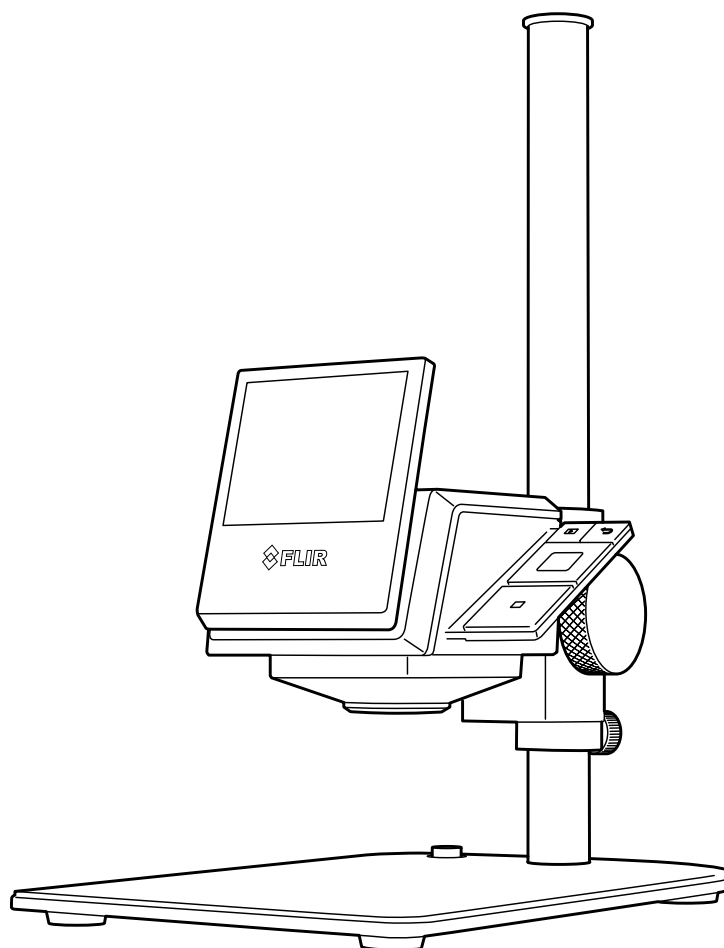


Instrukcja obsługi Seria FLIR ETS3xx



Instrukcja obsługi Seria FLIR ETS3xx

Spis treści

1	Zastrzeżenia	1
1.1	Nota prawna	1
1.2	Statystyka użytkowania	1
1.3	Zmiany w rejestrze	1
1.4	Przepisy wydane przez rząd Stanów Zjednoczonych	1
1.5	Prawa autorskie	1
1.6	Zarządzanie jakością	1
1.7	Patenty	1
1.8	EULA Terms	1
1.9	EULA Terms	1
2	Informacje dotyczące bezpieczeństwa	3
3	Uwagi dla użytkownika	5
3.1	Forum użytkownik-użytkownik	5
3.2	Kalibracja	5
3.3	Dokładność	5
3.4	Utylizacja odpadów elektronicznych	5
3.5	Szkolenia	5
3.6	Aktualizacje dokumentacji	5
3.7	Istotne uwagi dotyczące tego podręcznika	6
3.8	Informacja o obowiązujących wersjach	6
4	Pomoc dla klientów	7
4.1	Ogólne	7
4.2	Przesyłanie pytania	7
4.3	Pliki do pobrania	7
5	Wprowadzenie	9
5.1	Opis ogólny	9
5.2	Korzyści	9
5.3	Główne cechy	9
6	Skrócona instrukcja obsługi	10
6.1	Procedura	10
7	Opis	11
7.1	Widok z przodu	11
7.1.1	Rysunek	11
7.1.2	Wyjaśnienie	11
7.2	Widok od tyłu	12
7.2.1	Rysunek	12
7.2.2	Wyjaśnienie	12
7.3	Złącze USB	12
7.4	Elementy ekranu	13
7.4.1	Rysunek	13
7.4.2	Wyjaśnienie	13
8	Obsługiwanie kamery	14
8.1	Ładowanie akumulatora	14
8.1.1	Ładowanie akumulatora za pomocą zasilacza FLIR	14
8.1.2	Ładowanie akumulatora za pomocą kabla USB podłączonego do komputera	14
8.2	Włączanie i wyłączanie kamery	14
8.3	Regulacja pozycji kamery	15
8.3.1	Rysunek	15
8.3.2	Wyjaśnienie	15
8.3.3	Procedura	15
8.4	Demontaż uchwytu stojaka z kamery	15
8.4.1	Procedura	16

9	Obsługa	17
9.1	Zapisywanie obrazu	17
9.1.1	Ogólne	17
9.1.2	Pojemność pamięci	17
9.1.3	Konwencja nazewnictwa	17
9.1.4	Procedura	17
9.2	Przywoływanie obrazu	17
9.2.1	Ogólne	17
9.2.2	Procedura	17
9.3	Usuwanie obrazu	17
9.3.1	Ogólne	17
9.3.2	Procedura	17
9.4	Usuwanie wszystkich obrazów	18
9.4.1	Ogólne	18
9.4.2	Procedura	18
9.5	Pomiar temperatury przy użyciu punktu pomiarowego	18
9.5.1	Ogólne	18
9.5.2	Procedura	18
9.6	Pomiar najwyższej temperatury w danym obszarze	18
9.6.1	Ogólne	18
9.6.2	Procedura	18
9.7	Pomiar najniższej temperatury w danym obszarze	19
9.7.1	Ogólne	19
9.7.2	Procedura	19
9.8	Ukrywanie narzędzi pomiarowych	19
9.8.1	Procedura	19
9.9	Zmiana palety kolorów	19
9.9.1	Ogólne	19
9.9.2	Procedura	19
9.10	Praca z alarmami kolorowymi	19
9.10.1	Ogólne	19
9.10.2	Przykładowe obrazy	20
9.10.3	Procedura	20
9.11	Zmiana trybu skali temperatury	20
9.11.1	Ogólne	20
9.11.2	Kiedy należy stosować tryb <i>Ręczny</i>	20
9.11.3	Procedura	21
9.12	Ustawianie emisyjności jako właściwość powierzchni	21
9.12.1	Ogólne	21
9.12.2	Procedura	21
9.13	Ustawianie emisyjności materiału własnego	22
9.13.1	Ogólne	22
9.13.2	Procedura	22
9.14	Określanie własnej wartości emisyjności	22
9.14.1	Ogólne	22
9.14.2	Procedura	22
9.15	Zmiana odbitej temperatury pozornej otoczenia	23
9.15.1	Ogólne	23
9.15.2	Procedura	23
9.16	Wykonywanie korekcji niejednorodności (NUC)	23
9.16.1	Ogólne	23
9.16.2	Procedura	23
9.17	Zmiana ustawień	24
9.17.1	Ogólne	24
9.17.2	Procedura	24

9.18	Aktualizacja oprogramowania kamery	24
9.18.1	Ogólne.....	24
9.18.2	Procedura	25
10	Dane techniczne.....	26
10.1	Kalkulator pola widzenia online	26
10.2	Informacja o danych technicznych	26
10.3	Informacja o obowiązujących wersjach	26
10.4	FLIR ETS320.....	27
11	Rysunki techniczne	30
12	Czyszczenie kamery	35
12.1	Obudowa, przewody i inne elementy kamery.....	35
12.1.1	Płyny.....	35
12.1.2	Przybory	35
12.1.3	Procedura	35
12.2	Obiektyw na podczerwień.....	35
12.2.1	Płyny.....	35
12.2.2	Przybory	35
12.2.3	Procedura	35
13	Informacje o FLIR Systems	37
13.1	Nie tylko kamery termowizyjne.....	38
13.2	Dzielimy się naszą wiedzą	38
13.3	Obsługa klientów	39
14	Terminy, prawa i definicje	40
15	Techniki pomiarów termowizyjnych	42
15.1	Wprowadzenie	42
15.2	Emisyjność.....	42
15.2.1	Badanie emisyjności próbki	42
15.3	Temperatura otoczenia (odbita temperatura pozorną)	46
15.4	Odległość	46
15.5	Wilgotność względna.....	46
15.6	Inne parametry.....	46
16	Sekret dobrego obrazu termicznego.....	47
16.1	Wprowadzenie	47
16.2	Tło.....	47
16.3	Dobry obraz.....	47
16.4	Trzy cechy niezmiennie, czyli podstawa dobrego obrazu	48
16.4.1	Ostrość.....	48
16.4.2	Zakres temperatur	49
16.4.3	Szczegóły obrazu i odległość od obiektu	50
16.5	Zmienne — optymalizacja obrazu i pomiar temperatury.....	50
16.5.1	Poziom i zakres.....	50
16.5.2	Palety i izotermy.....	51
16.5.3	Parametry obiektu	51
16.6	Wykonywanie obrazów — porady praktyczne.....	52
16.7	Na zakończenie.....	52
17	Informacje o wzorcowaniu	53
17.1	Wprowadzenie	53
17.2	Definicja — czym jest wzorcowanie?	53
17.3	Wzorcowanie kamery w firmie FLIR Systems	53
17.4	Różnice między wzorcowaniem wykonywaną przez użytkownika a wzorcowaniem wykonywaną bezpośrednio przez firmę FLIR Systems	54
17.5	Wzorcowanie, weryfikacja i regulacja	54
17.6	Korekcja niejednorodności.....	55

	17.7	Regulacja obrazu termicznego (regulacja termiczna)	55
18		Historia techniki podczerwieni	56
19		Teoria termografii	59
	19.1	Wprowadzenie	59
	19.2	Widmo elektromagnetyczne	59
	19.3	Promieniowanie ciała czarnego	59
	19.3.1	Prawo Plancka	60
	19.3.2	Prawo przesunięć Wiena	61
	19.3.3	Prawo Stefana-Boltzmann	62
	19.3.4	Ciała nieczarne emitujące promieniowanie	63
	19.4	Materiały częściowo przezroczyste w podczerwieni	65
20		Wzór będący podstawą pomiaru	66
21		Tabele emisyjności	70
	21.1	Bibliografia	70
	21.2	Tabele	70

1.1 Nota prawna

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.

