following specification, in connection with the accompanying drawings.

Referring now to the principle of the invention.

FIG. 1 is a side view of a scanning prism having the indicated rays in said prism and the scanning surface on face for proper focusing of the field scanning aperture.

FIG. 2 is a diagram, which shows the scanning device on a function of the rotating angle of the prism for various indices of refraction of said prism.

FIG. 3 is a view showing said parallel image surface for rays in one perpendicular plane for different indices of refraction of the prism.

FIG. 4 is a side view showing the essential components of a complete scanning mechanism, and

FIG. 5 is a perspective view of a particular form of a scanning mechanism.

Briefly stated, one invention is in the following specification, characterized as an arrangement for presenting a field of view, which scanning mechanism is focused in one direction, whereby a scanning aperture is focused in one short time in the direction of scanning a field of view in a scanning in a direction essentially perpendicular to said scanning is slower than in the first mentioned direction and is accomplished by tilting the rotating axis of said prism. The resulting scanning pattern is like the pattern of camera television.

Said prism can be rotated very rapidly according to one invention and several thousands of scans per second can be accomplished. In this way one invention allows continuous scanning of said field of view many times per second exceeding the frame frequency of ordinary motion pictures.

Referring to the drawings the arrangement according to one invention is characterized by an image surface parallel to the longitudinal axis of said prism for a collecting optic 9 in FIGURE 4. Said prism is so rotated that the angle of incidence of the optical scanning spot on a certain ray tube, which is in one case 1 shown in FIG. 1. Said

prism has in one invention no prism number of sides and is rotated about an axis 2 as indicated by the arrow in FIG. 3, and is perpendicular to the optical axis 1.

The said scanning system can be used in a number of ways. It is a further object of the present invention to provide means for optical-scanning of said field of view many times per second.

FIG. 4 is a side view of a scanning aperture 4 is located through which a radiation passes in the radiation energy progressing along axis 1 and a collecting aperture 5 is located in the plane of said scanning aperture 4.

A line on said image surface 8 and which is a corner of said prism passes the scanning aperture 4 there is a substantially instantaneous return of the scan.

FIG. 5 is a perspective view of a scanning ray of radiation, having a maximum deviation from the optical axis of the optical axis 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100.

Rysunek 18.1 Dokumenty patentowe z wczesnych lat 60-tych

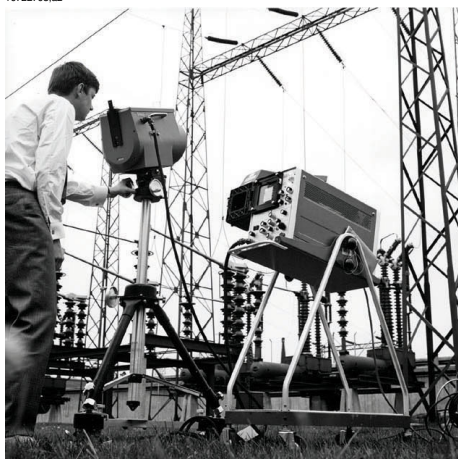
Firma sprzedała ponad 100 tys. kamer termowizyjnych na całym świecie. Inżynierzy do zastosowań, takich jak utrzymanie ruchu, badania i rozwój, badania nieniszczące, kontrola i automatyzacja procesów, systemy Machine Vision.

FLIR Systems ma trzy zakłady produkcyjne w Stanach Zjednoczonych (Portland, Boston, Santa Barbara) i jeden w Szwecji (Sztokholm), a od 2007 roku także w Tallinie w Estonii. Klienci na całym świecie są obsługiwani przez biura sprzedaży bezpośredniej

— w Belgii, Brazylii, Chinach, Francji, Hongkongu, Japonii, Niemczech, Stanach Zjednoczonych, Szwecji, Wielkiej Brytanii i Włoszech — a także rozbudowaną sieć agentów i dystrybutorów.

FLIR Systems nadaje kierunek rozwojowi branży kamer termowizyjnych. Przewidujemy zapotrzebowanie rynku, bezustannie udoskonalając nasze dotychczasowe produkty i opracowując nowe. Firma ma na swoim koncie takie kamienie milowe w rozwoju i konstrukcji produktów, jak chociażby wprowadzenie na rynek pierwszych zasilanych z akumulatorów kamer przenośnych do inspekcji instalacji przemysłowych czy pierwszej niechłodzonej kamery termowizyjnej.

10722703_a2



Rysunek 18.2 PO LEWEJ: Thermovision® Model 661 z 1969 r. Kamera ważyła około 25 kg, oscyloskop — 20 kg, a stojak — 15 kg. Ponadto operatorowi potrzebna była do pracy prądnica prądu przemiennego o napięciu 220 V oraz 10-litrowy zbiornik z ciekłym azotem. Na lewo od oscyloskopu widoczny jest moduł zewnętrzny Polaroid (6 kg). **PO PRAWIEJ:** FLIR i7 z 2009 r. Masa: 0,34 kg razem z akumulatorem.

FLIR Systems wytwarza wszystkie istotne podzespoły mechaniczne i elektroniczne poszczególnych układów kamery. Od projektowania i produkcji detektorów, poprzez obiektywy i elektronikę układów, po testowanie końcowe i wzorcowanie — wszystkie etapy produkcji są realizowane i nadzorowane przez naszych inżynierów. Dogłębna wiedza i doświadczenie tych specjalistów gwarantuje precyzję i niezawodność wszystkich istotnych podzespołów, które po zmontowaniu tworzą kamerę termowizyjną.

18.1 *Nie tylko kamery termowizyjne*

W firmie FLIR Systems zdajemy sobie sprawę, że nasza rola wykracza poza wytwarzanie najlepszych systemów kamer termowizyjnych. Postawiliśmy sobie za cel umożliwienie wszystkim użytkownikom naszych systemów kamer termowizyjnych

zwiększenia wydajności pracy poprzez udostępnienie im najlepszego pakietu oprogramowania kamery. Sami opracowujemy oprogramowanie przeznaczone specjalnie na potrzeby takich dziedzin, jak konserwacja profilaktyczna, badania i rozwój oraz monitorowanie procesów. Większa część oprogramowania jest dostępna w wielu językach.

Dla wszystkich naszych kamer termowizyjnych oferujemy bogatą gamę akcesoriów pozwalających przystosować posiadany przez użytkownika sprzęt do najbardziej wymagających zastosowań termograficznych.

18.2 *Dzielimy się naszą wiedzą*

Chociaż nasze kamery są projektowane w taki sposób, aby były maksymalnie przyjazne dla użytkownika, w termografii nie wystarczy znajomość sposobu obsługi kamery. Dlatego też firma FLIR Systems powołała do życia ośrodek szkoleń w zakresie termografii ITC (Infrared Training Center), będący odrębną jednostką organizacyjną oferującą certyfikowane kursy szkoleniowe. Uczestnictwo w jednym z kursów ITC pozwala nabyć umiejętności praktyczne.

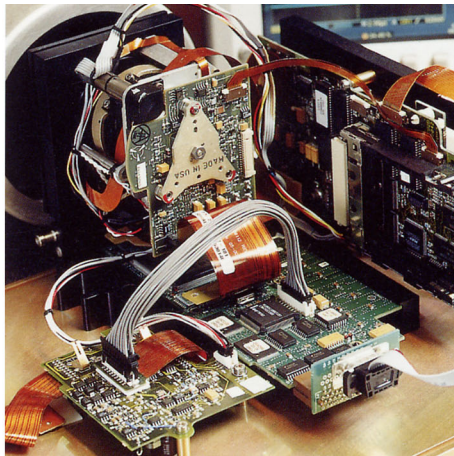
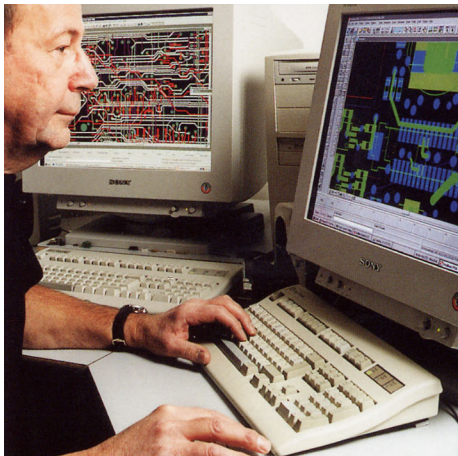
Personel ITC zapewnia pomoc w praktycznym wykorzystaniu teorii termografii w konkretnych zastosowaniach.

18.3 *Obsługa klientów*

FLIR Systems posiada ogólnosiwiatową sieć serwisową kamer. W przypadku jakiegokolwiek problemu z kamerą lokalne centra serwisowe dysponują odpowiednim sprzętem i wiedzą, aby rozwiązać go w jak najkrótszym czasie. Dzięki temu nie trzeba wysyłać kamery na drugi koniec świata ani rozmawiać z kimś, kto mówi w innym języku.

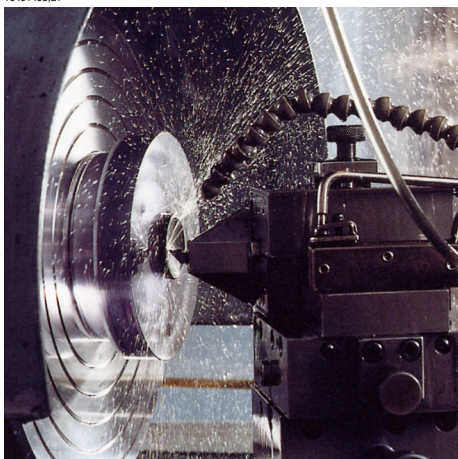
18.4 Kilka fotografii zrobionych w naszych zakładach

10401303.a1



Rysunek 18.3 PO LEWEJ: Prace nad układami elektronicznymi; **PO PRAWEJ:** Testowanie detektora FPA

10401403.a1



Rysunek 18.4 PO LEWEJ: Tokarka diamentowa; **PO PRAWEJ:** Polerowanie soczewki

10401503.a1



Rysunek 18.5 PO LEWEJ: Testowanie kamer termowizyjnych w komorze klimatycznej; **PO PRAWEJ:** Robot do testowania i kalibracji kamer

Termin lub wyrażenie	Objaśnienie
absorpcja (współczynnik absorpcji)	Stosunek ilości promieniowania pochłanianego przez obiekt do ilości promieniowania padającego. Wartość z przedziału od 0 do 1.
atmosfera	Gazy wypełniające przestrzeń między mierzonym obiektem a kamerą; zwykle powietrze.
automatyczna paleta	Obraz termowizyjny prezentowany jest przez nierównomierny rozkład kolorów, przez co jednocześnie widoczne są zimne i gorące objekty.
automatyczne dostrajanie	Funkcja powodująca wykonanie przez kamerę wewnętrznej korekcji obrazu.
ciało czarne	Obiekt w ogóle nie odbijający promieniowania. Cała emisja promieniowania z takiego obiektu jest spowodowana jego temperaturą.
ciało szare	Obiekt emitujący stały ułamek energii ciała czarnego dla każdej długości fali.
dostrajanie ciągłe	Funkcja dostrajania obrazu. Jest aktywna przez cały czas, stale dopasowując jaskrawość i kontrast do zawartości obrazu.
dostrajanie ręczne	Sposób dostrajania obrazu polegający na ręcznej zmianie niektórych parametrów.
emisyjność (współczynnik emisyjności)	Ilość energii emitowanej z obiektu w stosunku do ilości wypromieniowywanej przez ciało czarne. Wartość z przedziału od 0 do 1.
emitancja	Ilość energii wypromieniowywanej z obiektu przypadająca na jednostkę czasu i powierzchni (W/m^2).
emitancja widmowa	Ilość energii wypromieniowywanej z obiektu przypadająca na jednostkę czasu, powierzchni i długości fali ($W/m^2/\mu m$).
filtr	Materiał przezroczysty tylko dla niektórych długości fal podczerwieni.
FOV	Pole widzenia: Kąt w płaszczyźnie poziomej, który można obserwować przez obiektyw termowizyjny.
FPA	Focal plane array - matryca pracująca w płaszczyźnie ogniskowej systemu. Typ detektora podczerwieni.
IFOV	Chwilowe pole widzenia: miara geometrycznej rozdzielczości kamery termowizyjnej.