Niechłodzone, ręczne kamery termowizyjne wytwarzane przez firmę FLIR Systems są objęte gwarancją dotyczącą wad materiałowych i wad wykonania przez okres dwóch (2) lat od daty dostarczenia do pierwszego nabywcy, o ile produkty te były przechowywane, użytkowane i serwisowane zgodnie z instrukcjami firmy FLIR Systems oraz pod warunkiem rejestracji kamery w ciągu 60 dni od daty zakupu przez pierwszego nabywcę.

Detektory do niechłodzonych, ręcznych kamer termowizyjnych wytwarzane przez firmę FLIR Systems są objęte gwarancją dotyczącą wad materiałowych i wad wykonania przez okres dziesięciu (10) lat od daty dostarczenia do pierwszego nabywcy, o ile produkty te były przechowywane, użytkowane i serwisowane zgodnie z instrukcjami firmy FLIR Systems oraz pod warunkiem rejestracji kamery w ciągu 60 dni od daty zakupu przez pierwszego nabywcę.

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 nie właściwie użytkowane, z którymi obchodzono 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 za przestać użytkowania produktu, aby zapobiec dalszym uszkodzeniom. 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 rzeka 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.

1.2 Statystyka użytkowania

Firma FLIR Systems zastrzega sobie prawo do zbierania anonimowych statystyk użytkowania w celu utrzymania i poprawy jakości oferowanych programów i usług.

1.3 Zmiany w rejestrze

Pozycja rejestru HKEY_LOCAL_MACHINE\SYSTEM\CurrentControlSet\Control\Lsa\LmCompatibilityLevel zostanie automatycznie zmieniona na poziom 2, jeśli usługa FLIR Camera Monitor wykryje kamerę FLIR podłączoną do komputera za pomocą kabla USB. Zmiana ta zostanie wprowadzona pod warunkiem, że kamera jest wyposażona w zdalną usługę sieciową obsługującą logowanie do sieci.

1.4 Przepisy wydane przez rząd Stanów Zjednoczonych

Niniejszy produkt może podlegać przepisom Stanów Zjednoczonych dotyczącym eksportu. Wszelkie pytania należy kierować na adres exportquestions@flir.com.

1.5 Prawa autorskie

© 2016, FLIR Systems, Inc. Wszelkie prawa zastrzeżone na całym świecie. Żadna część oprogramowania, w tym kod źródłowy, nie może być powielana, przesyłana, poddawana transkrypcji ani tłumaczona na jakikolwiek język lub język programowania w jakiegokolwiek postaci, przy zastosowaniu jakiegokolwiek środków, elektronicznych, magnetycznych, optycznych, ręcznych lub w inny sposób, bez uprzedniej pisemnej zgody firmy FLIR Systems.

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.

1.6 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, w związku z czym zastrzega sobie prawo do wprowadzania zmian i udoskonalień w dowolnym z opisanych produktów bez uprzedniego powiadomienia.

1.7 Patenty

000439161; 000653423; 000726344; 000859020; 001707738; 001707746; 001707787; 001776519; 001954074; 002021543; 002021543-0002; 002058180; 002249953; 002531178; 002816785; 002816793; 011200326; 014347553; 057692; 061609; 07002405; 100414275; 101796816; 101796817; 101796818; 102334141; 1062100; 11063060001; 11517895; 1226865; 12300216; 12300224; 1285345; 1299699; 1325808; 1336775; 1391114; 1402918; 1404291; 1411581; 1415075; 1421497; 1458284; 1678485; 1732314; 17399650; 1880950; 1886650; 2007301511414; 2007303395047; 2008301285812; 2009301900619; 20100060357; 2010301761271; 2010301761303; 2010301761572; 2010305959313; 2011304423549; 2012304717443; 2012306207318; 2013302676195; 2015202354035; 2015304259171; 204465713; 204967995; 2106017; 2107799; 2115696; 2172004; 2315433; 2381417; 2794760001; 3006596; 3006597; 303330211; 4358936; 483782; 484155; 4889913; 4937897; 4995790001; 5177595; 540838; 579475; 584755; 599392; 60122153; 6020040116815; 602006006500.0; 6020080347796; 6020110003453; 615113; 615116; 664580; 664581; 665004; 665440; 67023029; 6707044; 677298; 68657; 69036179; 70022216; 70028915; 70028923; 70057990; 7034300; 710424; 7110035; 7154093; 7157705; 718801; 723605; 7237946; 7312822; 7332716; 7336823; 734803; 7544944; 7606484; 7634157; 7667198; 7809258; 7826736; 8018649; 8153971; 8212210; 8289372; 8340414; 8354639; 8384783; 8520970; 8565547; 8595689; 8599262; 8654239; 8680468; 8803093; 8823803; 8853631; 8933403; 9171361; 9191583; 9279728; 9280812; 9338352; 9423940; 9471970; 9595087; D549758.

1.8 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/>.

1.9 EULA Terms

Qt4 Core and Qt4 GUI, Copyright ©2013 Nokia Corporation and FLIR Systems AB. This Qt library is a free software; you can redistribute it and/or modify it under the terms of the GNU Lesser General Public License as published by the Free Software Foundation; either version 2.1 of the License, or (at your option) any later version. This library is distributed in the hope that it will be useful, but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the GNU Lesser General Public License, <http://www.gnu.org/licenses/lgpl-2.1>.

html. The source code for the libraries Qt4 Core and Qt4 GUI may be requested from FLIR Systems AB.

Informacje dotyczące bezpieczeństwa



OSTRZEŻENIE

Zastosowanie: urządzenia cyfrowe klasy B.

W rezultacie przeprowadzonych badań stwierdzono, że omawiane urządzenia są zgodne ze standardami określonymi dla urządzeń cyfrowych klasy B w części 15 przepisów FCC. Ograniczenia są ustalone tak, aby zapewnić ochronę przed szkodliwymi zakłóceniami instalacji w obszarach zamieszkałych. Omawiane urządzenie wytwarza i wykorzystuje energię o częstotliwości radiowej, którą może promieniować. Jeśli nie zostanie zainstalowane i używane zgodnie z instrukcją, może powodować zakłócenia w komunikacji radiowej. Jednak nie ma pewności, że zakłócenia takie nie wystąpią w danej instalacji. Jeśli niniejsze urządzenie spowoduje zakłócenia odbioru radiowego i telewizyjnego, które mogą być wynikiem włączenia lub wyłączenia urządzenia, należy spróbować skorygować zakłócenia, podejmując jeden lub więcej z poniższych środków zaradczych:

- Obrócić lub przestawić antenę odbiornika.
- Zwiększyć odległość między sprzętem a odbiornikiem.
- Podłączyć sprzęt do gniazda znajdującego się w innym obwodzie niż odbiornik.
- Skontaktować się ze sprzedawcą lub specjalistą w zakresie urządzeń radiowo-telewizyjnych w celu uzyskania pomocy.



OSTRZEŻENIE

Zastosowanie: urządzenia cyfrowe podlegające normie 15.19/RSS-210.

UWAGA: to urządzenie jest zgodne z częścią 15 przepisów FCC oraz kanadyjską normą przemysłową RSS-210. Jego działanie zależy od dwóch poniższych warunków:

1. urządzenie nie może wywoływać szkodliwych zakłóceń;
2. urządzenie musi odbierać wszelkie zakłócenia, nawet te, które mogą wywołać działanie niepożądane.



OSTRZEŻENIE

Zastosowanie: urządzenia cyfrowe podlegające normie 15.21.

UWAGA: zmiany wprowadzane w tym urządzeniu bez wyraźnej zgody firmy FLIR Systems mogą unieważnić pozwolenie FCC na korzystanie z takiego sprzętu.



OSTRZEŻENIE

Zastosowanie: urządzenia cyfrowe podlegające normie 2.1091/2.1093/OET, wydanie 65.

Informacje odnośnie promieniowania fal radiowych: poziom promieniowania dla mocy wyjściowej tego urządzenia znajduje się poniżej limitów wyznaczonych przez FCC/IC. Mimo to sprzęt ten powinien być wykorzystywany w taki sposób, aby kontakt z człowiekiem podczas pracy był ograniczony do minimum.



OSTRZEŻENIE

Zastosowanie: kamery z co najmniej jednym akumulatorem.

Jeśli akumulator nie ładuje się mimo upływu podanego czasu ładowania, nie należy go dłużej ładować. W przeciwnym razie może się nagrzać oraz spowodować wybuch, zapłon i obrażenia ciała.



OSTRZEŻENIE

Zastosowanie: kamery z co najmniej jednym akumulatorem.

Do rozładowania akumulatora należy używać odpowiednich urządzeń. W przeciwnym razie może ulec pogorszeniu wydajność lub trwałość użytkowa akumulatora. Użycie nieodpowiednich urządzeń może powodować przepływ prądu o dużym natężeniu. Może to spowodować nagrzanie się akumulatora lub jego wybuch i obrażenia ciała.



OSTRZEŻENIE

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

	OSTROŻNIE
Nie należy nakierowywać kamery termowizyjnej (z osłoną obiektywu lub bez niej) na silne źródła energii, np. urządzenia wytwarzające promieniowanie laserowe, lub na słońce. Może to mieć negatywny wpływ na precyzję kamery. Może również spowodować uszkodzenie detektora kamery.	
	OSTROŻNIE
Kamery nie należy używać w temperaturze przekraczającej +50°C, chyba że w dokumentacji dla użytkownika lub w danych technicznych zawarto inne dane. Wysoka temperatura może spowodować uszkodzenie sprzętu.	
	OSTROŻNIE
Jeśli firma FLIR Systems nie dostarczyła specjalnego adaptera, nie należy podłączać kamery bezpośrednio do gniazda zapalniczki w samochodzie. Może to spowodować uszkodzenie kamery.	
	OSTROŻNIE
Zastosowanie: kamery z co najmniej jednym akumulatorem. Do ładowania akumulatora należy używać wyłącznie ładowarki o parametrach podanych w instrukcji. W przeciwnym razie może dojść do uszkodzenia akumulatora.	
	OSTROŻNIE
Zastosowanie: kamery z co najmniej jednym akumulatorem. Zakres dopuszczalnych temperatur ładowania akumulatora wynosi od ±0°C do +45°C, z wyjątkiem rynku koreańskiego, na którym zatwierdzony zakres temperatur wynosi od +10°C do +45°C. Ładowanie akumulatora w temperaturze spoza tego zakresu może spowodować jego przegrzanie lub uszkodzenie. Może również pogorszyć wydajność lub trwałość użytkową akumulatora.	
	OSTROŻNIE
Zastosowanie: kamery z co najmniej jednym akumulatorem. Zakres dopuszczalnych temperatur dla usuwania energii elektrycznej z akumulatora wynosi od +10°C do +40°C, chyba że w dokumentacji dla użytkownika lub w danych technicznych zawarto inne informacje. Używanie akumulatora w temperaturach spoza tego zakresu może spowodować pogorszenie jego wydajności lub trwałości użytkowej.	
	OSTROŻNIE
Nie należy używać rozpuszczalników ani podobnych środków do czyszczenia kamery, kabli i innych elementów. Może to spowodować uszkodzenie akumulatora i obrażenia ciała.	
	OSTROŻNIE
Podczas czyszczenia obiektywu na podczerwień należy zachować ostrożność. Obiektyw jest wyposażony w powłokę antyodblaskową, którą można łatwo uszkodzić. Mogłoby to spowodować uszkodzenie obiektywu na podczerwień.	
	OSTROŻNIE
Podczas czyszczenia obiektywu na podczerwień nie należy używać zbyt dużej siły. Mogłoby to spowodować uszkodzenie powłoki antyodblaskowej.	

Uwaga Stopień zabezpieczenia obudowy ma zastosowanie tylko wtedy, gdy wszystkie otwory kamery są zamknięte za pomocą właściwych osłon lub zatyczek. Dotyczy to także komór baterii, złączy i nośników danych.

3.1 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://forum.infraredtraining.com/>

3.2 Kalibracja

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

3.3 Dokładność

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

3.4 Utylizacja odpadów elektronicznych



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

Więcej szczegółów można uzyskać od przedstawicieli firmy FLIR Systems.

3.5 Szkolenia

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

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

3.6 Aktualizacje dokumentacji

Instrukcje obsługi są aktualizowane 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, przetłumaczonych instrukcji obsługi i powiadomień, należy przejść do karty Download na 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.

3.7 Istotne uwagi dotyczące tego podręcznika

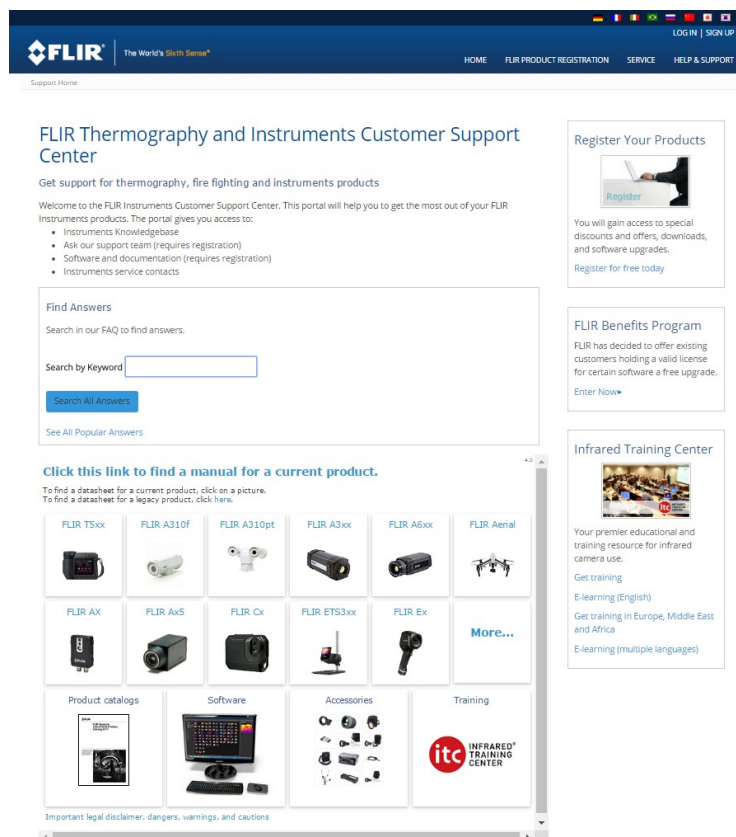
Firma FLIR Systems wydaje podręczniki ogólne dotyczące różnych kamer z danej linii modeli.

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

3.8 Informacja o obowiązujących wersjach

Obowiązująca wersja tej publikacji została sporządzona w języku angielskim. W przypadku rozbieżności na skutek błędów w tłumaczeniu priorytet zachowuje wersja angielska.

Wszelkie najnowsze zmiany są najpierw umieszczane w języku angielskim.



4.1 Ogólne

Aby uzyskać pomoc techniczną, odwiedź witrynę:

<http://support.flir.com>

4.2 Przesyłanie pytania

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 sposób przysyłania danych między kamerą a urządzeniem (np. czytnik kart SD, HDMI, Ethernet, USB lub FireWire)
- Typ urządzenia (PC/Mac/iPhone/iPad/Android itp.)
- Wersje programów firmy FLIR Systems
- Pełna nazwa, numer publikacji i numer wersji podręcznika

4.3 Pliki do pobrania

W witrynie pomocy dla klientów można także pobrać następujące pliki, jeżeli są one dostępne dla danego produktu:

- Aktualizacje oprogramowania wewnętrznego kamery termowizyjnej.

- Aktualizacje oprogramowania komputera PC/Mac.
- Bezpłatne i próbne wersje oprogramowania komputera PC/Mac.
- Dokumentacja dla użytkownika obecnych i starszych produktów.
- Rysunki techniczne (w formacie *.dxf i *.pdf).
- Modele danych Cad (w formacie *.stp).
- Przykłady zastosowania.
- Dane techniczne.
- Katalogi produktów.

5.1 Opis ogólny

FLIR ETS3xx to pierwsza laboratoryjna kamera do testowania urządzeń elektronicznych firmy FLIR stworzona z myślą o szybkim sprawdzaniu temperatury płytek drukowanych i urządzeń elektronicznych. Kamera FLIR ETS3xx jest tak czuła, że jest w stanie wykryć delikatne różnice w temperaturze z dokładnością $\pm 3^{\circ}\text{C}$, dzięki czemu możliwe jest szybkie odnalezienie gorących miejsc i punktów potencjalnych usterek. Detektor 320×240 pikseli na podczerwień oferuje ponad 76 000 punktów pomiaru temperatury, eliminując niepewność starszych narzędzi pomiarowych. Akumulatorowa kamera FLIR ETS3xx stworzona specjalnie do pracy na stole łączy się z komputerem, zapewniając natychmiastową analizę i udostępnianie danych termicznych.

5.2 Korzyści

- Skraca czasy pomiarów: szybko określa gorące miejsca, gradienty temperatury oraz punkty potencjalnych usterek.
- Poprawia konstrukcję produktu: zawsze wiesz, kiedy i gdzie dodać wentylatory i radiatory i zapewniasz produkty działające zgodnie ze specyfikacjami przez maksymalny czas.
- Oszczędza pieniądze: usprawnij szybkie tworzenie prototypów i ogranicz cykl rozwoju produktu.
- Optymalizuje czas w laboratorium: akumulatorowe i bezobsługowe urządzenie zapewnia kompletny pomiar i analizę w kamerze.

5.3 Główne cechy

- Ponad 76 000 punktów bezkontaktowego pomiaru temperatury po naciśnięciu przycisku.
- Detektor 320×240 pikseli zapewnia ostry obraz termowizyjny.
- Czas a pomiar temperatury za pomocą narzędzi FLIR Tools+.
- Pomiar małych elementów, rozmiar punktu pomiarowego to nawet $170\text{ }\mu\text{m}$ na piksel.
- Soczewka zapewnia 45° widok termowizyjny celu i szybkie wykrywanie gorących miejsc.
- Zapisuje pomiarowy obraz w standardowym formacie JPEG, co ułatwia udostępnianie.
- Dokładność $\pm 3\%$ zapewnia jakość i akceptację płytek drukowanych w fabryce.
- Szybki montaż na dostarczonym stojaku do natychmiastowego użycia.
- Ostry 3-calowy wyświetlacz LCD zapewnia natychmiastowy obraz termowizyjny.
- Światowej klasy oprogramowanie zapewnia zaawansowane korekty/możliwości pomiarowe.

6.1 Procedura

Wykonaj następujące czynności:

1. Naładuj akumulator. Można to zrobić na różne sposoby:

- Naładuj akumulator za pomocą zasilacza FLIR.
- Naładuj akumulator za pomocą kabla USB podłączonego do komputera.

Uwaga Ładowanie kamery za pomocą kabla USB podłączonego do komputera trwa *znacznie dłużej* niż przy użyciu zasilacza FLIR lub ładowarki FLIR.

2. Podłącz przewód masy do kołka masowego na macie antystatycznej stojaka kamery.
3. Naciśnij przycisk włączania/wyłączania, aby włączyć kamerę.
4. Wyreguluj pozycję kamery.
5. Naciśnij przycisk Save, aby zapisać obraz.