Termin lub wyrażenie	Objaśnienie
IR	podczerwień
izoterma	Funkcja wyróżniająca fragmenty obrazu, których temperatura jest wyższa lub niższa od zadanych wartości lub mieści się w zadanych przedziałach.
izoterma przezroczysta	Izoterma prezentowana w postaci liniowo rozłożonych kolorów, w przeciwieństwie do izotermi pokrywającej wyróżnione części obrazu.
kolor nasycenia	Obszary obejmujące temperatury spoza bieżącego poziomu/zakresu ustawień są oznaczane kolorami nasycenia. Kolory nasycenia obejmują kolor 'nadmiaru' i kolor 'niedomiaru'. Istnieje także trzeci kolor nasycenia (czerwony), który oznacza, że wszystko jest nasycone dla detektora i wskazuje na ewentualną konieczność zmiany zakresu.
komora izotermiczna	Radiator w kształcie butelki o jednolitym rozkładzie temperatury, obserwowany przez sztykę.
konwekcja	Konwekcja to rodzaj wymiany ciepła, w którym ciecz jest wprawiana w ruch przez grawitację lub inną siłę, wskutek czego dochodzi do wymiany ciepła między danymi obszarami.
korekcja obrazu (wewnętrzna lub zewnętrzna)	Metoda kompensacji różnic w czułości, w poszczególnych częściach obrazów ruchomych, a także stabilizacji kamery.
Laser LocatIR	Zasilane elektrycznie źródło światła w kamerze, które emituje promieniowanie laserowe w postaci cienkiej, skupionej wiązki i wskazuje wybrane punkty na powierzchni obiektu przed kamerą.
luminancja energetyczna	Ilość energii wypromieniowywanej z obiektu przypadająca na jednostkę czasu, powierzchni i kąta (W/m^2).
moc promieniowania	Ilość energii wypromieniowywana z obiektu w jednostce czasu (W).
NETD	Temperaturowy równoważnik szumu. Miara poziomu zakłóceń obrazu w kamerze termowizyjnej.
obliczona transmisja atmosferyczna	Wartość transmisji obliczona na podstawie temperatury i wilgotności względnej powietrza oraz odległości od obiektu.
odbicie	Stosunek ilości promieniowania odbijanego przez obiekt do ilości promieniowania padającego. Wartość z przedziału od 0 do 1.
paleta	Zbiór kolorów używany do wyświetlania obrazu termowizyjnego.
parametry obiektu	Zbiór wartości opisujących obiekt oraz warunki, w których dokonano pomiaru tego obiektu (takie jak emisyjność, odbita temperatura pozorna, odległość itp.).

Termin lub wyrażenie	Objaśnienie
piksel	Słowo pochodzące od ang. <i>picture element</i> (element obrazu). Pojedynczy punkt obrazu.
podczerwień	Część niewidzialnego promieniowania o długości fali około 2–13 μm .
podwójna izoterma	Izoterma z dwoma pasmami kolorów zamiast jednego.
poziom	Środkowa wartość skali temperatury, zwykle wyrażana jako wartość sygnału.
promieniowanie	Proces emitowania energii elektromagnetycznej przez przedmiot lub gaz.
przewodzenie	Proces powodujący rozchodzenie się ciepła w materiale.
radiator	Urządzenie emitujące promieniowanie podczerwone.
radiator będący ciałem czarnym	Urządzenie emitujące promieniowanie podczerwone i mające właściwości ciała czarnego, używane do kalibracji kamer termowizyjnych.
radiator wnekowy	Radiator w kształcie butelki, pochłaniający wewnątrz promieniowanie wpadające przez szybkę.
różnica temperatur	Wartość będąca wynikiem odejmowania dwóch wartości temperatur.
skala temperatury	Bieżący sposób wyświetlania obrazu termowizyjnego. Opisana dwiema wartościami temperatury ograniczającymi zbiór kolorów.
sygnał obiektu	Wartość nieskalibrowana związana z ilością promieniowania odbieranego przez kamerę, pochodzącego od obiektu.
szacowana transmisja atmosferyczna	Wartość transmisji podawana przez użytkownika, zastępująca wartość obliczoną.
szum	Niepożądane drobne zakłócenia obrazu termowizyjnego.
środowisko	Przedmioty i gazy emitujące promieniowanie w kierunku obiektu, którego dotyczy pomiar.
temperatura barwowa	Temperatura, przy której kolor ciała czarnego odpowiada konkretnej barwie.
temperatura odniesienia	Temperatura, z którą mogą być porównywane zmierzone wartości.
termogram	obraz termowizyjny
transmisja (lub transmitancja) (współczynnik)	Gazy i ciała stałe mogą być w różnym stopniu przepuszczalne. Transmisja to ilość promieniowania podczerwonego, jaka przez nie przechodzi. Wartość z przedziału od 0 do 1.

Termin lub wyrażenie	Objaśnienie
wilgotność względna	Wilgotność względna odzwierciedla stosunek bieżącej masy pary wodnej obecnej w powietrzu do maksymalnego nasycenia powietrza parą wodną.
wizja	Tryb pracy kamery termowizyjnej, w którym obraz jest wyświetlany w świetle widzialnym. Tryb wizyjny jest przeciwieństwem trybu normalnego, czyli termograficznego. W trybie wizyjnym kamera przechwytuje tylko zwykłe obrazy, natomiast obrazy termograficzne są przechwytywane, gdy kamera działa w trybie termowizyjnym.
wskaźnik laserowy	Zasilane elektrycznie źródło światła w kamerze, które emituje promieniowanie laserowe w postaci cienkiej, skupionej wiązki i wskazuje wybrane punkty na powierzchni obiektu przed kamerą.
zakres	Zakres skali temperatur, zwykle wyrażany jako wartość sygnału.
zakres detektora	Są to ogólne ograniczenia wartości mierzonych przez kamerę termowizyjną. Kamery mogą działać w kilku zakresach. Zakres opisany jest dwiema temperaturami ciała czarnego ograniczającymi bieżący zakres kalibracji.
zakres temperatury	Są to ogólne ograniczenia wartości mierzonych przez kamerę termowizyjną. Kamery mogą działać w kilku zakresach. Zakres opisany jest dwiema temperaturami ciała czarnego ograniczającymi bieżący zakres kalibracji.
zewewnętrzny układ optyczny	Dodatkowe obiektywy, filtry, osłony termiczne itp., które mogą zostać umieszczone między kamerą a mierzonym obiektem.

20 Techniki pomiarów termowizyjnych

20.1 *Wprowadzenie*

Kamera termowizyjna dokonuje pomiarów i zobrazowania promieniowania podczerwonego pochodzącego z obiektu. Fakt, że wartość promieniowania jest funkcją temperatury powierzchni obiektu, umożliwia kamerze dokonanie obliczeń i zobrazowanie temperatur.

Energia odbierana przez kamerę nie zależy jedynie od temperatury obiektu, ale jest także funkcją emisyjności. Promieniowanie pochodzi także z otoczenia i jest ono odbijane przez obiekt. Na promieniowanie obiektu i promieniowanie odbite ma także wpływ absorpcja atmosfery.

Aby dokonać dokładnego pomiaru temperatury, niezbędne jest skompensowanie wpływu różnych źródeł promieniowania. Jest to dokonywane automatycznie przez kamerę, po wprowadzeniu do niej opisanych parametrów obiektu:

- emisyjność obiektu,
- Temperaturę otoczenia (odbitą temperaturę pozorną)
- odległość między obiektem a kamerą,
- wilgotność względną.
- Temperaturę atmosfery

20.2 *Emisyjność*

Najważniejszym parametrem obiektu, który należy poprawnie wprowadzić, jest jego emisyjność. Emisyjność jest, mówiąc w uproszczeniu, miarą intensywności promieniowania emitowanego z obiektu w stosunku do intensywności promieniowania emitowanego z ciała doskonale czarnego o tej samej temperaturze.

Materiały obiektów i ich obrobione powierzchnie charakteryzują się emisyjnością w zakresie od 0,1 do 0,95. Dobrze wypolerowane (lustrzane) powierzchnie mają emisyjność poniżej 0,1. Powierzchnie oksydowane lub pomalowane mają większe emisyjności. Farba olejna, niezależnie od jej koloru w świetle widzialnym, ma w obszarze podczerwieni emisyjność wynoszącą ponad 0,9. Skóra ludzka wykazuje emisyjność wynoszącą od 0,97 do 0,98.

Nieoksydowane metale są skrajnym przypadkiem połączenia doskonałej nieprzezroczystości i wysokiego współczynnika odbicia, który w niewielkim stopniu zależy od długości fali. Wskutek tego emisyjność metali jest niewielka, a jej wartość zwiększa się ze wzrostem temperatury. W przypadku niemetali emisyjność jest na ogół wysoka, a jej wartość zmniejsza się ze wzrostem temperatury.

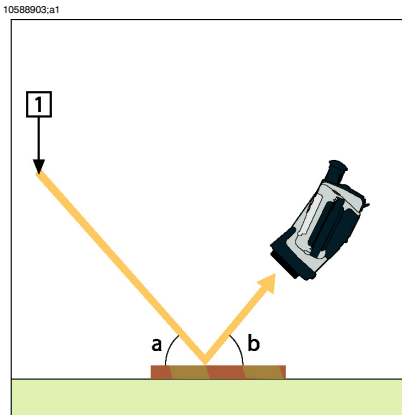
20.2.1 Badanie emisyjności próbki

20.2.1.1 Krok 1: Określanie temperatury otoczenia

Temperaturę otoczenia (odbity temperaturę pozorną) można ustalić jedną z dwóch metod:

20.2.1.1.1 Metoda 1: Metoda bezpośrednia

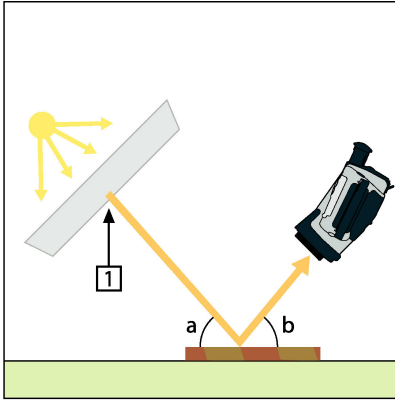
- 1 Należy odnaleźć prawdopodobne źródła odbicia, biorąc pod uwagę, że kąt padania = kąt odbicia ($a = b$).



Rysunek 20.1 1 = źródło odbicia

- 2 Jeśli źródło odbicia jest źródłem punktowym, należy je zmodyfikować, zasłaniając za pomocą kawałka kartonu.

10589103;a2



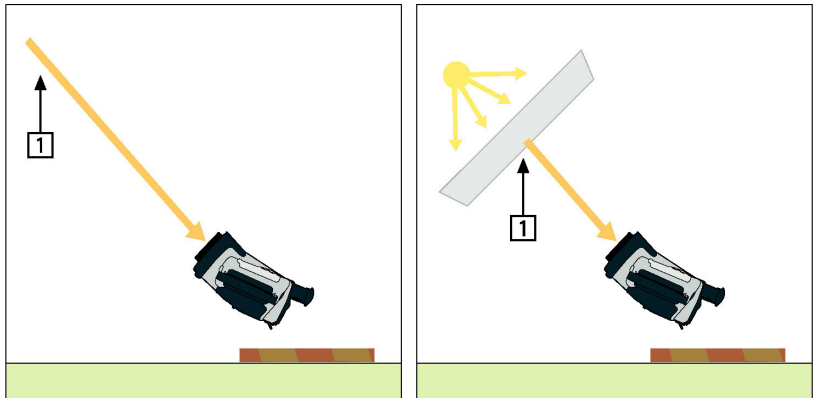
Rysunek 20.2 1 = źródło odbicia

- 3 Zmierz intensywność promieniowania (= temperaturę pozorną) ze źródła odbicia, korzystając z następujących ustawień:

- Emisyjność: 1.0
- D_{obj} : 0

Intensywność promieniowania można zmierzyć jedną z dwóch następujących metod:

10589003;a2



Rysunek 20.3 1 = źródło odbicia

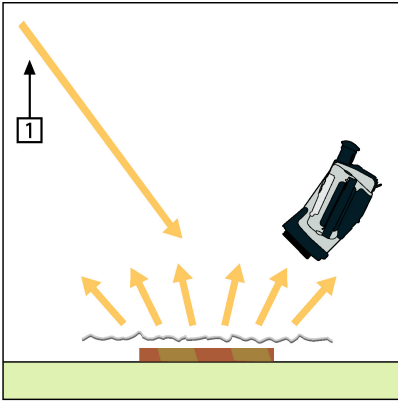
Uwaga: Użycie termopary do pomiaru odbitej temperatury pozorniej nie jest zalecane z dwóch istotnych powodów:

- Termopara nie mierzy intensywności promieniowania.

- Termopara wymaga bardzo dobrego kontaktu termicznego z powierzchnią, co zwykle osiąga się, przyklejając czujnik i zakrywając go izolatorem termicznym.

20.2.1.1.2 Metoda 2: Metoda z użyciem nisko emisyjnego obiektu

1	Oderwij duży płat folii aluminiowej.
2	Rozprostuj folię aluminiową i przymocuj ją do tektury tej samej wielkości.
3	Umieść tekturę przed obiektem, którego intensywność promieniowania chcesz zmierzyć. Strona z przymocowaną folią aluminiową musi być skierowana do kamery.
4	Ustaw emisyjność na wartość 1,0.
5	Zmierz temperaturę pozorną folii aluminiowej i zanotuj ją.