(Czynności opcjonalne)

6. Odwiedź poniższą stronę internetową, aby pobrać FLIR Tools/Tools+¹:

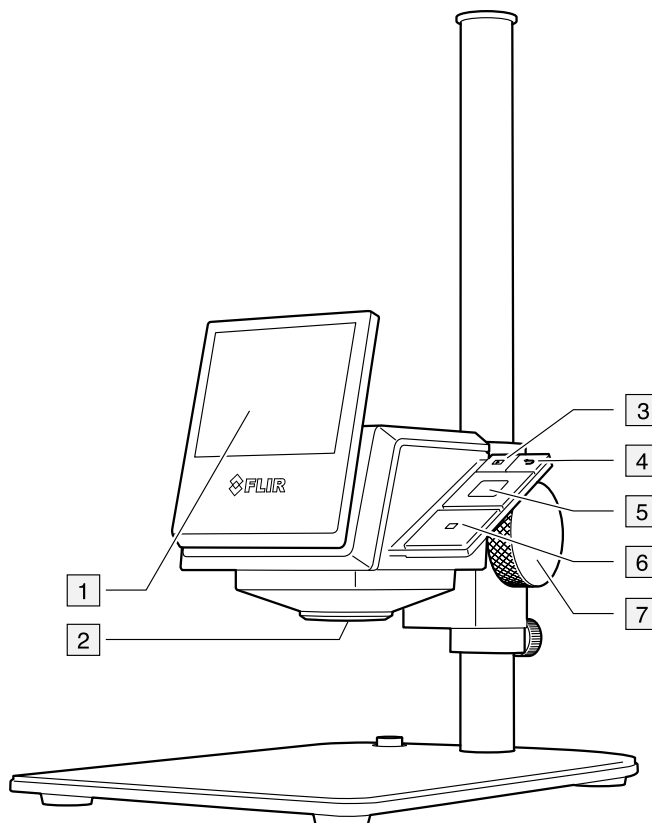
<http://support.flir.com/tools>

7. Zainstaluj program FLIR Tools/Tools+ w komputerze.
8. Uruchom program FLIR Tools/Tools+.
9. Podłącz kamerę do komputera za pomocą kabla USB.
10. Zimportuj obrazy do FLIR Tools/Tools+.

1. Aby uzyskać internetową dokumentację narzędzi FLIR Tools/Tools+, odwiedź stronę <http://support.flir.com/resources/f22s/>. FLIR Tools+ to licencjonowane oprogramowanie

7.1 Widok z przodu

7.1.1 Rysunek

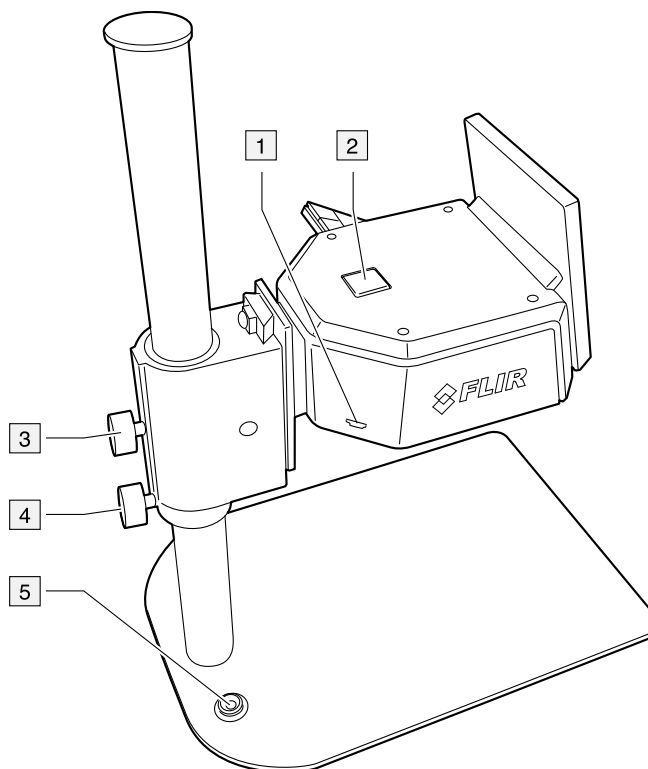


7.1.2 Wyjaśnienie

1. Wyświetlacz LCD
2. Obiektyw kamery na podczerwień.
3. Przycisk Archiwum.
Funkcja:
 - Naciśnij przycisk, aby otworzyć archiwum obrazów.
4. Przycisk Wstecz/Anuluj.
Funkcja:
 - Naciśnij, aby powrócić do menu.
 - Naciśnij, aby anulować wybór.
5. Przyciski nawigacyjne
Funkcja:
 - Naciskaj przyciski ze strzałkami w lewo/prawo i w górę/dół, aby poruszać się po menu i oknach dialogowych.
 - Naciśnij środkowy przycisk, aby potwierdzić.
6. Przycisk Save.
Funkcja:
 - Naciśnij, aby zapisać obraz.
7. Pokrętło precyzyjnej regulacji.

7.2 Widok od tyłu

7.2.1 Rysunek



7.2.2 Wyjaśnienie

1. Złącze USB

2. Przycisk włączania/wyłączania.

Funkcja:

- Naciśnij przycisk włączania/wyłączania, aby włączyć kamerę.
- Aby przejść do trybu uśpienia kamery, naciśnij i przytrzymaj przycisk włączania/wyłączania przez ok 5 s. Kamera zostanie automatycznie wyłączona po 48 godz.
- W celu wyłączenia kamery naciśnij przycisk włączania/wyłączania i przytrzymaj go przez ponad 10 s.

3. Pokrętło uchwyty stojaka.

4. Pokrętło pierścienia podpierającego.

5. Kołek masowy.

7.3 Złącze USB

Złącze USB umożliwia:

- Ładowanie akumulatora za pomocą zasilacza FLIR.
- Ładowanie akumulatora za pomocą kabla USB podłączonego do komputera.

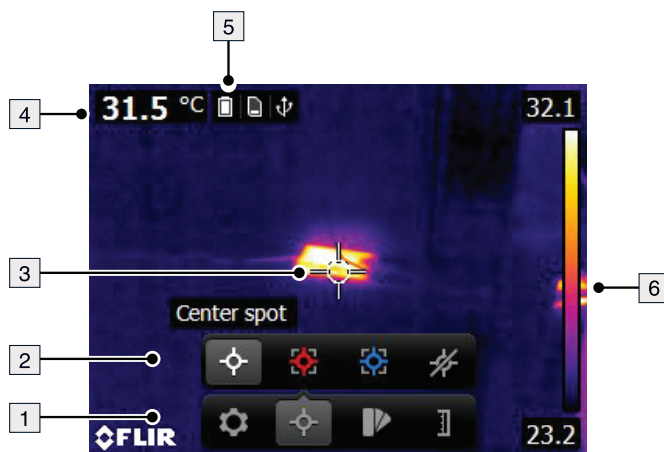
Uwaga Ładowanie kamery za pomocą kabla USB podłączonego do komputera trwa *znacznie dłużej* niż przy użyciu zasilacza FLIR.

- Przenoszenie obrazów z kamery do komputera w celu dalszej analizy w programie FLIR Tools/Tools+.

Uwaga Przed przystąpieniem do przenoszenia obrazów należy zainstalować program FLIR Tools/Tools+ na komputerze.

7.4 Elementy ekranu

7.4.1 Rysunek



7.4.2 Wyjaśnienie

1. Pasek menu głównego.
2. Pasek podmenu.
3. Punkt pomiarowy.
4. Tabela wyników
5. Ikony stanu.
6. Skala temperatury

8.1 Ładowanie akumulatora



OSTRZEŻENIE

Upewnij się, że gniazdko zasilania znajduje się w pobliżu sprzętu i jest do niego łatwy dostęp.

8.1.1 Ładowanie akumulatora za pomocą zasilacza FLIR

Wykonaj następujące czynności:

1. Podłącz zasilacz do gniazda sieci elektrycznej.
2. Włóż wtyczkę przewodu zasilacza do złącza USB kamery.
3. Zaleca się, aby odłączyć ładowarkę od gniazda sieci elektrycznej, gdy akumulator jest w pełni naładowany.

Uwaga Czas ładowania całkowicie rozładowanego akumulatora wynosi 2 godziny.

8.1.2 Ładowanie akumulatora za pomocą kabla USB podłączonego do komputera

Wykonaj następujące czynności:

1. Podłącz kamerę do komputera za pomocą kabla USB.

Uwaga

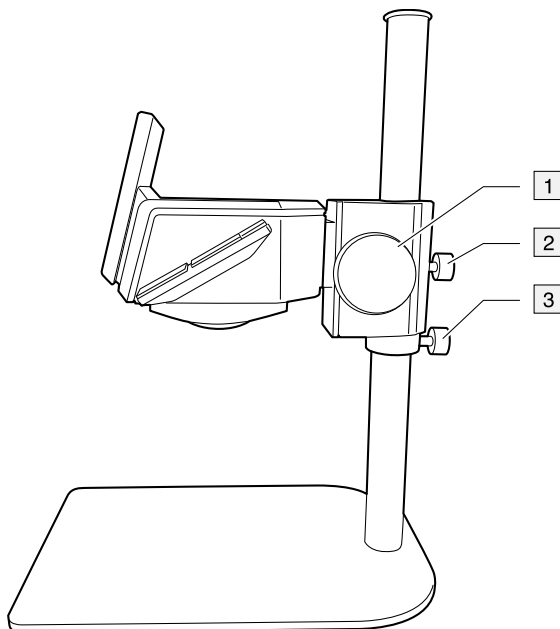
- Nie należy wyłączać komputera w trakcie ładowania kamery.
- Ładowanie kamery za pomocą kabla USB podłączonego do komputera trwa *znacznie dłużej* niż przy użyciu zasilacza FLIR.

8.2 Włączanie i wyłączanie kamery

- Naciśnij przycisk włączania/wyłączania, aby włączyć kamerę.
- Aby przejść do trybu uśpienia kamery, naciśnij i przytrzymaj przycisk włączania/wyłączania przez ok 5 s. Kamera zostanie automatycznie wyłączona po 48 godz.
- W celu wyłączenia kamery naciśnij przycisk włączania/wyłączania i przytrzymaj go przez ponad 10 s.

8.3 Regulacja pozycji kamery

8.3.1 Rysunek



8.3.2 Wyjaśnienie

1. Pokrętko precyzyjnej regulacji.
2. Pokrętko uchwyty stojaka.
3. Pokrętko pierścienia podpierającego.

8.3.3 Procedura

Uwaga Nie należy dotykać powierzchni obiektywu. W przypadku dotknięcia obiektywu należy go wyczyścić, postępując zgodnie z instrukcjami zamieszczonymi w punkcie 12.2 *Obiektyw na podczerwień*, strona 35.