10727003;a2

Rysunek 20.4 Pomiar temperatury pozornej folii aluminiowej

20.2.1.2 Krok 2: Określanie emisyjności

1	Wybierz miejsce, w którym zostanie umieszczona próbka.
2	Określ i ustaw temperaturę otoczenia zgodnie z opisaną wcześniej procedurą.
3	Położ na próbce kawałek taśmy izolacyjnej o znanym, wysokim poziomie emisyjności.
4	Podgrzej próbkę do temperatury wyższej o co najmniej 20 K od temperatury pokojowej. Podgrzewanie musi być w miarę równomierne.
5	Uchwyć ostrość i automatycznie dostrój kamerę, po czym zatrzymaj obraz (stopklatka).
6	Wyreguluj Poziom i Zakres, aby uzyskać najlepszą jasność i kontrast obrazu.
7	Ustaw emisyjność na poziomie emisyjności taśmy (zazwyczaj 0,97).

8	Zmierz temperaturę taśmy, używając jednej z poniższych funkcji pomiarowych: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Izoterma (pozwala na określenie, do jakiej temperatury i jak równo została podgrzana próbka) ▪ Punkt (prostsza) ▪ Prostokąt śred. (przydatny na powierzchniach o zmiennej emisyjności).
9	Zapisz temperaturę.
10	Przenieś funkcję pomiarową na powierzchnię próbki.
11	Zmieniaj ustawienie emisyjności, aż odczytasz taką samą temperaturę, jak przy poprzednim pomiarze.
12	Zapisz emisyjność.

Uwaga:

- Unikaj wymuszonej konwekcji
- Znajdź otoczenie stabilne termicznie, nie generujące odbić punktowych.
- Użyj nieprzezroczystej taśmy wysokiej jakości, charakteryzującej się wysoką, pewną emisyjnością.
- Ta metoda opiera się na założeniu, że temperatura taśmy i powierzchni próbki jest taka sama. W przeciwnym wypadku pomiar emisyjności będzie błędny.

20.3 *Temperatura otoczenia (odbita temperatura pozorna)*

Ten parametr służy do kompensacji promieniowania odbijanego przez obiekt. Prawidłowe ustawienie i kompensacja odbitej temperatury pozornej są istotne w przypadku niskiej emisyjności i stosunkowo dużej różnicy pomiędzy temperaturą obiektu a temperaturą odbitą.

20.4 *Odległość*

Odległość to dystans dzielący obiekt i czoło obiektywu kamery. Parametr ten służy do kompensacji wpływu następujących dwóch zjawisk:

- Pochłanianie promieniowania obiektu przez atmosferę pomiędzy obiektem a kamerą.
- Wykrywanie przez kamerę promieniowania samej atmosfery

20.5 *Wilgotność względna*

Kamera może także kompensować zależność transmisji od wilgotności względnej atmosfery. W tym celu należy ustawić właściwą wartość wilgotności względnej. Dla małych odległości i normalnej wilgotności można pozostawić domyślną wartość wilgotności względnej wynoszącą 50%.

20.6 *Inne parametry*

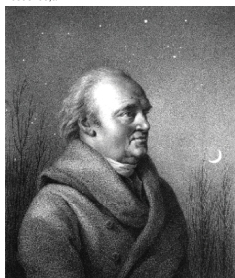
Ponadto niektóre kamery i programy firmy FLIR Systems, przeznaczone do analizy umożliwiają kompensację wpływu następujących parametrów:

- temperatury atmosferycznej – *t_f*. temperatury atmosfery między kamerą a obiektem;
- temperatury zewnętrznego układu optycznego – *t_f*. temperatury wszelkich obiektywów zewnętrznych lub okien znajdujących się przed kamerą;
- Transmitancja zewnętrznego układu optycznego – – *t_f*. przepuszczalność wszystkich obiektywów zewnętrznych lub okien znajdujących się przed kamerą

21 Historia techniki podczerwieni

Przed rokiem 1800 nie podejrzewano w ogóle obszaru podczerwieni w widmie magnetycznym. Pierwotne znaczenie obszaru widma przypisanego podczerwieni jako formy wypromieniowywania ciepła jest dziś prawdopodobnie mniej oczywiste niż w chwili odkrycia tego promieniowania przez Herschela w 1800 roku.

10398703.a1



Rysunek 21.1 Sir William Herschel (1738–1822)

Odkrycia dokonano przypadkowo w trakcie poszukiwań nowego materiału optycznego. Sir William Herschel - królewski astronom angielskiego króla Jerzego III, który zdobył sławę za odkrycie planety Uran, poszukiwał materiału pełniącego rolę filtra optycznego, który mógłby ograniczać jaskrawość obrazu słońca w teleskopach podczas obserwacji astronomicznych. Testując różne próbki kolorowego szkła w podobnym stopniu ograniczające jasność, zauważył, że niektóre przepuszczały tylko niewielką ilość ciepła słonecznego, natomiast inne tak dużo, że zaledwie kilkusekundowa obserwacja groziła uszkodzeniem wzroku.

Herschel wkrótce doszedł do wniosku, że konieczne jest przeprowadzenie systematycznych eksperymentów w celu znalezienia materiału jednocześnie zapewniającego pożądane ograniczenie jasności oraz przepuszczającego jak najmniej ciepła. Badania rozpoczął od powtórzenia eksperymentu Newtona z pryzmatem, zwracając jednak uwagę na efekt cieplny, a nie na rozkład kolorów w widmie. Najpierw zaciemnił atramentem zbiornik czułego termometru rtęciowego i używając tak skonstruowanego przyrządu jako detektora ciepła zaczął testować efekt cieplny, jaki poszczególne barwy widma wywierały na blacie stołu. W tym celu przepuszczał promieniowanie słoneczne przez szklany pryzmat. Inne termometry, umieszczone poza zasięgiem promieni słonecznych, służyły celom kontrolnym.

W miarę powolnego przemieszczania zaciemnionego termometru wzdłuż barw widma, od fioletu do czerwieni, odczyty temperatury równomiernie wzrastały. Zjawisko to nie było całkowicie nieoczekiwane, gdyż włoski badacz Landriani w eksperymencie przeprowadzonym w 1777 r. zaobserwował bardzo podobny efekt. Jednak to właśnie

Herschel jako pierwszy stwierdził, że musi istnieć punkt, w którym efekt cieplny osiąga maksimum. Z pomiarów wynikało, że nie jest możliwe zlokalizowanie tego punktu w części widzialnej widma.

10398903.a1



Rysunek 21.2 Marsilio Landriani (1746–1815)

Przesuwając termometr w ciemny obszar poza czerwony koniec widma, Herschel potwierdził, że efekt cieplny był w dalszym ciągu coraz intensywniejszy. Zlokalizowany punkt maksimum leżał daleko poza czerwienią, w obszarze zwanym dziś „długościami fal podczerwonych”.

Prezentując swoje odkrycie, Herschel nazwał nowy obszar widma elektromagnetycznego „widmem termometrycznym”. Samo promieniowanie nazywał „ciemnym ciepłem” lub po prostu „promieniowaniem niewidzialnym”. Paradoksalnie, wbrew powszechnemu przekonaniu, to nie Herschel jako pierwszy użył terminu „podczerwień”. Słowo to zaczęło pojawiać się w publikacjach drukowanych dopiero 75 lat później i do dziś nie jest jasne, komu należy przypisać jego autorstwo.

Zastosowanie przez Herschela szklanego pryzmatu w oryginalnym eksperymencie doprowadziło do sporów pomiędzy ówczesnymi naukowcami co do istnienia promieniowania podczerwonego. W celu potwierdzenia pierwszych wyników badacze używali różnych typów szkła, które charakteryzowały się odmienną przepuszczalnością w obszarze podczerwieni. W wyniku późniejszych eksperymentów Herschel zdał sobie sprawę z ograniczonej przepuszczalności szkła dla nowoodkrytego promieniowania cieplnego i wywnioskował, że układy optyczne dla podczerwieni muszą składać się wyłącznie z elementów odbijających promieniowanie (tj. lusterek płaskich i zakrzywionych). Na szczęście pogląd taki panował tylko do 1803 r., kiedy to włoski badacz Melloni dokonał istotnego odkrycia, a mianowicie stwierdził, że występująca w przyrodzie sól kamienna (NaCl) – dostępna w naturalnych kryształach na tyle dużych, by dało się z nich budować soczewki i pryzmaty – bardzo dobrze przepuszcza podczerwień. W efekcie sól kamienna stała się podstawowym materiałem optycznym w

układach operujących podczerwienią i utrzymała tę pozycję przez następne sto lat, dopóki w latach trzydziestych XX wieku nie opracowano metody otrzymywania kryształów syntetycznych.

10399103.a1



Rysunek 21.3 Macedonio Melloni (1798–1854)

Termometry były stosowane jako detektory promieniowania aż do 1829 r., kiedy to Nobili wynalazł termoparę. (termometr używany pierwotnie przez Herschela zapewniał dokładność $0,2^{\circ}\text{C}$ ($0,036^{\circ}\text{F}$), a późniejsze modele umożliwiały odczyt z dokładnością do $0,05^{\circ}\text{C}$ ($0,09^{\circ}\text{F}$). Wtedy miał miejsce przełom. Melloni połączył szereg termopar, tworząc pierwszy termostos. Nowe urządzenie wykrywało promieniowanie ciepłe z czułością co najmniej 40 razy większą niż najlepsze dostępne wówczas termometry i było w stanie wykryć ciepło wypromieniowywane przez człowieka stojącego w odległości trzech metrów.

Uzyskanie pierwszego tzw. „obrazu cieplnego” stało się możliwe w 1840 r. w wyniku prac Sir Johna Herschela, uznanego astronoma i syna odkrywcy podczerwieni. W wyniku zróżnicowanego parowania cienkiej warstwy oleju wystawionej na działanie skupionej niejednorodnej wiązki promieniowania cieplnego powstał obraz cieplny. Był on widoczny dzięki efektowi interferencji w warstwie oleju. Sir Johnowi udało się także uzyskać prymitywny zapis obrazu cieplnego na papierze, który nazwał „termografem”.

10399003,a2



Rysunek 21.4 Samuel P. Langley (1834–1906)

Powoli zwiększała się czułość detektorów podczerwieni. Kolejnym przełomem, którego dokonał Langley w 1880 r., było wynalezienie bolometru. Składał się on z cienkiego zaczerwionego paska platyny włączonego w jedno ramię mostka Wheatstone'a. Na pasku skupione było promieniowanie podczerwone, na które reagował czuły galwanometr. Przyrząd ten był podobno w stanie reagować na ciepło krowy stojącej w odległości 400 metrów.

Angielski uczoney Sir James Dewar jako pierwszy zastosował ciekłe gazy jako czynniki chłodzące (na przykład ciekły azot o temperaturze -196°C (-320.8°F)) w badaniach niskich temperatur. W roku 1892 wynalazł próżniowo izolowany pojemnik, w którym można było przechowywać ciekłe gazy nawet przez kilka dni. Popularny "termos", służący do przechowywania gorących i zimnych napojów, to rozwinięcie tamtego wynalazku.

W latach 1900-1920 wynalazcy na całym świecie "odkryli" podczerwień. Wydano szereg patentów na urządzenia służące do wykrywania ludzi, artylerii, samolotów, statków, a nawet gór lodowych. Pierwsze systemy operacyjne we współczesnym znaczeniu zaczęto opracowywać w czasie I Wojny Światowej, kiedy to obie strony prowadziły badania naukowe nad wojskowymi zastosowaniami podczerwieni. Programy te obejmowały eksperymentalne systemy wykrywania wtargnięć/wroga, zdalne detektory temperatury, mechanizmy bezpiecznej komunikacji i naprowadzania "latających torped". Testowany system poszukiwawczy bazujący na podczerwieni był w stanie wykryć zbliżający się samolot z odległości 1,5 km albo człowieka z odległości ponad 300 metrów.

Wszystkie najbardziej czułe systemy były zbudowane w oparciu o różne warianty koncepcji bolometru, jednak w okresie między wojnami opracowano dwa nowe, rewolucyjne detektory podczerwieni: przetwornik obrazu i detektor fotonowy. Przetwornikiem obrazu zainteresowali się najpierw wojskowi, gdyż po raz pierwszy w historii pozwalał on obserwatorowi dosłownie „widzieć w ciemności”. Jednak czułość prze-

twornika obrazu ograniczała się do obszaru bliskiej podczerwieni, a najbardziej interesujące cele militarne (tj. żołnierze wroga) musiały być oświetlane promieniami podczerwonymi. Ponieważ groziło to ujawnieniem pozycji obserwatora wrogowi dysponującemu podobnym wyposażeniem, nietrudno zrozumieć stopniowy spadek zainteresowania wojska przetwornikiem obrazu.

Taktyczne niedogodności tzw. aktywnych (tj. emitujących promieniowanie) systemów obrazowania termicznego były bezpośrednim powodem rozpoczęcia po II Wojnie Światowej intensywnych tajnych badań wojskowych nad możliwością opracowania „biernych” (nie emitujących promieniowania) systemów na bazie niezwykle czułego detektora fotonowy. W tym okresie przepisy dotyczące tajemnicy wojskowej całkowicie uniemożliwiały ujawnianie aktualnego stanu rozwoju techniki podczerwieni. Utajnienie zaczęto powoli eliminować dopiero w połowie lat 50. Od tej pory odpowiedniej jakości urządzenia do obrazowania termicznego stały się dostępne dla cywilnych ośrodków naukowych i przemysłowych.

22 Teoria termografii

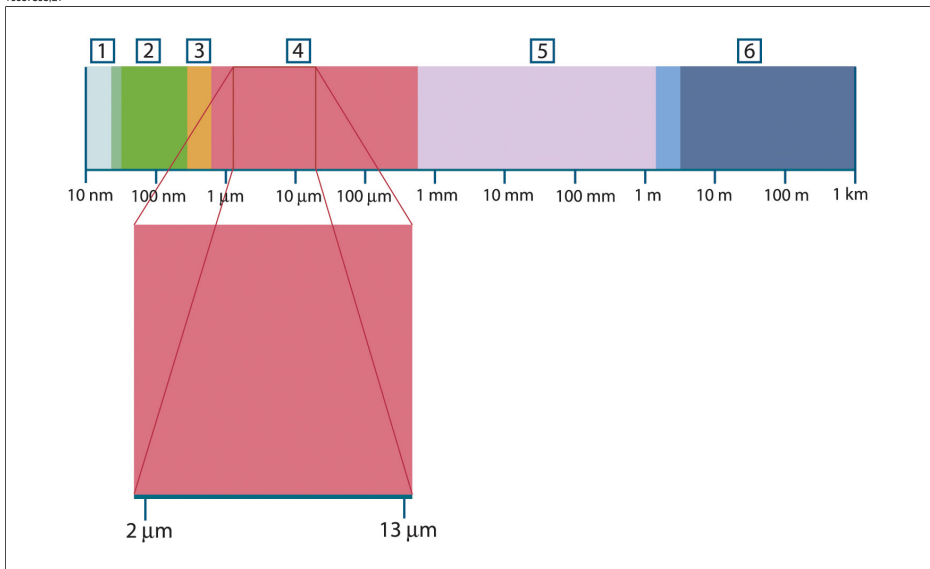
22.1 Wprowadzenie

Zagadnienie promieniowania podczerwonego i technik termograficznych nadal pozostaje zagadnieniem nowym dla wielu przyszłych użytkowników kamery termowizyjnej. W tym rozdziale przedstawiona jest teoria termografii.

22.2 Widmo elektromagnetyczne

Widmo elektromagnetyczne jest umownie podzielone na szereg obszarów długości fal, nazywanych *pasmami*, które rozróżniane są poprzez metody generowania i wykrywania promieniowania. Nie ma zasadniczej różnicy między promieniowaniem w różnych pasmach widma elektromagnetycznego. We wszystkich pasmach promieniowanie podlega tym samym prawom, a jedyną różnicą jest długość fali.

10067803.a1



Rysunek 22.1 Widmo elektromagnetyczne 1: promieniowanie Roentgena; 2: UV; 3: światło widzialne; 4: podczerwień; 5: mikrofałe; 6: fale radiowe.

W termografii wykorzystuje się pasmo podczerwieni. Na krótkofalowym końcu zakresu przypada granica pasma światła widzialnego, czyli głęboka czerwień. Na granicy długofalowej zakres podczerwieni łączy się z zakresem mikrofalowych fal radiowych (milimetrowych).

Pasmo podczerwieni jest często dzielone na cztery mniejsze pasma, których granice są również określone umownie. Są to: *bliska podczerwień* (0,75–3 μm), *średnia podczerwień* (3–6 μm), *daleka podczerwień* (6–15 μm) i *bardzo daleka podczerwień* (15–100 μm). Mimo że długości fal podawane są w μm (mikrometrach), to w tym obszarze widma nadal często używane są inne jednostki, *np.* nanometry (nm) i Ångströmy (Å).

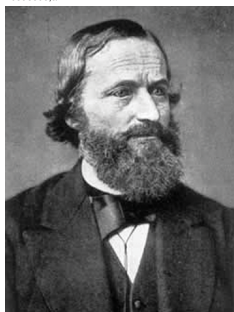
Zależność między wartościami wyrażonymi w różnych jednostkach jest następująca:

$$10\,000\ \text{Å} = 1\,000\ \text{nm} = 1\ \mu = 1\ \mu\text{m}$$

22.3 Promieniowanie ciała czarnego

Ciało czarne jest to obiekt, który pochłania całe padające na niego promieniowanie niezależnie od długości fali. Pozornie niewłaściwa 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.

10398903,a1



Rysunek 22.2 Gustav Robert Kirchhoff (1824–1887)

Budowa źródła będącego ciałem czarnym jest bardzo prosta. Charakterystyki promieniowania otworu w izotermicznej wnęce wykonanej z nieprzezroczystego materiału pochłaniającego promieniowanie niemal dokładnie odpowiada właściwościom ciała czarnego. Praktyczne wykorzystanie tej zasady do budowy idealnego pochłaniacza promieniowania sprowadza się do użycia pudełka nieprzepuszczającego światła na całej powierzchni z wyjątkiem otworu na jednym z boków. Całe promieniowanie wpadające przez otwór jest rozpraszane i pochłaniane wskutek wielokrotnych odbić, tak że jedynie niewielki jego ułamek może wydostać się z powrotem. Współczynnik pochłaniania otworu jest niemal równy współczynnikowi ciała czarnego i prawie jednakowy dla wszystkich długości fal.

Wyposażając taką izotermiczną wnękę w odpowiedni grzejnik uzyskuje się tak zwany *radiator wnękowy*. Równomiernie rozgrzewana izotermiczna wnęka generuje promieniowanie ciała czarnego, którego charakterystyka zależy wyłącznie od temperatury wnęki. Takie radiatory wnękowe są często używane w laboratoriach jako radiacyjne źródła odniesienia (wzorce) do kalibrowania przyrządów termograficznych, takich jak np. kamery firmy FLIR Systems.

Jeśli temperatura promieniowania ciała czarnego wzrośnie powyżej 525°C, źródło staje się widzialne i przestaje być postrzegane przez oczy jako czarne. Jest to początkowo czerwona temperatura barwowa promiennika, która wraz z dalszym wzrostem temperatury przechodzi w pomarańczową lub żółtą. W istocie tak zwana *temperatura barwowa* ciała jest zdefiniowana jako temperatura, do której musiałoby zostać ogrzane ciało czarne, aby wyglądało tak samo jak dane ciało.

Poniżej omówione zostały trzy wyrażenia opisujące promieniowanie emitowane z ciała czarnego.

22.3.1 Prawo Plancka

10399203.a1



Rysunek 22.3 Max Planck (1858–1947)

Max Planck (1858–1947) opisał rozkład widmowy promieniowania pochodzącego z ciała czarnego następującym wzorem:

$$W_{\lambda b} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 \left(e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1 \right)} \times 10^{-6} [\text{Watt} / \text{m}^2, \mu\text{m}]$$

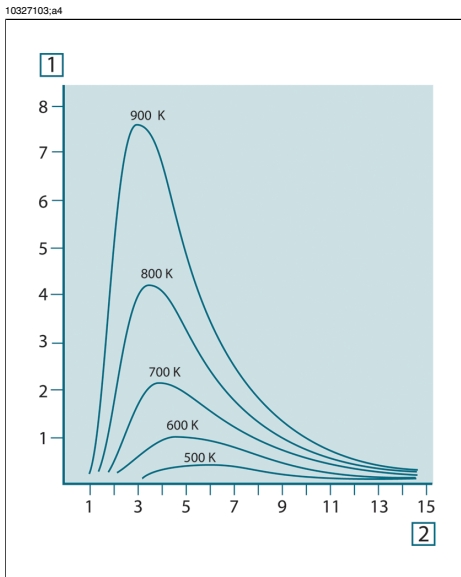
gdzie:

$W_{\lambda b}$	emitancja widmowa ciała czarnego dla długości fali λ .
c	prędkość światła = 3×10^8 m/s

h	stała Plancka = $6,6 \times 10^{-34}$ J s.
k	stała Boltzmanna = $1,4 \times 10^{-23}$ J/K.
T	temperatura bezwzględna (K) ciała czarnego.
λ	długość fali (μm).

☛ Stosowany jest współczynnik 10^{-6} , ponieważ emitancja widmowa jest wyrażana w $\text{W/m}^2, \mu\text{m}$.

Wzór Plancka przedstawiony w postaci wykresu dla różnych temperatur jest zbiorem krzywych. Na dowolnej krzywej Plancka emitancja widmowa wynosi zero przy $\lambda = 0$, a następnie gwałtownie rośnie do maksimum przy długości fali λ_{max} , za którą ponownie spada do zera przy bardzo dużych długościach fal. Im wyższa temperatura, tym mniejsze długości fal, przy których występuje maksimum.



Rysunek 22.4 Emitancja widmowa ciała czarnego wyrażona przez prawo Plancka dla różnych temperatur bezwzględnych. 1: Emitancja widmowa ($\text{W/cm}^2 \times 10^3(\mu\text{m})$); 2: Długość fali (μm)

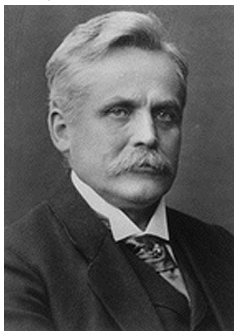
22.3.2 Prawo przesunięć Wiena

Różniczkując równanie Plancka względem λ i wyznaczając maksimum, otrzymujemy:

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{2898}{T} [\mu\text{m}]$$

Jest to wzór Wiena (od nazwiska *Wilhelma Wiena*, 1864–1928), który matematycznie wyraża znane zjawisko zmiany kolorów od czerwonego do żółtego w miarę wzrostu temperatury radiatora. Długość fali barwy jest taka sama, jak wyznaczona długość fali λ_{\max} . Dobrze przybliżenie wartości λ_{\max} dla danej temperatury ciała czarnego można uzyskać, stosując eksperymentalnie wyznaczoną skalę $3\,000/T\ \mu\text{m}$. A zatem w przypadku bardzo gorących gwiazd, takich jak Syriusz (11 000 K), emitujących światło niebieskawo-białe, szczyt emitancji widmowej przypada na niewidoczną część widma w obszarze ultrafioletu, przy długości fali $0,27\ \mu\text{m}$.

10399403,a1

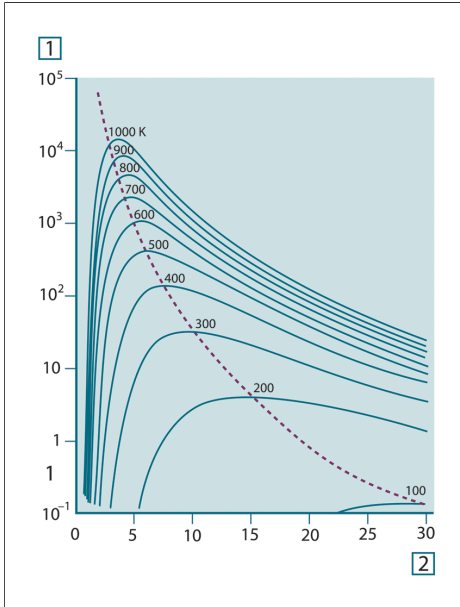


Rysunek 22.5 Wilhelm Wien (1864–1928)

Słońce (około 6 000 K) emituje światło żółte, a jego maksimum przypada na wartość $0,5\ \mu\text{m}$ pośrodku widma światła widzialnego.

W temperaturze pokojowej (300 K) szczyt emitancji przypada na długość fali $9,7\ \mu\text{m}$ i znajduje się w dalekiej podczerwieni, natomiast w temperaturze ciekłego azotu (77 K) maksimum znikomej emitancji przypada na długość fali $38\ \mu\text{m}$ i znajduje się w bardzo dalekiej podczerwieni.

10327203,a4



Rysunek 22.6 Krzywe Plancka przedstawione w skali półlogarytmicznej w zakresie od 100 do 1000 K. Linia kropkowana reprezentuje miejsca występowania maksimum emitancji dla każdej temperatury zgodnie z prawem przesunięć Wiena. 1: Emitancja widmowa ($W/cm^2(\mu m)$); 2: Długość fali (μm).

22.3.3 Prawo Stefana-Boltzmannna

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

$$W_b = \sigma T^4 \text{ [Watt/m}^2\text{]}$$

Jest to wzór Stefana-Boltzmannna (od nazwisk *Josef Stefan*, 1835–1893, i *Ludwig Boltzmann*, 1844–1906), z którego wynika, że całkowita moc emisyjna ciała czarnego jest proporcjonalna do czwartej potęgi jego temperatury bezwzględnej. W interpretacji graficznej W_b odpowiada obszarowi pod krzywą Plancka dla danej temperatury. Można wykazać, że emitancja energetyczna w przedziale od $\lambda = 0$ do λ_{max} wynosi jedynie 25% wartości całkowitej, co stanowi w przybliżeniu ilość promieniowania słonecznego, która leży w widzialnym zakresie widma.