Wykonaj następujące czynności:

1. Aby przeprowadzić precyzyjną regulację, przekręć pokrętko precyzyjnej regulacji.
2. Aby przeprowadzić regulację zgrubną, wykonaj następujące czynności:
 - 2.1. Poluzuj pokrętko uchwyty stojaka i przesun uchwyt stojaka do wybranej pozycji. Dokręć pokrętko uchwyty stojaka.
 - 2.2. Poluzuj pokrętko pierścienia podpierającego i przesun pierścień podpierający w pobliże uchwyty stojaka. Dokręć pokrętko pierścienia podpierającego.

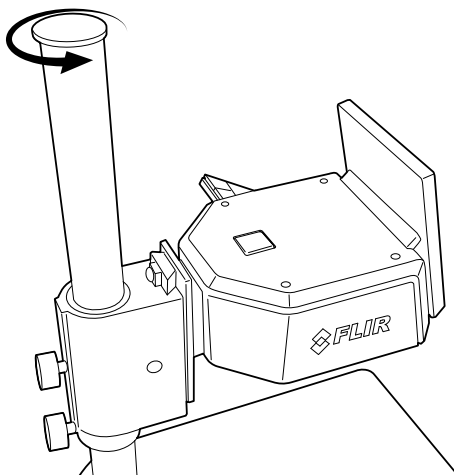
8.4 Demontaż uchwyty stojaka z kamery

Uwaga Nie należy dotykać powierzchni obiektywu. W przypadku dotknięcia obiektywu należy go wyczyścić, postępując zgodnie z instrukcjami zamieszczonymi w punkcie 12.2 *Obiektyw na podczerwień*, strona 35.

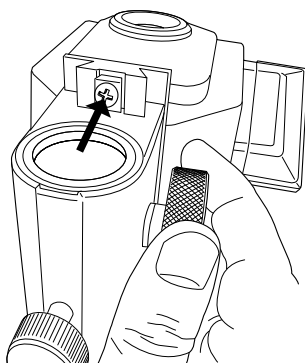
8.4.1 Procedura

Wykonaj następujące czynności:

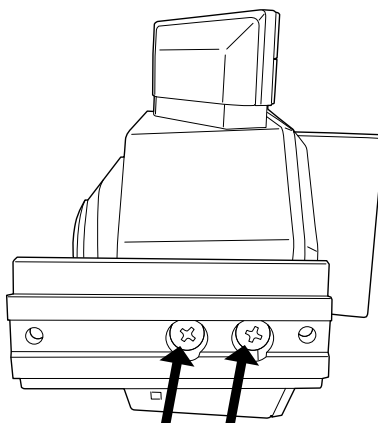
1. Przekręć i zdemontuj górną część uchwyty.



2. Poluzuj pokrętkę uchwyty stojaka i zdejmij kamerę ze stojaka.
3. Obracaj pokrętkę precyzyjnej regulacji w lewo, aż zobaczysz śrubę. Wykręć ją.



4. Obracaj pokrętkę precyzyjnej regulacji w prawo, aż zobaczysz śrubę po drugiej stronie. Wykręć ją.
5. Wymontuj uchwyty stojaka z kamery.
6. Wykręć dwie śruby mocujące uchwyty do kamery.



7. Wykręć dwie śruby mocujące uchwyty do kamery.
8. Zdejmij uchwyty z kamery.

9.1 Zapisywanie obrazu

9.1.1 Ogólne

Kamera posiada pamięć wewnętrzną, w której można zapisać wiele obrazów.

9.1.2 Pojemność pamięci

W wewnętrznej pamięci kamery można zapisać około 1500 obrazów.

9.1.3 Konwencja nazewnictwa

Zapisywanym obrazom nazwy nadawane są zgodne z konwencją *FLIRxxxx.jpg*, gdzie xxxx oznacza automatycznie przydzielany numer.

9.1.4 Procedura

Wykonaj następujące czynności:

1. Aby zapisać obraz, naciśnij przycisk Save.

9.2 Przywoływanie obrazu

9.2.1 Ogólne

Zapisane obrazy są przechowywane w wewnętrznej pamięci kamery. Aby wyświetlić obraz ponownie, należy go przywołać z wewnętrznej pamięci kamery.

9.2.2 Procedura

Wykonaj następujące czynności:

1. Naciśnij przycisk Archive.
2. Za pomocą przycisków ze strzałkami w lewo/prawo lub w górę/dół na panelu nawigacyjnym wybierz obraz, który chcesz wyświetlić.
3. Naciśnij środkowy przycisk na panelu nawigacyjnym. Wybrany obraz zostanie wyświetlony.
4. Wykonaj jedną lub kilka spośród następujących czynności:
 - Aby wyświetlić obraz na pełnym ekranie, wyświetlić informacje lub usunąć obraz, naciśnij środek przycisku nawigacyjnego. Spowoduje to wyświetlenia paska narzędzi.
 - Aby wyświetlić poprzedni lub następny obraz, naciśnij przycisk nawigacyjny w lewo lub w prawo.
5. Aby powrócić do trybu na żywo, kilkakrotnie naciśnij przycisk Wstecz lub naciśnij przycisk Archiwum.

9.3 Usuwanie obrazu

9.3.1 Ogólne

Możesz usunąć jeden lub więcej obrazów z wewnętrznej pamięci kamery.

9.3.2 Procedura

Wykonaj następujące czynności:

1. Naciśnij przycisk Archive.
2. Za pomocą przycisków ze strzałkami w lewo/prawo lub w górę/dół na panelu nawigacyjnym wybierz obraz, który chcesz usunąć.
3. Naciśnij środkowy przycisk na panelu nawigacyjnym. Wybrany obraz zostanie wyświetlony.

-
4. Naciśnij środkowy przycisk na panelu nawigacyjnym. Wyświetlony zostanie pasek narzędzi.
 5. Na pasku narzędzi wybierz *Delete* . Spowoduje to wyświetlenie okna dialogowego, w którym możesz usunąć obraz lub anulować usuwanie.

9.4 Usuwanie wszystkich obrazów

9.4.1 Ogólne

Istnieje możliwość usunięcia wszystkich obrazów z wewnętrznej pamięci kamery.

9.4.2 Procedura

Wykonaj następujące czynności:

1. Naciśnij środkowy przycisk na panelu nawigacyjnym. Wyświetlony zostanie pasek narzędzi.
2. Na pasku narzędzi wybierz *Opcje* . Wyświetlone zostanie okno dialogowe.
3. W oknie dialogowym wybierz *Ustawienia urządzenia*. Wyświetlone zostanie okno dialogowe.
4. W oknie dialogowym wybierz *Resetuj*. Wyświetlone zostanie okno dialogowe.
5. W oknie dialogowym wybierz *Delete all saved images*. Spowoduje to wyświetlenie okna dialogowego, w którym możesz na stałe usunąć zapisane obrazy lub anulować usuwanie.

9.5 Pomiar temperatury przy użyciu punktu pomiarowego

9.5.1 Ogólne

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

9.5.2 Procedura

Wykonaj następujące czynności:

1. Naciśnij środkowy przycisk na panelu nawigacyjnym. Wyświetlony zostanie pasek narzędzi.
2. Na pasku narzędzi wybierz *Pomiary* . Wyświetlony zostanie kolejny pasek narzędzi.
3. Na pasku narzędzi wybierz polecenie *Punkt środkowy* . Temperatura w miejscu punktu pomiarowego będzie teraz wyświetlana w lewym górnym rogu ekranu.

9.6 Pomiar najwyższej temperatury w danym obszarze

9.6.1 Ogólne

Kamera umożliwia pomiar najwyższej temperatury na danym obszarze dzięki ruchomemu punktowi pomiarowemu, który oznacza najwyższe wartości temperatur.

9.6.2 Procedura

Wykonaj następujące czynności:

1. Naciśnij środkowy przycisk na panelu nawigacyjnym. Wyświetlony zostanie pasek narzędzi.

-
2. Na pasku narzędzi wybierz *Pomiary*  Wyświetlony zostanie kolejny pasek narzędzi.
 3. Na pasku narzędzi wybierz polecenie *Hot spot* .

9.7 Pomiar najniższej temperatury w danym obszarze

9.7.1 Ogólne

Kamera umożliwia pomiar najniższej temperatury na danym obszarze dzięki ruchomemu punktowi pomiarowemu, który oznacza najniższe wartości temperatur.

9.7.2 Procedura

Wykonaj następujące czynności:

1. Naciśnij środkowy przycisk na panelu nawigacyjnym. Wyświetlony zostanie pasek narzędzi.
2. Na pasku narzędzi wybierz *Pomiary*  Wyświetlony zostanie kolejny pasek narzędzi.
3. Na pasku narzędzi wybierz polecenie *Cold spot* .

9.8 Ukrywanie narzędzi pomiarowych

9.8.1 Procedura

Wykonaj następujące czynności:

1. Naciśnij środkowy przycisk na panelu nawigacyjnym. Wyświetlony zostanie pasek narzędzi.
2. Na pasku narzędzi wybierz *Pomiary*  Wyświetlony zostanie kolejny pasek narzędzi.
3. Na pasku narzędzi wybierz polecenie *Brak pomiaru* .

9.9 Zmiana palety kolorów

9.9.1 Ogólne

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

9.9.2 Procedura

Wykonaj następujące czynności:

1. Naciśnij środkowy przycisk na panelu nawigacyjnym. Wyświetlony zostanie pasek narzędzi.
2. Na pasku narzędzi wybierz *Kolor*  Wyświetlony zostanie kolejny pasek narzędzi.
3. Wybierz nową paletę kolorów na pasku narzędzi.

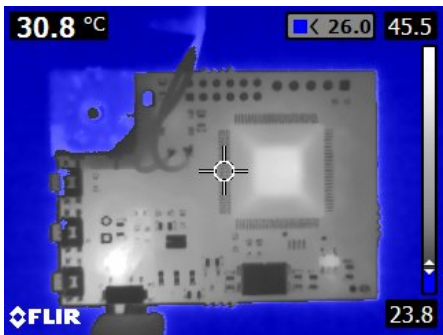
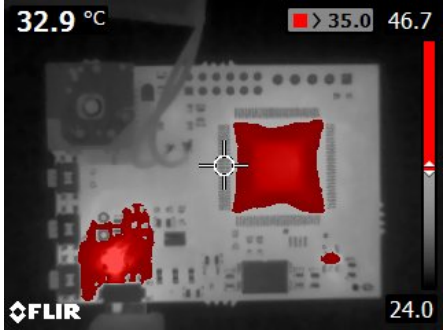
9.10 Praca z alarmami kolorowymi

9.10.1 Ogólne

Alarmy barwne (izotermy) pozwalają na wygodne wykrywanie anomalii w obrazie termowizyjnym. Polecenie dla izotermy nakłada kontrastowy kolor na wszystkie piksele o temperaturze powyżej lub poniżej zadanego poziomu wartości.

9.10.2 Przykładowe obrazy

W tabeli objaśniono różne typy alarmów barwnych (izoterm).

Kolor alarmu	Obraz
Poniżej poziomu alarmowego	
Powyżej poziomu alarmowego	

9.10.3 Procedura

Wykonaj następujące czynności:

1. Naciśnij środkowy przycisk na panelu nawigacyjnym. Wyświetlony zostanie pasek narzędzi.
2. Na pasku narzędzi wybierz *Kolor* . Wyświetlony zostanie kolejny pasek narzędzi.
3. Na pasku narzędzi wybierz typ alarmu:
 - *Poniżej poziomu alarmowego* 
 - *Powyżej poziomu alarmowego* 
4. Naciśnij środkowy przycisk na panelu nawigacyjnym. Temperatura progu alarmowego będzie widoczna w górnej części ekranu.
5. Aby zmienić temperaturę progu, naciśnij przycisk nawigacyjny w górę lub w dół.

9.11 Zmiana trybu skali temperatury

9.11.1 Ogólne

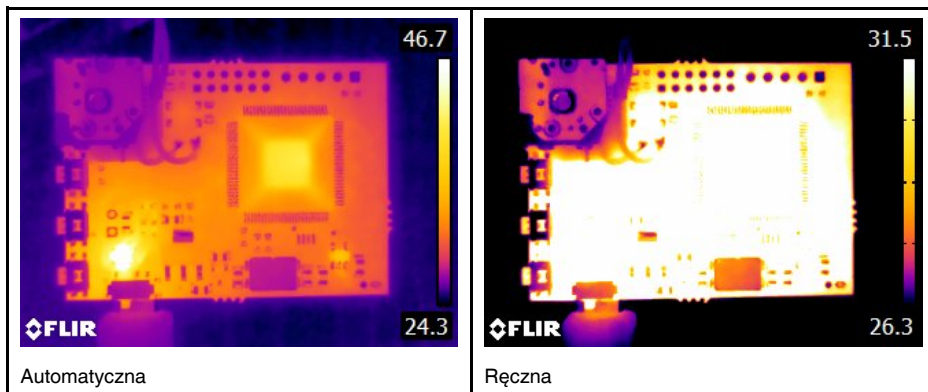
W zależności od modelu kamery może ona pracować w różnych trybach skali temperatury:

- W trybie *Auto* kamera automatycznie, w sposób ciągły, dostraja się w celu uzyskania optymalnej jasności i kontrastu obrazu.
- Tryb *Ręczny*: ten tryb umożliwia ręczną regulację zakresu temperatury i poziomu temperatury.

9.11.2 Kiedy należy stosować tryb *Ręczny*

Na tych ilustracjach przedstawiono dwa obrazy termowizyjne płytki drukowanej. Aby ułatwić analizę wahań temperatur w elemencie w lewym górnym rogu, na zdjęciu po

prawej stronie skalę temperatury zmieniono tak, aby wartości były zbliżone do temperatury elementu.



9.11.3 Procedura

Wykonaj następujące czynności:

1. Naciśnij środkowy przycisk na panelu nawigacyjnym. Wyświetlony zostanie pasek narzędzi.
2. Na pasku narzędzi wybierz *Temperature scale* . Wyświetlony zostanie kolejny pasek narzędzi.
3. Na pasku narzędzi wybierz jedną z następujących opcji:
 - *Auto* 
 - *Ręczny* 
4. Aby zmienić zakres temperatury i poziom temperatury w trybie *Ręczny*, wykonaj następujące działania:
 - Naciśnij przycisk nawigacyjny w lewo lub w prawo, aby podświetlić minimalny lub maksymalny zakres temperatury.
 - Naciśnij przycisk nawigacyjny w górę lub w dół, aby zmienić daną wartość.

9.12 Ustawianie emisyjności jako właściwość powierzchni

9.12.1 Ogólne

Aby dokonywać dokładnych pomiarów temperatury, kamera musi wiedzieć jaka powierzchnia jest przedmiotem pomiaru. Do wyboru są następujące właściwości powierzchni:

- *Matowe.*
- *Półmatowe.*
- *Półbłyszczące.*

Więcej informacji o emisyjności — patrz rozdział 15 *Techniki pomiarów termowizyjnych*, strona 42.

9.12.2 Procedura

Wykonaj następujące czynności:

1. Naciśnij środkowy przycisk na panelu nawigacyjnym. Wyświetlony zostanie pasek narzędzi.
2. Na pasku narzędzi wybierz *Opcje* . Wyświetlone zostanie okno dialogowe.
3. W oknie dialogowym wybierz *Parametry pomiarów*. Wyświetlone zostanie okno dialogowe.
4. W oknie dialogowym wybierz *Emisyjność*. Wyświetlone zostanie okno dialogowe.

5. W oknie dialogowym wybierz jedną z następujących opcji:

- *Matowe.*
- *Półmatowe.*
- *Półbłyszczące.*

9.13 Ustawianie emisyjności materiału własnego

9.13.1 Ogólne

Zamiast wybierania spośród trzech właściwości powierzchni (matt, semi-matt, semi-glossy), możesz określić własny materiał z listy materiałów.

Więcej informacji o emisyjności — patrz rozdział 15 *Techniki pomiarów termowizyjnych*, strona 42.

9.13.2 Procedura

Wykonaj następujące czynności:

1. Naciśnij środkowy przycisk na panelu nawigacyjnym. Wyświetlony zostanie pasek narzędzi.
2. Na pasku narzędzi wybierz *Opcje* . Wyświetlone zostanie okno dialogowe.
3. W oknie dialogowym wybierz *Parametry pomiarów*. Wyświetlone zostanie okno dialogowe.
4. W oknie dialogowym wybierz *Emisyjność*. Wyświetlone zostanie okno dialogowe.
5. W oknie dialogowym wybierz *Niestandardowy materiał*. Wyświetlona zostanie lista materiałów o znanych wartościach emisyjności.
6. Wybierz materiał z listy.

9.14 Określanie własnej wartości emisyjności

9.14.1 Ogólne

W przypadku bardzo dokładnych pomiarów może zająć konieczność ustawienia emisyjności zamiast wybierania właściwości powierzchni lub własnego materiału. 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.

Więcej informacji o emisyjności — patrz rozdział 15 *Techniki pomiarów termowizyjnych*, strona 42.

9.14.2 Procedura

Wykonaj następujące czynności:

1. Naciśnij środkowy przycisk na panelu nawigacyjnym. Wyświetlony zostanie pasek narzędzi.
2. Na pasku narzędzi wybierz *Opcje* . Wyświetlone zostanie okno dialogowe.
3. W oknie dialogowym wybierz *Parametry pomiarów*. Wyświetlone zostanie okno dialogowe.
4. W oknie dialogowym wybierz *Emisyjność*. Wyświetlone zostanie okno dialogowe.

-
5. W oknie dialogowym wybierz *Niestandardowa wartość*. Wyświetlone zostanie okno dialogowe, w którym można wprowadzić własną wartość.

9.15 Zmiana odbitej temperatury pozornej otoczenia

9.15.1 Ogólne

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

Więcej informacji o odbitej temperaturze pozornej — patrz rozdział 15 *Techniki pomiarów termowizyjnych*, strona 42.

9.15.2 Procedura

Wykonaj następujące czynności:

1. Naciśnij środkowy przycisk na panelu nawigacyjnym. Wyświetlony zostanie pasek narzędzi.
2. Na pasku narzędzi wybierz *Opcje* . Wyświetlone zostanie okno dialogowe.
3. W oknie dialogowym wybierz *Parametry pomiarów*. Wyświetlone zostanie okno dialogowe.
4. W oknie dialogowym wybierz *Temperatura odbita*. Wyświetlone zostanie okno dialogowe, w którym można wprowadzić wartość.

9.16 Wykonywanie korekcji niejednorodności (NUC)

9.16.1 Ogólne

Gdy kamera termowizyjna wyświetla komunikat *Trwa kalibracja...*, wykonuje czynność określaną w termografii mianem „korekty niejednorodności” (NUC). Korekta NUC to *wprowadzanie przez oprogramowanie kamery poprawek obrazu, które pozwalają skompensować różnice czułości elementów czujnika, a także niedoskonałości optyczne i geometryczne*². Więcej informacji znajduje się w części 17 *Informacje o wzorcowaniu*, strona 53.

Korekta NUC jest przeprowadzana automatycznie, na przykład przy uruchamianiu lub zmianie temperatury środowiska.

Możesz również przeprowadzić korektę NUC ręcznie. Jest to przydatne, gdy musisz wykonać ważny pomiar przy jak najmniejszym zakłóceniu obrazu.

9.16.2 Procedura

Wykonaj następujące czynności:

1. Aby wykonać ręczną korektę NUC, naciśnij i przytrzymaj przycisk Archiwum przez ponad 2 s.

2. . Definicja pochodzi z europejskiej normy EN 16714-3:2016, Badania nieniszczące — Badania termograficzne — Część 3: Terminy i definicje.

9.17 Zmiana ustawień

9.17.1 Ogólne

Możesz zmienić wiele ustawień kamery.

Menu *Ustawienia* zawiera następujące opcje:

- *Parametry pomiarowe.*
- *Ustawienia urządzenia.*

9.17.1.1 Parametry pomiarów

- *Emisyjność:* domyślna wartość 0,95.
- *Temperatura odbita:* domyślna wartość 20°C.
- *Odległość:* domyślna wartość 1,0 m.