10399303,a1



Rysunek 22.7 Josef Stefan (1835–1893) i Ludwig Boltzmann (1844–1906)

Używając wzoru Stefana-Boltzmanna do obliczenia mocy wypromieniowywanej przez ciało ludzkie w temperaturze 300 K na powierzchni około 2 m² otrzymujemy wartość 1 kW. Taka utrata ciepła byłaby możliwa, gdyby nie absorpcja promieniowania pochodzącego z otoczenia o temperaturze zbliżonej do temperatury ciała i oczywiście gdyby nie ubranie.

22.3.4 Ciała nieczarne emitujące promieniowanie

Dotychczas omówione zostały jedynie ciała czarne i ich promieniowanie. Jednak obiekty rzeczywiste niemal nigdy nie podlegają tym prawom w szerokim zakresie widma – mimo że ich zachowanie może być zbliżone do zachowania ciała czarnego w określonych przedziałach długości fal. Na przykład farba, która wydaje się idealnie *biała* w widzialnym zakresie widma, staje się *szara* przy długości fali około 2 μm, zaś powyżej 3 μm jest niemal *czarna*.

Mogą zachodzić trzy procesy, z powodu których obiekt rzeczywisty nie będzie zachowywał się tak, jak ciało czarne: część padającego promieniowania α może być pochłaniana, część ρ może być odbijana, a część τ może być przepuszczana. Ponieważ wszystkie te czynniki są w mniejszym lub większym stopniu zależne od długości fali, użyto indeksu λ , aby podkreślić zależność ich definicji od widma. A zatem:

- Widmowy współczynnik pochłaniania α_λ = stosunek mocy pochłanianej przez ciało do mocy padającej na nie.
- Widmowy współczynnik odbicia ρ_λ = stosunek mocy odbitej przez ciało do mocy padającej na nie.
- Widmowy współczynnik przepuszczania τ_λ = stosunek mocy przechodzącej przez ciało do mocy padającej na nie.

Suma tych trzech czynników dla dowolnej długości fali musi być równa jeden, stąd zależność:

$$\alpha_\lambda + \rho_\lambda + \tau_\lambda = 1$$

Dla materiałów nieprzezroczystych $\tau_\lambda = 0$ równanie upraszcza się więc do postaci:

$$\alpha_\lambda + \rho_\lambda = 1$$

Kolejny współczynnik, nazywany emisyjnością, wyraża ułamek ε emitancji ciała czarnego wygenerowany przez ciało o określonej temperaturze. Mamy zatem definicję:

Emisyjność widmowa $\varepsilon_\lambda =$ stosunek emitancji widmowej ciała do emitancji ciała czarnego w tej samej temperaturze i dla tej samej długości fali.

W zapisie matematycznym wartość ta może być wyrażona jako stosunek emitancji widmowej ciała do emitancji ciała czarnego:

$$\varepsilon_\lambda = \frac{W_{\lambda a}}{W_{\lambda b}}$$

Istnieją trzy rodzaje źródeł promieniowania, różniące się sposobem, w jaki emitancja każdego z nich zależy od długości fali.

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

Zgodnie z prawem Kirchhoffa dla dowolnego materiału emisyjność widmowa i pochłanianie widmowa ciała są sobie równe dla dowolnej jednakowej temperatury i długości fali. A zatem:

$$\varepsilon_\lambda = \alpha_\lambda$$

Dla ciała nieprzezroczystego otrzymujemy (ponieważ $\alpha_\lambda + \rho_\lambda = 1$):

$$\varepsilon_\lambda + \rho_\lambda = 1$$

Dla dobrze wypolerowanych materiałów ε_λ zbliża się do zera, tak więc dla materiału doskonale odbijającego (tzn. doskonałego lustra) mamy:

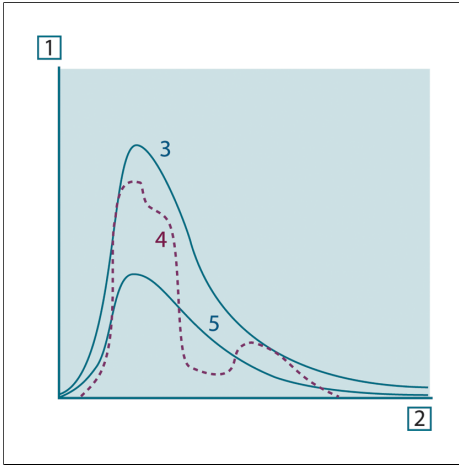
$$\rho_\lambda = 1$$

Dla ciała szarego wzór Stefana-Boltzmann'a przyjmuje postać:

$$W = \varepsilon \sigma T^4 \text{ [Watt/m}^2\text{]}$$

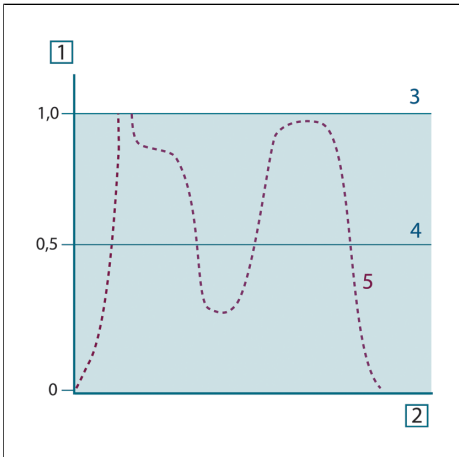
Oznacza to, że całkowita moc emitowana przez ciało szare jest równa mocy ciała czarnego w tej samej temperaturze pomniejszonej proporcjonalnie do wartości ε dla ciała szarego.

10401203,a2



Rysunek 22.8 Emitancja widmowa dla trzech typów radiatorów. 1: Emitancja widmowa; 2: Długość fali; 3: Ciało czarne; 4: Radiator selektywny; 5: Ciało szare.

10327303,a4



Rysunek 22.9 Emisyjność widmowa dla trzech typów radiatorów. 1: Emisyjność widmowa; 2: Długość fali; 3: Ciało czarne; 4: Ciało szare; 5: Radiator selektywny.

22.4 *Materiały częściowo przezroczyste w podczerwieni*

Rozważmy teraz niemetaliczne półprzezroczyste ciało, na przykład w postaci grubej płaskiej płyty z plastiku. Gdy płyta jest ogrzewana, promieniowanie powstające w jej wnętrzu musi pokonać drogę do powierzchni, w czasie której jest częściowo pochłaniane. Ponadto po dotarciu do powierzchni część promieniowania jest odbijana z powrotem do wnętrza. Odbite do wewnątrz promieniowanie jest także częściowo

pochłaniane, ale jego część dociera do przeciwległej powierzchni; większość tego promieniowania ucieka na zewnątrz, ale część jest ponownie odbijana do wnętrza. Mimo że wielokrotne odbicia są coraz słabsze musimy je zsumować przy wyznaczaniu całkowitej emitancji płyty. Po zsumowaniu otrzymanego szeregu geometrycznego otrzymujemy emisyjność płyty częściowo przezroczystej:

$$\varepsilon_{\lambda} = \frac{(1 - \rho_{\lambda})(1 - \tau_{\lambda})}{1 - \rho_{\lambda}\tau_{\lambda}}$$

Gdy płyta staje się nieprzezroczysta, wzór ten redukuje się do postaci:

$$\varepsilon_{\lambda} = 1 - \rho_{\lambda}$$

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

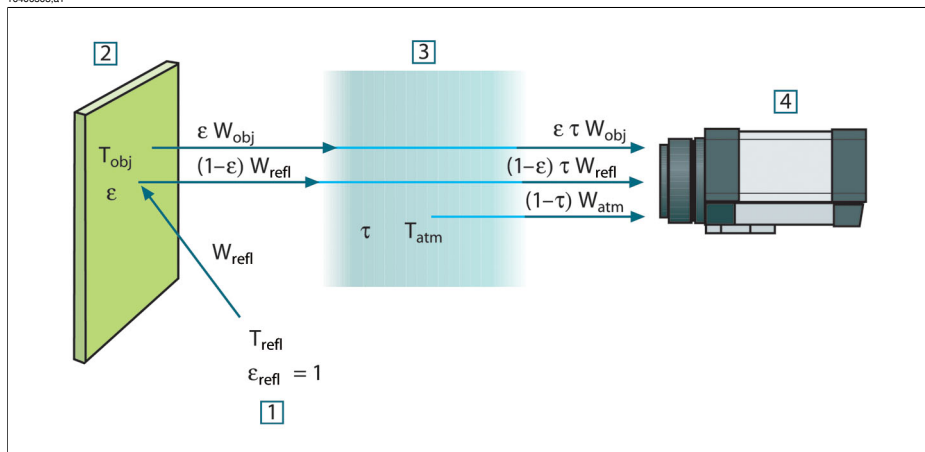
23 Wzór będący podstawą pomiaru

Jak już wspomniano, podczas obserwacji do kamery dociera nie tylko promieniowanie pochodzące z samego obiektu. Kamera zbiera także promieniowanie z otoczenia, odbite od powierzchni obiektu. Oba składniki promieniowania są w pewnym stopniu tłumione przez atmosferę znajdującą się na drodze pomiaru. Do tego dochodzi jeszcze promieniowanie z atmosfery.

Ten opis sytuacji pomiarowej, przedstawiony poniżej na rysunku, stanowi dość dokładne odzwierciedlenie rzeczywistych warunków. Do czynników nieuwzględnionych należą np. światło słoneczne rozpraszane w atmosferze lub promieniowanie nieużyteczne pochodzące z silnych źródeł znajdujących się poza obszarem obserwacji. Tego rodzaju zakłócenia są trudne do oszacowania. Na szczęście w większości przypadków są na tyle małe, że można je pominąć. Sytuacje pomiarowe, w których dodatkowe zakłócenia nie mogą zostać pominięte, są na ogół oczywiste, przynajmniej dla przeszkolonego operatora. W takim wypadku operator musi zmienić układ pomiarowy tak, aby uniknąć zakłóceń, np. zmieniając kierunek obserwacji, ekranując silne źródła promieniowania itp.

Zgodnie z powyższym opisem, korzystając z zamieszczonego poniżej rysunku, możemy wyprowadzić wzór na obliczanie temperatury obiektu na podstawie sygnału ze skalibrowanej kamery.

10400503.a1



Rysunek 23.1 Ogólny schemat sytuacji w pomiarach termograficznych. 1: Otoczenie. 2: Obiekt. 3: Atmosfera. 4: Kamera.

Założmy, że odbierana moc promieniowania W pochodzącego z ciała czarnego o temperaturze T_{source} znajdującego się w niewielkiej odległości powoduje wygenerowanie w kamerze sygnału U_{source} , który jest proporcjonalny do mocy (kamera o charakterystyce liniowej). Możemy teraz zapisać (równanie 1):

$$U_{source} = CW(T_{source})$$

lub, w zapisie uproszczonym:

$$U_{source} = CW_{source}$$

gdzie C jest stałą.

Gdyby źródło było ciałem szarym o emitancji ε , odbierane promieniowanie byłoby równe odpowiednio εW_{source} .

Możemy teraz wypisać trzy składniki mocy promieniowania:

1 – *Emisja z obiektu* = $\varepsilon\tau W_{obj}$, gdzie ε jest emitancją obiektu, a τ jest transmitancją atmosfery. Temperatura obiektu wynosi T_{obj} .

2 – *Emisja odbita ze źródeł w otoczeniu* = $(1 - \varepsilon)\tau W_{refl}$, gdzie $(1 - \varepsilon)$ jest odbijalnością obiektu. Temperatura źródeł w otoczeniu wynosi T_{refl} .

Przyjęto, że temperatura T_{refl} jest taka sama dla wszystkich powierzchni emitujących promieniowanie znajdujących się w półkuli widzianej z punktu na powierzchni obiektu. Oczywiście czasami jest to uproszczenie rzeczywistej sytuacji. Uproszczenie to jest jednak niezbędne dla uzyskania przydatnego wzoru, a zmiennej T_{refl} można – przynajmniej teoretycznie – nadać wartość reprezentującą efektywną temperaturę złożonego otoczenia.

Należy także zwrócić uwagę, że przyjęliśmy, iż emitancja otoczenia = 1. Założenie takie jest poprawne zgodnie z prawem Kirchhoffa. Całe promieniowanie padające na powierzchnie w otoczeniu zostanie w końcu wchłonięte przez te same powierzchnie. A zatem emitancja = 1. (Należy zauważyć, że w tym ostatnim wyjaśnieniu rozpatrywaliśmy całą sferę otaczającą obiekt).