Uwaga Podczas normalnej pracy w zasadzie nie ma potrzeby zmiany domyślnych parametrów pomiaru. Aby wykonywać bardzo dokładne pomiary, konieczna może być regulacja ustawień *Emisyjność* i/lub *Temperatura odbita*. Więcej informacji można znaleźć w rozdziałach 9.12 *Ustawianie emisyjności jako właściwość powierzchni*, 9.13 *Ustawianie emisyjności materiału własnego*, 9.14 *Określanie własnej wartości emisyjności* oraz 9.15 *Zmiana odbitej temperatury pozornej otoczenia*.

9.17.1.2 Ustawienia urządzenia

- *Region i godzina:*
 - *Język.*
 - *Jednostka temperatury.*
 - *Jednostka odległości.*
 - *Data i godzina.*
 - *Format daty i godziny.*
- *Resetuj:*
 - *Przywróć domyślny tryb kamery.*
 - *Przywróć fabryczne ustawienia urządzenia.*
 - *Usuń wszystkie zapisane obrazy.*
- *Autowyl. zasilania.*
- *Jasność wyświetlacza.*
- *Camera information:* po wyborze tego polecenia wyświetlone zostaną informacje na temat kamery, np. model, numer seryjny i wersja oprogramowania.

9.17.2 Procedura

Wykonaj następujące czynności:

1. Naciśnij środkowy przycisk na panelu nawigacyjnym. Wyświetlony zostanie pasek narzędzi.
2. Na pasku narzędzi wybierz *Opcje* . Wyświetlone zostanie okno dialogowe.
3. W oknie dialogowym wybierz ustawienie, które chcesz zmienić, i przejdź do kolejnych okien dialogowych, korzystając z panelu nawigacji.

9.18 Aktualizacja oprogramowania kamery

9.18.1 Ogólne

Należy jak najczęściej aktualizować oprogramowanie sprzętowe kamery, aby móc korzystać ze wszystkich jego zalet. Oprogramowane kamery można zaktualizować za pomocą programu FLIR Tools/Tools+.

9.18.2 Procedura

Wykonaj następujące czynności:

1. Uruchom program FLIR Tools/Tools+.
2. Włącz kamerę.
3. Podłącz kamerę do komputera za pomocą kabla USB.
4. W menu *Help* programu FLIR Tools/Tools+ kliknij opcję *Check for updates*.
5. Stosuj się do instrukcji wyświetlanych na ekranie.

10.1 Kalkulator pola widzenia online

Odwiedź stronę <http://support.flir.com> i kliknij zdjęcie serii kamer, aby wyświetlić tabele pola widzenia dla wszystkich kombinacji obiektyw-kamera.

10.2 Informacja o danych technicznych

FLIR Systems zastrzega sobie prawo do zmiany danych technicznych w dowolnym momencie bez uprzedniego informowania o tym fakcie. Najnowsze zmiany są dostępne pod adresem <http://support.flir.com>.

10.3 Informacja o obowiązujących wersjach

Obowiązująca wersja tej publikacji została sporządzona w języku angielskim. W przypadku rozbieżności na skutek błędów w tłumaczeniu priorytet zachowuje wersja angielska.

Wszelkie najnowsze zmiany są najpierw publikowane w języku angielskim.