3 – *Emisja z atmosfery* = $(1 - \tau)\tau W_{atm}$, gdzie $(1 - \tau)$ jest emitancją atmosfery. Temperatura atmosfery wynosi T_{atm} .

Możemy teraz zapisać całkowitą odbieraną moc promieniowania (równanie 2):

$$W_{tot} = \varepsilon\tau W_{obj} + (1 - \varepsilon)\tau W_{refl} + (1 - \tau)W_{atm}$$

Każdy człon mnożymy przez stałą C z równania 1 i zastępujemy iloczyn CW odpowiednimi wartościami U , zgodnie z tym samym równaniem, uzyskując (równanie 3):

$$U_{tot} = \varepsilon\tau U_{obj} + (1 - \varepsilon)\tau U_{refl} + (1 - \tau)U_{atm}$$

Rozwiązujemy równanie 3 ze względu na U_{obj} (równanie 4):

$$U_{obj} = \frac{1}{\varepsilon\tau} U_{tot} - \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon} U_{refl} - \frac{1 - \tau}{\varepsilon\tau} U_{atm}$$

Jest to ogólny wzór pomiarowy używany we wszystkich urządzeniach termograficznych firmy FLIR Systems. We wzorze występują następujące napięcia:

Rysunek 23.2 Napięcia

U_{obj}	Obliczone napięcie wyjściowe z kamery dla ciała czarnego o temperaturze T_{obj} tj. napięcie, które można bezpośrednio przekształcić w rzeczywistą temperaturę obiektu.
U_{tot}	Rzeczywiste zmierzone napięcie wyjściowe z kamery.
U_{refl}	Teoretyczne napięcie wyjściowe z kamery dla ciała czarnego o temperaturze T_{refl} zgodnie z kalibracją.
U_{atm}	Teoretyczne napięcie wyjściowe z kamery dla ciała czarnego o temperaturze T_{atm} zgodnie z kalibracją.

Operator musi podać szereg wartości parametrów niezbędnych do wykonania obliczeń:

- emitancję obiektu ε ,
- wilgotność względną,
- T_{atm}
- odległość obiektu (D_{obj})
- (skuteczną) temperaturę otoczenia obiektu lub odbitą temperaturę otoczenia T_{refl} oraz
- temperaturę atmosfery T_{atm}

Konieczność podania tych parametrów może być czasami bardzo kłopotliwa dla operatora, ponieważ nie istnieją zwykle proste sposoby na dokładne określenie emitancji i transmitancji atmosfery w rzeczywistej sytuacji. Te dwie temperatury sprawiają na ogół mniej problemów, jeśli w otoczeniu nie ma dużych i silnych źródeł promieniowania.

W związku z tym pojawia się pytanie: Na ile ważna jest znajomość poprawnych wartości tych parametrów? W tym kontekście interesujące może być przeanalizowanie kilku różnych sytuacji pomiarowych i porównanie względnych wielkości trzech członów promieniowania. Pozwoli to ocenić, które parametry mają największe znaczenie w poszczególnych sytuacjach.

Poniższe liczby ilustrują względne wielkości trzech składników promieniowania dla trzech różnych temperatur obiektu, dwóch emitancji i dwóch zakresów widma: SW i LW. Pozostałe parametry mają następujące stałe wartości:

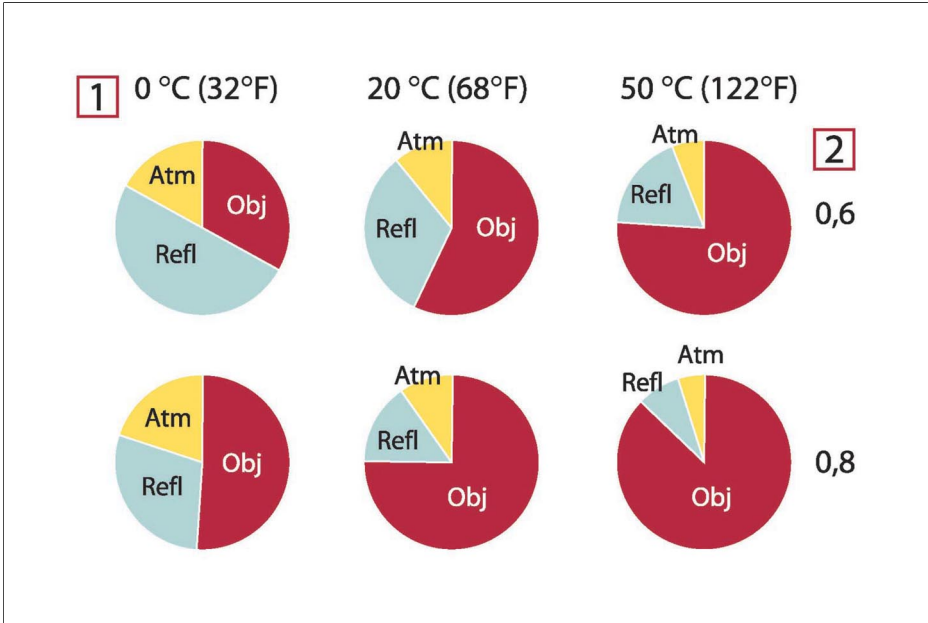
- $\tau = 0.88$
- $T_{\text{refl}} = +20^{\circ}\text{C}$
- $T_{\text{atm}} = +20^{\circ}\text{C}$

Pomiar niskich temperatur obiektu będzie oczywiście trudniejszy niż pomiar wysokich temperatur, gdyż „zakłócające” źródła promieniowania są względnie o wiele silniejsze w pierwszym przypadku. Przy niskiej emitancji obiektu sytuacja stanie się jeszcze trudniejsza.

Na koniec musimy odpowiedzieć na pytanie o dopuszczalność użycia krzywej kalibracji ponad najwyższym punktem kalibracji, czyli o dopuszczalność ekstrapolacji. Wyobraźmy sobie, że w określonej sytuacji zmierzone $U_{\text{tot}} = 4,5 \text{ V}$. Najwyższy punkt kalibracji dla kamery przypadał w pobliżu 4,1 V, na wartość nieznaną operatorowi. A zatem nawet jeśli obiekt byłby ciałem czarnym, tj. $U_{\text{obj}} = U_{\text{tot}}$, to i tak podczas zamiany wartości 4,5 V na temperaturę faktycznie dokonujemy ekstrapolacji krzywej kalibracji.

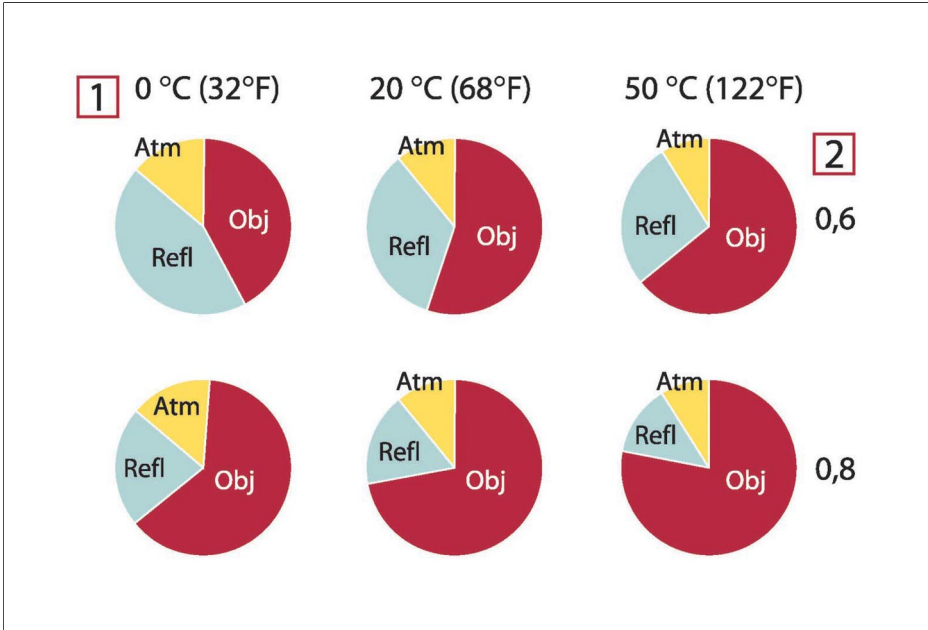
Przyjmijmy teraz, że obiekt nie jest ciałem czarnym, a jego emitancja wynosi 0,75, zaś transmitancja wynosi 0,92. Zakładamy także, że drugi i trzeci człon równania 4 sumują się do 0,5 V. Obliczając U_{obj} z równania 4 otrzymujemy $U_{\text{obj}} = 4,5 / 0,75 / 0,92 - 0,5 = 6,0$. Jest to dość daleko idąca ekstrapolacja, zwłaszcza jeśli wziąć pod uwagę, że wzmacniacz sygnału wideo może ograniczać sygnał wyjściowy do 5 V. Należy jednak zauważyć, że zastosowanie krzywej kalibracji jest procedurą teoretyczną, która nie podlega ograniczeniom elektronicznym ani żadnym innym. Zakładamy, że jeśli sygnał w kamerze nie podlegałby ograniczeniom, a kamera byłaby skalibrowana daleko ponad wartość 5 V, uzyskana krzywa byłaby bardzo podobna do naszej rzeczywistej krzywej poddanej ekstrapolacji ponad wartość 4,1 V, o ile algorytm kalibracji bazowałby na fizycznym opisie zjawisk promieniowania, jak ma to miejsce w przypadku algorytmu firmy FLIR Systems. Oczywiście tego rodzaju ekstrapolacje muszą podlegać ograniczeniom.

10400603.a2



Rysunek 23.3 Względne wielkości źródeł promieniowania w zmiennych warunkach pomiarowych (kamera SW). **1:** Temperatura obiektu; **2:** Emitancja; **Obj:** Promieniowanie obiektu; **Refl:** Pozorna temperatura odbita; **Atm:** temperatura powietrza. Parametry stałe: $\tau = 0,88$; $T_{refl} = 20^{\circ}\text{C}$; $T_{atm} = 20^{\circ}\text{C}$.

10400703,a2



Rysunek 23.4 Względne wielkości źródeł promieniowania w zmiennych warunkach pomiarowych (kamera LW). **1:** Temperatura obiektu; **2:** Emitancja; **Obj:** Promieniowanie obiektu; **Refl:** Odbita temperatura pozorna; **Atm:** temperatura powietrza. Parametry stałe: $\tau = 0,88$; $T_{\text{refl}} = 20^\circ\text{C}$; $T_{\text{atm}} = 20^\circ\text{C}$.

24 Tabele emisyjności

W tym rozdziale przedstawiono zestawienie danych dotyczących emisyjności pochodzących z literatury przedmiotu oraz z pomiarów przeprowadzonych przez firmę FLIR Systems.

24.1 Bibliografia

1	Mikaél A. Bramson: <i>Infrared Radiation, A Handbook for Applications</i> , Plenum press, N.Y.
2	William L. Wolfe, George J. Zissis: <i>The Infrared Handbook</i> , Office of Naval Research, Department of Navy, Washington, D.C.
3	Madding, R. P.: <i>Thermographic Instruments and systems</i> . Madison, Wisconsin: University of Wisconsin – Extension, Department of Engineering and Applied Science.
4	William L. Wolfe: <i>Handbook of Military Infrared Technology</i> , Office of Naval Research, Department of Navy, Washington, D.C.
5	Jones, Smith, Probert: <i>External thermography of buildings...</i> , Proc. of the Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, vol.110, Industrial and Civil Applications of Infrared Technology, June 1977 London.
6	Paljak, Pettersson: <i>Thermography of Buildings</i> , Swedish Building Research Institute, Stockholm 1972.
7	Vlcek, J.: <i>Determination of emissivity with imaging radiometers and some emissivities at $\lambda = 5 \mu\text{m}$</i> . Photogrammetric Engineering and Remote Sensing.
8	Kern: <i>Evaluation of infrared emission of clouds and ground as measured by weather satellites</i> , Defence Documentation Center, AD 617 417.
9	Öhman, Claes: <i>Emittansmätningar med AGEMA E-Box</i> . Teknisk rapport, AGEMA 1999. (Emittance measurements using AGEMA E-Box. Technical report, AGEMA 1999.)
10	Mattei, S., Tang-Kwor, E: <i>Emissivity measurements for Nextel Velvet coating 811-21 between -36°C AND 82°C</i> .
11	Lohrengel & Todtenhaupt (1996)
12	ITC Technical publication 32.
13	ITC Technical publication 29.

24.2 Ważna uwaga dotycząca tabel emisyjności

Wartości emisyjności przedstawione w poniższej tabeli zostały zarejestrowane za pomocą kamery krótkofalowej (SW). Są to jedynie wartości orientacyjne, które należy stosować z zachowaniem ostrożności.

24.3 Tabele

Rysunek 24.1 T: widmo całkowite; **SW:** 2–5 μm ; **LW:** 8–14 μm ; **LLW:** 6,5–20 μm ; **1:** Materiał; **2:** Opis; **3:** Temp. ($^{\circ}\text{C}$); **4:** Widmo; **5:** Emisyjność; **6:** Bibliografia

1	2	3	4	5	6
3M typ 35	Wynylowa taśma izolacyjna (kilka kolorów)	< 80	LW	ok. 0,96	13
3M typ 88	Czarna, winylowa taśma izolacyjna	< 105	LW	ok. 0,96	13
3M typ 88	Czarna, winylowa taśma izolacyjna	< 105	MW	< 0,96	13
3M typ Super 33+	Czarna, winylowa taśma izolacyjna	< 80	LW	ok. 0,96	13
Aluminium	anodyzowane, czarne, matowe	70	LW	0,95	9
Aluminium	anodyzowane, czarne, matowe	70	SW	0,67	9
Aluminium	anodyzowane, jasnoszare, matowe	70	LW	0,97	9
Aluminium	anodyzowane, jasnoszare, matowe	70	SW	0,61	9
Aluminium	blacha, 4 różnie zarysowane próbki	70	LW	0,03–0,06	9
Aluminium	blacha, 4 różnie zarysowane próbki	70	SW	0,05–0,08	9
Aluminium	blacha anodyzowana	100	T	0,55	2
Aluminium	blacha nieobrobiona	100	T	0,09	2
Aluminium	chropowata powierzchnia	20–50	T	0,06–0,07	1
Aluminium	folia	27	3 μm	0,09	3
Aluminium	folia	27	10 μm	0,04	3
Aluminium	napawane próżniowo	20	T	0,04	2

1	2	3	4	5	6
Aluminium	obrobiona zgrubnie	27	3 μm	0,28	3
Aluminium	obrobiona zgrubnie	27	10 μm	0,18	3
Aluminium	odlew piaskowany	70	LW	0,46	9
Aluminium	odlew piaskowany	70	SW	0,47	9
Aluminium	plyta nieobrobiona	100	T	0,09	4
Aluminium	plyta trawiona w HNO_3	100	T	0,05	4
Aluminium	polerowana blacha	100	T	0,05	2
Aluminium	polerowana plyta	100	T	0,05	4
Aluminium	polerowane	50–100	T	0,04–0,06	1
Aluminium	silnie oksydowane	50–500	T	0,2–0,3	1
Aluminium	silnie utlenione	17	SW	0,83–0,94	5
Asfalt		4	LLW	0,967	8
Azbest	łupek	20	T	0,96	1
Azbest	papier	40–400	T	0,93–0,95	1
Azbest	plyta	20	T	0,96	1
Azbest	plytka podlogowa	35	SW	0,94	7
Azbest	proszek		T	0,40–0,60	1
Azbest	tkanina		T	0,78	1
Beton		20	T	0,92	2
Beton	plyta chodnikowa	5	LLW	0,974	8
Beton	suchy	36	SW	0,95	7
Beton	surowy	17	SW	0,97	5
Brąz	fosforobraz	70	LW	0,06	9
Brąz	fosforobraz	70	SW	0,08	9
Brąz	polerowane	50	T	0,1	1
Brąz	porowaty, gruboziarn.	50–150	T	0,55	1

1	2	3	4	5	6
Brąz	proszek		T	0,76–0,80	1
Brąz aluminiowy		20	T	0,60	1
Cegła	alumina	17	SW	0,68	5
Cegła	czerwona, chropowata	20	T	0,88–0,93	1
Cegła	czerwona, zwykła	20	T	0,93	2
Cegła	dynasówka krzemionkowa, nieszkliwiona, porowata	1000	T	0,80	1
Cegła	dynasówka krzemionkowa, ogniotrwała	1000	T	0,66	1
Cegła	dynasówka krzemionkowa, szkliwiona, porowata	1100	T	0,85	1
Cegła	murarska	35	SW	0,94	7
Cegła	murarska, tynkowana	20	T	0,94	1
Cegła	ogniotrwała	17	SW	0,68	5
Cegła	ogniotrwała, korundowa	1000	T	0,46	1
Cegła	ogniotrwała, magnezytowa	1000–1300	T	0,38	1
Cegła	ogniotrwała, o dużej emisyjności	500–1000	T	0,8–0,9	1
Cegła	ogniotrwała, o małej emisyjności	500–1000	T	0,65–0,75	1
Cegła	silikatowa, 95% SiO ₂	1230	T	0,66	1
Cegła	sylimanitowa, 33% SiO ₂ , 64% Al ₂ O ₃	1500	T	0,29	1
Cegła	szamotowa	20	T	0,85	1
Cegła	szamotowa	1000	T	0,75	1
Cegła	szamotowa	1200	T	0,59	1

1	2	3	4	5	6
Cegła	wodoodporna	17	SW	0,87	5
Cegła	zwykła	17	SW	0,86–0,81	5
Chrom	polerowane	50	T	0,10	1
Chrom	polerowane	500–1000	T	0,28–0,38	1
Chromonikiel	drut, czysty	50	T	0,65	1
Chromonikiel	drut, czysty	500–1000	T	0,71–0,79	1
Chromonikiel	drut, oksydowany	50–500	T	0,95–0,98	1
Chromonikiel	piaskowany	700	T	0,70	1
Chromonikiel	walcowany	700	T	0,25	1
Cyna	blacha żelazna cynowana	100	T	0,07	2
Cyna	polerowana	20–50	T	0,04–0,06	1
Cynk	blacha	50	T	0,20	1
Cynk	oksydowana powierzchnia	1000–1200	T	0,50–0,60	1
Cynk	oksydowany w temp. 400°C	400	T	0,11	1
Cynk	polerowane	200–300	T	0,04–0,05	1
Czerwony tlenek ołowiu		100	T	0,93	4
Czerwony tlenek ołowiu, proszek		100	T	0,93	1
Dachówka	szkliwiona	17	SW	0,94	5
Drewno		17	SW	0,98	5
Drewno		19	LLW	0,962	8
Drewno	białe, wilgotne	20	T	0,7–0,8	1
Drewno	sklejka, gładka, sucha	36	SW	0,82	7
Drewno	sklejka, nieobrobiona	20	SW	0,83	6
Drewno	sosna, 4 różne próbki	70	LW	0,81–0,89	9

1	2	3	4	5	6
Drewno	sosna, 4 różne próbki	70	SW	0,67–0,75	9
Drewno	ścier		T	0,5–0,7	1
Drewno	tarcica	20	T	0,8–0,9	1
Drewno	tarcica dębowa	20	T	0,90	2
Drewno	tarcica dębowa	70	LW	0,88	9
Drewno	tarcica dębowa	70	SW	0,77	9
Dwutlenek miedzi	proszek		T	0,84	1
Ebonit			T	0,89	1
Farba	8 różnych kolorów i jakości	70	LW	0,92–0,94	9
Farba	8 różnych kolorów i jakości	70	SW	0,88–0,96	9
Farba	Aluminium, różne daty położenia	50–100	T	0,27–0,67	1
Farba	na bazie tworzyw szt., biała	20	SW	0,84	6
Farba	na bazie tworzyw szt., czarna	20	SW	0,95	6
Farba	niebieska - kobaltowa		T	0,7–0,8	1
Farba	olejna	17	SW	0,87	5
Farba	olejna, czarna błyszcząca	20	SW	0,92	6
Farba	olejna, czarna matowa	20	SW	0,94	6
Farba	olejna, różne kolory	100	T	0,92–0,96	1
Farba	olejna, szara błyszcząca	20	SW	0,96	6
Farba	olejna, szara matowa	20	SW	0,97	6
Farba	olejna, średnia z 16 kolorów	100	T	0,94	2

1	2	3	4	5	6
Farba	zieleń chromowa		T	0,65–0,70	1
Farba	żółć kadmowa		T	0,28–0,33	1
Gips		20	T	0,8–0,9	1
Gleba	nasiąknięta wodą	20	T	0,95	2
Gleba	suchy	20	T	0,92	2
Glina	wypalona	70	T	0,91	1
Granit	chropowaty, 4 różne próbki	70	LW	0,77–0,87	9
Granit	chropowaty, 4 różne próbki	70	SW	0,95–0,97	9
Granit	polerowane	20	LLW	0,849	8
Granit	surowy	21	LLW	0,879	8
Guma	miękka, szara, chropowata	20	T	0,95	1
Guma	twarda	20	T	0,95	1
Krylon Ultra-flat black 1602	Czarna matowa	Temperatura pokojowa do 175	LW	ok. 0,96	12
Krylon Ultra-flat black 1602	Czarna matowa	Temperatura pokojowa do 175	MW	ok. 0,97	12
Lakier	3 kolory rozpylone na aluminium	70	LW	0,92–0,94	9
Lakier	3 kolory rozpylone na aluminium	70	SW	0,50–0,53	9
Lakier	Aluminium na chropowatej powierzchni	20	T	0,4	1
Lakier	bakelit	80	T	0,83	1
Lakier	biały	40–100	T	0,8–0,95	1
Lakier	biały	100	T	0,92	2
Lakier	czarny, błyszczący, rozpylony na żelazie	20	T	0,87	1
Lakier	czarny, matowy	100	T	0,97	2

1	2	3	4	5	6
Lakier	czarny, mętny	40–100	T	0,96–0,98	1
Lakier	termoodporny	100	T	0,92	1
Lód: Zobacz woda					
Magnez		22	T	0,07	4
Magnez		260	T	0,13	4
Magnez		538	T	0,18	4
Magnez	polerowane	20	T	0,07	2
Magnez, proszek			T	0,86	1
Miedź	czysta, starannie przygotowana powierzchnia	22	T	0,008	4
Miedź	elektrolityczna, dokładnie wypolerowana	80	T	0,018	1
Miedź	elektrolityczna, wypolerowana	–34	T	0,006	4
Miedź	handlowa, polerowana z połykiem	20	T	0,07	1
Miedź	oksydowana, czarna	27	T	0,78	4
Miedź	oksydowana do ściemnienia		T	0,88	1
Miedź	oksydowany	50	T	0,6–0,7	1
Miedź	podrapana	27	T	0,07	4
Miedź	polerowana mechanicznie	22	T	0,015	4
Miedź	polerowane	50–100	T	0,02	1
Miedź	polerowane	100	T	0,03	2
Miedź	silnie oksydowana	20	T	0,78	2
Miedź	stopiona	1100–1300	T	0,13–0,15	1
Miedź	wypolerowana, handlowa	27	T	0,03	4
Molibden		600–1000	T	0,08–0,13	1

1	2	3	4	5	6
Molibden		1500–2200	T	0,19–0,26	1
Molibden	włókno	700–2500	T	0,1–0,3	1
Mosiądz	blacha szmerglowa	20	T	0,2	1
Mosiądz	blacha zrolowana	20	T	0,06	1
Mosiądz	matowany	20–350	T	0,22	1
Mosiądz	mocno wypolerowany	100	T	0,03	2
Mosiądz	oksydowany	70	SW	0,04–0,09	9
Mosiądz	oksydowany	70	LW	0,03–0,07	9
Mosiądz	oksydowany	100	T	0,61	2
Mosiądz	oksydowany w temp. 600°C	200–600	T	0,59–0,61	1
Mosiądz	polerowane	200	T	0,03	1
Mosiądz	szmerglowany szmerglem o ziarn. 80	20	T	0,20	2
Nextel Velvet 811-21 Black	Czarna matowa	–60–150	LW	> 0,97	10 i 11
Nikiel	drut	200–1000	T	0,1–0,2	1
Nikiel	handlowy czysty, wypolerowany	100	T	0,045	1
Nikiel	handlowy czysty, wypolerowany	200–400	T	0,07–0,09	1
Nikiel	jasny, matowany	122	T	0,041	4
Nikiel	obrobione elektrolitycznie	22	T	0,04	4
Nikiel	obrobione elektrolitycznie	38	T	0,06	4
Nikiel	obrobione elektrolitycznie	260	T	0,07	4
Nikiel	obrobione elektrolitycznie	538	T	0,10	4
Nikiel	oksydowany	200	T	0,37	2

1	2	3	4	5	6
Nikiel	oksydowany	227	T	0,37	4
Nikiel	oksydowany	1227	T	0,85	4
Nikiel	oksydowany w temp. 600°C	200–600	T	0,37–0,48	1
Nikiel	polerowane	122	T	0,045	4
Nikiel	powłoka galwaniczna, wypolerowana	20	T	0,05	2
Nikiel	powłoka galwaniczna na żelazie, niewypolerowana	20	T	0,11–0,40	1
Nikiel	powłoka galwaniczna na żelazie, niewypolerowana	22	T	0,11	4
Nikiel	powłoka galwaniczna na żelazie, wypolerowana	22	T	0,045	4
Olej smarny	gruba warstwa	20	T	0,82	2
Olej smarny	warstwa 0,025 mm	20	T	0,27	2
Olej smarny	warstwa 0,050 mm	20	T	0,46	2
Olej smarny	warstwa 0,125 mm	20	T	0,72	2
Olej smarny	warstwa na podłożu Ni: tylko podłoża Ni	20	T	0,05	2
Ołów	błyszczący	250	T	0,08	1
Ołów	nieoksydowany, wypolerowany	100	T	0,05	4
Ołów	oksydowany, szary	20	T	0,28	1
Ołów	oksydowany, szary	22	T	0,28	4
Ołów	oksydowany w temp. 200°C	200	T	0,63	1
Papier	4 różne kolory	70	LW	0,92–0,94	9
Papier	4 różne kolory	70	SW	0,68–0,74	9

1	2	3	4	5	6
Papier	biały	20	T	0,7–0,9	1
Papier	biały, 3 różne gładkości	70	LW	0,88–0,90	9
Papier	biały, 3 różne gładkości	70	SW	0,76–0,78	9
Papier	biały czerpany	20	T	0,93	2
Papier	ciemnoniebieski		T	0,84	1
Papier	czarne		T	0,90	1
Papier	czarny, mętny		T	0,94	1
Papier	czarny, mętny	70	LW	0,89	9
Papier	czarny, mętny	70	SW	0,86	9
Papier	czerwony		T	0,76	1
Papier	powlekany czarnym lakierem		T	0,93	1
Papier	zielony		T	0,85	1
Papier	żółty		T	0,72	1
Piasek			T	0,60	1
Piasek		20	T	0,90	2
Piaskowiec	polerowane	19	LLW	0,909	8
Piaskowiec	surowy	19	LLW	0,935	8
Platyna		17	T	0,016	4
Platyna		22	T	0,03	4
Platyna		100	T	0,05	4
Platyna		260	T	0,06	4
Platyna		538	T	0,10	4
Platyna		1000–1500	T	0,14–0,18	1
Platyna		1094	T	0,18	4
Platyna	czysta, wypolerowana	200–600	T	0,05–0,10	1
Platyna	drut	50–200	T	0,06–0,07	1

1	2	3	4	5	6
Platyna	drut	500–1000	T	0,10–0,16	1
Platyna	drut	1400	T	0,18	1
Platyna	taśma	900–1100	T	0,12–0,17	1
Płyta pilśniowa	masonit	70	LW	0,88	9
Płyta pilśniowa	masonit	70	SW	0,75	9
Płyta pilśniowa	płyta wiórowa	70	LW	0,89	9
Płyta pilśniowa	płyta wiórowa	70	SW	0,77	9
Płyta pilśniowa	porowata, nieobrobiona	20	SW	0,85	6
Płyta pilśniowa	twarda, nieobrobiona	20	SW	0,85	6
Płyta wiórowa	nieobrobiona	20	SW	0,90	6
Pokost	matowy	20	SW	0,93	6
Pokost	na dębowym parkiecie	70	LW	0,90–0,93	9
Pokost	na dębowym parkiecie	70	SW	0,90	9
Porcelana	biała, błyszcząca		T	0,70–0,75	1
Porcelana	szkliwiona	20	T	0,92	1
Skóra	garbowana		T	0,75–0,80	1
Skóra	ludzka	32	T	0,98	2
Smoła			T	0,79–0,84	1
Smoła	papier	20	T	0,91–0,93	1
Srebro	czysta, wypolerowana	200–600	T	0,02–0,03	1
Srebro	polerowane	100	T	0,03	2
Stal nierdzewna	nieobrobiona blacha, lekko porysowana	70	LW	0,28	9
Stal nierdzewna	nieobrobiona blacha, lekko porysowana	70	SW	0,30	9

1	2	3	4	5	6
Stal nierdzewna	piaskowany	700	T	0,70	1
Stal nierdzewna	stop, 8% Ni, 18% Cr	500	T	0,35	1
Stal nierdzewna	typ 18-8, oksydowana w temp. 800°C	60	T	0,85	2
Stal nierdzewna	typ 18-8, polerowana	20	T	0,16	2
Stal nierdzewna	walcowany	700	T	0,45	1
Stal nierdzewna	wypolerowana blacha	70	LW	0,14	9
Stal nierdzewna	wypolerowana blacha	70	SW	0,18	9
Styropian	izolacja	37	SW	0,60	7
Sukno	czarne	20	T	0,98	1
Szkliwo		20	T	0,9	1
Szkliwo	lakier	20	T	0,85–0,95	1
Szmergiel	gruboziarnisty	80	T	0,85	1
Śnieg: Zobacz woda					
Tapeta	delikatny wzór, czerwona	20	SW	0,90	6
Tapeta	delikatny wzór, jasnoszara	20	SW	0,85	6
Tlenek glinu	aktywowany, proszek		T	0,46	1
Tlenek glinu	czysty, proszek (tlenek glinowy)		T	0,16	1
Tlenek miedzi	czerwony, proszek		T	0,70	1
Tlenek niklu		500–650	T	0,52–0,59	1
Tlenek niklu		1000–1250	T	0,75–0,86	1
Tworzywo sztuczne	laminat z włókna szklanego (płytką drukowana)	70	LW	0,91	9

1	2	3	4	5	6
Tworzywo sztuczne	laminat z włókna szklanego (płytką drukowaną)	70	SW	0,94	9
Tworzywo sztuczne	PCW, płyta podłogowa, matowa, ze wzorem	70	LW	0,93	9
Tworzywo sztuczne	PCW, płyta podłogowa, matowa, ze wzorem	70	SW	0,94	9
Tworzywo sztuczne	poliuretanowa płyta izolacyjna	70	LW	0,55	9
Tworzywo sztuczne	poliuretanowa płyta izolacyjna	70	SW	0,29	9
Tynk		17	SW	0,86	5
Tynk	tynk suchy, nieobrobiony	20	SW	0,90	6
Tynk	zgrubne pokrycie	20	T	0,91	2
Tynk sztukatorski	chropowaty, wapienny	10–90	T	0,91	1
Tytan	oksydowany w temp. 540°C	200	T	0,40	1
Tytan	oksydowany w temp. 540°C	500	T	0,50	1
Tytan	oksydowany w temp. 540°C	1000	T	0,60	1
Tytan	polerowane	200	T	0,15	1
Tytan	polerowane	500	T	0,20	1
Tytan	polerowane	1000	T	0,36	1
Wapno			T	0,3–0,4	1
Węgiel	czern lampowa	20–400	T	0,95–0,97	1
Węgiel	grafit, powierzchnia spilowana	20	T	0,98	2
Węgiel	proszek grafitowy		T	0,97	1
Węgiel	proszek z węgla drzewnego		T	0,96	1

1	2	3	4	5	6
Węgiel	sadza świecowa	20	T	0,95	2
Woda	destylowana	20	T	0,96	2
Woda	kryształki szronu	-10	T	0,98	2
Woda	lód, gładki	-10	T	0,96	2
Woda	lód, gładki	0	T	0,97	1
Woda	lód, silnie oszroniony	0	T	0,98	1
Woda	śnieg		T	0,8	1
Woda	śnieg	-10	T	0,85	2
Woda	warstwa o grubości >0,1 mm	0-100	T	0,95-0,98	1
Wodorotlenek glinu	proszek		T	0,28	1
Wolfram		200	T	0,05	1
Wolfram		600-1000	T	0,1-0,16	1
Wolfram		1500-2200	T	0,24-0,31	1
Wolfram	włókno	3300	T	0,39	1
Zaprawa murarska		17	SW	0,87	5
Zaprawa murarska	suchy	36	SW	0,94	7
Złoto	mocno wypolerowane	100	T	0,02	2
Złoto	polerowane	130	T	0,018	1
Złoto	starannie wypolerowane	200-600	T	0,02-0,03	1
Żelazo, odlewane	ciekłe	1300	T	0,28	1
Żelazo, odlewane	nieobrobione	900-1100	T	0,87-0,95	1
Żelazo, odlewane	obrobione	800-1000	T	0,60-0,70	1
Żelazo, odlewane	odlewane	50	T	0,81	1
Żelazo, odlewane	oksydowany	38	T	0,63	4

1	2	3	4	5	6
Żelazo, odlewane	oksydowany	100	T	0,64	2
Żelazo, odlewane	oksydowany	260	T	0,66	4
Żelazo, odlewane	oksydowany	538	T	0,76	4
Żelazo, odlewane	oksydowany w temp. 600°C	200–600	T	0,64–0,78	1
Żelazo, odlewane	polerowane	38	T	0,21	4
Żelazo, odlewane	polerowane	40	T	0,21	2
Żelazo, odlewane	polerowane	200	T	0,21	1
Żelazo, odlewane	sztaby	1000	T	0,95	1
Żelazo galwanizowane	blacha	92	T	0,07	4
Żelazo galwanizowane	blacha oksydowana	20	T	0,28	1
Żelazo galwanizowane	blacha polerowana	30	T	0,23	1
Żelazo galwanizowane	silnie oksydowane	70	LW	0,85	9
Żelazo galwanizowane	silnie oksydowane	70	SW	0,64	9
Żelazo i stal	blacha gruntowana	950–1100	T	0,55–0,61	1
Żelazo i stal	blacha zrolowana	50	T	0,56	1
Żelazo i stal	błyszcząca warstwa oksydowana, blacha	20	T	0,82	1
Żelazo i stal	błyszczące, trawione	150	T	0,16	1
Żelazo i stal	elektrolityczna, dokładnie wypolerowana	175–225	T	0,05–0,06	1
Żelazo i stal	mocno zardzewiała blacha	20	T	0,69	2
Żelazo i stal	mocno zardzewiała	17	SW	0,96	5

1	2	3	4	5	6
Żelazo i stal	obrobione elektrolitycznie	22	T	0,05	4
Żelazo i stal	obrobione elektrolitycznie	100	T	0,05	4
Żelazo i stal	obrobione elektrolitycznie	260	T	0,07	4
Żelazo i stal	oksydowany	100	T	0,74	1
Żelazo i stal	oksydowany	100	T	0,74	4
Żelazo i stal	oksydowany	125–525	T	0,78–0,82	1
Żelazo i stal	oksydowany	200	T	0,79	2
Żelazo i stal	oksydowany	200–600	T	0,80	1
Żelazo i stal	oksydowany	1227	T	0,89	4
Żelazo i stal	polerowane	100	T	0,07	2
Żelazo i stal	polerowane	400–1000	T	0,14–0,38	1
Żelazo i stal	silnie oksydowane	50	T	0,88	1
Żelazo i stal	silnie oksydowane	500	T	0,98	1
Żelazo i stal	surowa płaska powierzchnia	50	T	0,95–0,98	1
Żelazo i stal	świeżo szmerglowane	20	T	0,24	1
Żelazo i stal	świeżo walcowane	20	T	0,24	1
Żelazo i stal	walcowane na gorąco	20	T	0,77	1
Żelazo i stal	walcowane na gorąco	130	T	0,60	1
Żelazo i stal	walcowane na zimno	70	LW	0,09	9
Żelazo i stal	walcowane na zimno	70	SW	0,20	9
Żelazo i stal	wypolerowana blacha	750–1050	T	0,52–0,56	1
Żelazo i stal	zardzewiała blacha	22	T	0,69	4

1	2	3	4	5	6
Żelazo i stal	zardzewiałe	20	T	0,61–0,85	1
Żelazo i stal	zardzewiałe	20	T	0,69	1
Żelazo i stal	zgrzewane, dokładnie wypolerowane	40–250	T	0,28	1
Żelazo ocynowane	blacha	24	T	0,064	4
Żużel	kotłowy	0–100	T	0,97–0,93	1
Żużel	kotłowy	200–500	T	0,89–0,78	1
Żużel	kotłowy	600–1200	T	0,76–0,70	1
Żużel	kotłowy	1400–1800	T	0,69–0,67	1

A note on the technical production of this publication

This publication was produced using XML—the *eXtensible Markup Language*. For more information about XML, please visit <http://www.w3.org/XML/>

A note on the typeface used in this publication

This publication was typeset using Swiss 721, which is Bitstream's pan-European version of the Helvetica™ typeface. Helvetica™ was designed by Max Miedinger (1910–1980).

List of effective files

20235117.xml a14
20235217.xml a7
20235317.xml a10
20236717.xml a19
20237117.xml a9
20238517.xml a7
20238717.xml a6
20250417.xml a11
20254903.xml a65
20257017.xml a15
20257117.xml a7
20257317.xml a11
20273217.xml a11
20275217.xml a12
20279817.xml a6
20281017.xml a3
20287317.xml a4
20287717.xml a3
20287817.xml a3
20287917.xml a1
20288017.xml a2
20288117.xml a3
20288217.xml a3
20288317.xml a2
20288417.xml a4
20288517.xml a3
20292417.xml a2
20293917.xml a1
20294017.xml a1
R131.rcp a1
config.xml a5



Corporate Headquarters

FLIR Systems, Inc.
27700 SW Parkway Avenue
Wilsonville, OR 97070
USA

Telephone: +1-800-727-3547
Website: <http://www.flir.com>