10.4 FLIR ETS320

P/N: 63950-1001

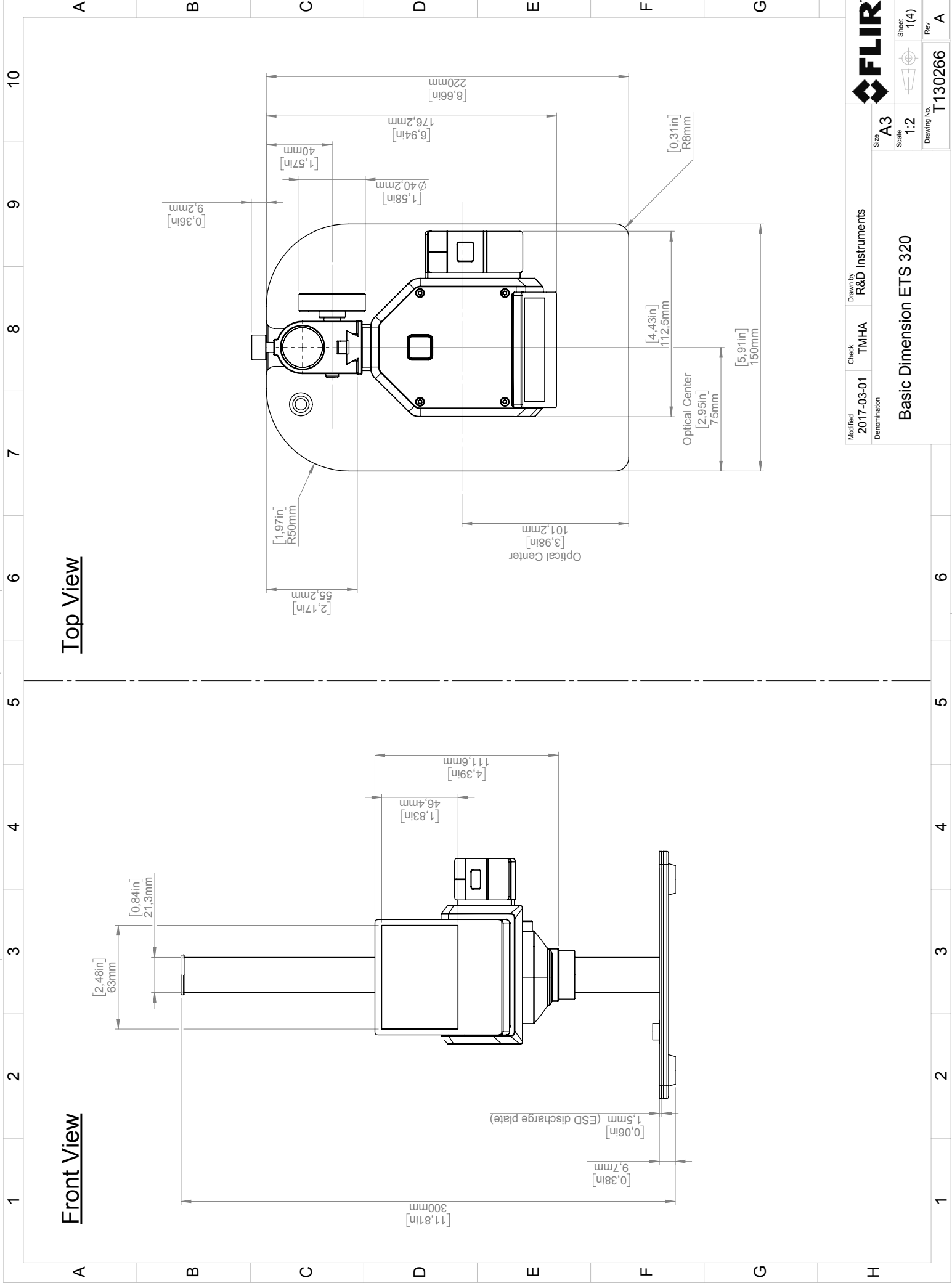
Rev.: 42969

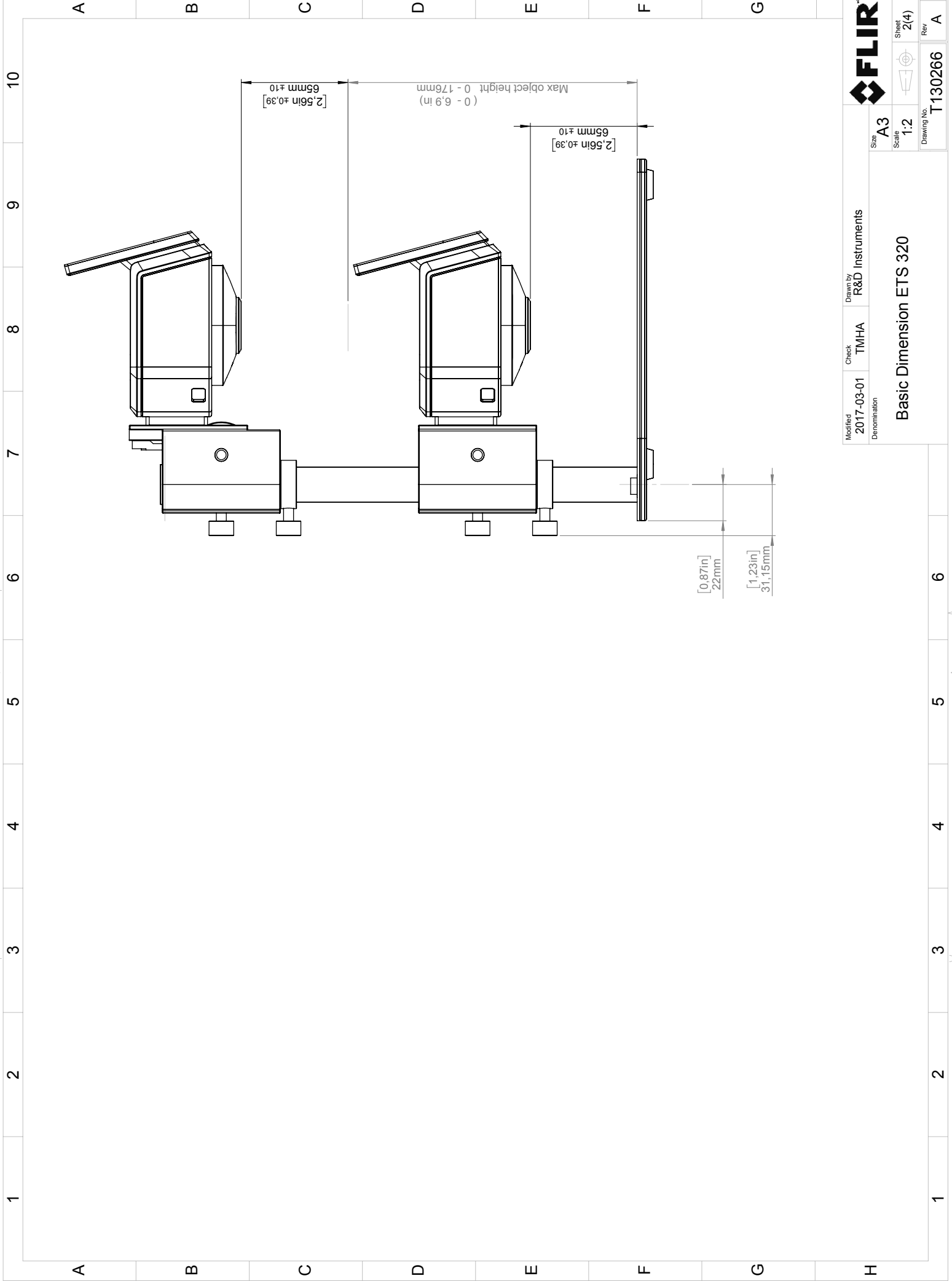
Ogólny opis	
FLIR ETS320 to pierwsza laboratoryjna kamera do testowania urządzeń elektronicznych firmy FLIR stworzona z myślą o szybkim sprawdzaniu temperatury płytek drukowanych i urządzeń elektronicznych. Kamera FLIR ETS320 jest tak czuła, że jest w stanie wykryć delikatne różnice w temperaturze z dokładnością $\pm 3^{\circ}\text{C}$, dzięki czemu możliwe jest szybkie odnalezienie gorących miejsc i punktów potencjalnych usterek. Detektor 320×240 pikseli na podczerwień oferuje ponad 76 000 punktów pomiaru temperatury, eliminując niepewność starszych narzędzi pomiarowych. Akumulatorowa kamera FLIR ETS 320 stworzona specjalnie do pracy na stole łączy się z komputerem, zapewniając natychmiastową analizę i udostępnianie danych termicznych.	
Korzyści: • Skrócenie czasu pomiarów: szybko określa gorące miejsca, gradienty temperatury oraz punkty potencjalnych usterek. • Poprawia konstrukcję produktu: zawsze wiesz, kiedy i gdzie dodać wentylatory i radiatory, a także masz pewność, że produkty będą działać zgodnie ze specyfikacjami przez ich maksymalny okres eksploatacji. • Oszczędność pieniędzy: usprawnij szybkie tworzenie prototypów i skróć cykle rozwoju produktu. • Optymalizacja czasu pracy w laboratorium: akumulatorowe i bezobsługowe urządzenie zapewnia kompletny pomiar i analizę w kamerze.	
Główne cechy: • Ponad 76 000 punktów bezkontaktowego pomiaru temperatury po naciśnięciu przycisku. • Detektor 320×240 pikseli zapewnia ostry obraz termowizyjny. • Czas a pomiar temperatury za pomocą narzędzi FLIR Tools+. • Pomiar małych elementów, rozmiar punktu pomiarowego to nawet $170 \mu\text{m}$ na piksel. • Soczewka zapewnia widok termowizyjny celu 45° i szybkie wykrywanie gorących miejsc. • Zapisuje pomiarowy obraz w standardowym formacie JPEG, co ułatwia udostępnianie. • Dokładność $\pm 3\%$ zapewnia jakość i akceptację płytek drukowanych w fabryce. • Szybki montaż na dostarczonym stojaku do natychmiastowego użycia. • Wyraźny 3-calowy wyświetlacz LCD zapewnia natychmiastowy obraz termowizyjny. • Światowej klasy oprogramowanie zapewnia zaawansowane korekty i możliwości pomiarowe.	
Dane obrazowania i optyki	
Rozdzielczość detektora podczerwieni	320×240 pikseli
Czułość termiczna/NETD	$<0,06^{\circ}\text{C}/<60 \text{ mK}$
Pole widzenia (FOV)	$45^{\circ} \times 34^{\circ}$
Stała ogniskowa (odległość ustawiania ostrości)	$70 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$
Rozdzielczość przestrzenna (IFOV)	2,6 mrad
Wartość F	1,5
Częstotliwość obrazu	9 Hz
Dane czujnika	
Typ czujnika	Matryca detektorowa płaszczyzny ogniskowej (FPA), niechłodzony mikrobolometr
Zakres spektralny	$7,5\text{--}13 \mu\text{m}$
Prezentacja obrazu	
Wyświetlacz	3,0 cala 320×240 kolorowy LCD
Regulacja obrazu	Automatyczna/ręczna

Pomiar	
Zakres temperatur obiektów	Od -20°C do +250°C
Dokładność	±3°C lub ±3% wskazania, w zależności od tego, która wartość jest większa, w temperaturze otoczenia od 10°C do 35°C oraz temperaturze przedmiotu powyżej +0°C
Analiza pomiaru	
Pomiar w punkcie	Punkt środkowy
Obszar	Obszar z wartościami maksimum/minimum
Korekcja emisyjności	Zmienna od 0,1 do 1,0
Tabela emisyjności	Tabela emisyjności wstępnie zdefiniowanych materiałów
Korekta odbitej temperatury pozornej	Automatyczna, oparta na danych temperatury odbitej
Konfiguracja	
Palety kolorów	Czarno-białe, żelazo i tęczowe
Polecenia konfiguracji	Lokalna adaptacja jednostek, języka, formatów daty i godziny
Strumieniowe przesyłanie wideo	
Radiometryczny streaming wideo w IR	W pełni dynamiczny do PC (FLIR Tools/Tools+) z użyciem USB
Strumieniowanie nieradiometrycznego wideo w podczerwieni	Nieskompresowane wideo kolorowe z użyciem USB
Przechowywanie obrazów	
Formaty plików	Standardowy JPEG, 14-bitowe dane pomiaru
Interfejsy przesyłania danych	
Interfejsy	Micro USB: transfer danych do i z urządzeń PC i Mac
Układ zasilania	
Typ akumulatora	Akumulator litowo-jonowy
Napięcie akumulatora	3,7 V
Czas pracy akumulatora	Ok. 4 godziny w temp. otoczenia 25°C przy typowym zastosowaniu
Układ ładowania	Akumulator jest ładowany wewnątrz kamery
Czas ładowania	2,5 godz. do 90% pojemności
Zarządzanie energią	Automatyczne wyłączenie
Korzystanie z prądu przemiennego	Zasilacz sieciowy, wejście 90–260 V AC, wyjście 5 V DC do kamery
Dane środowiskowe	
Zakres temperatur pracy	10-40°C
Zakres temperatur przechowywania	Od -40 do +70°C
Wilgotność (robocza i przechowywania)	IEC 60068-2-30/24 h 95% wilgotności względnej
Obudowa	IP 40 (IEC 60529)

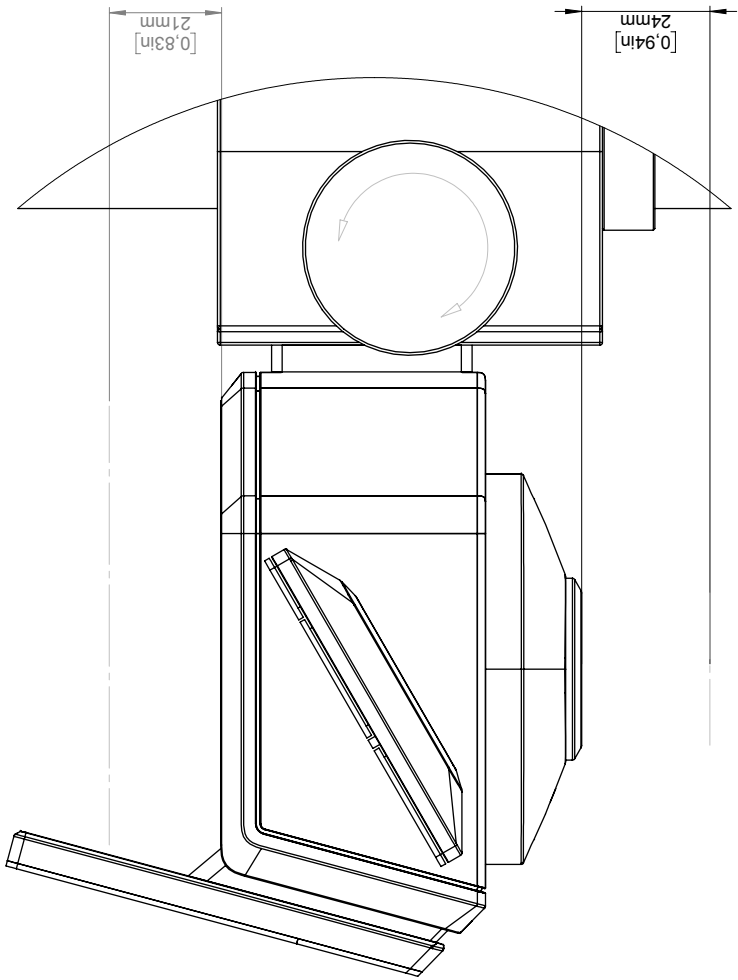
Dyrektywy i przepisy	
Dyrektywy i przepisy	• Dyrektywa dotycząca akumulatorów 2006/66/WE • Dyrektywa EMC 2014/30/UE • Dyrektywa RoHS2 2011/65/WE • Dyrektywa WEEE 2012/19/WE • FCC 47 CFR część 15 klasa B podrozdział B • Przepisy REACH WE 1907/2006
Dane fizyczne	
Masa urządzenia z akumulatorem	1,8 kg
Wymiary urządzenia (dł. x szer. x wys.)	220 mm x 150 mm x 300 mm
Kolor	Czarno-szara
Informacje o wysyłce	
Typ opakowania	Pudełko kartonowe
Lista zawartości	• Dokumentacja drukowana • FLIR Tools+ • Kabel USB • Kamera na podczerwień • Zasilacz
Waga opakowania	2,9 kg
Wymiary opakowania (dł. x szer. x wys.)	290 mm x 170 mm x 378 mm
EAN-13	4743254002913
UPC-12	845188014186
Kraj pochodzenia	Zaprojektowane i stworzone przez FLIR Systems, Szwecja. Wyprodukowane na Tajwanie.

[Patrz następna strona]





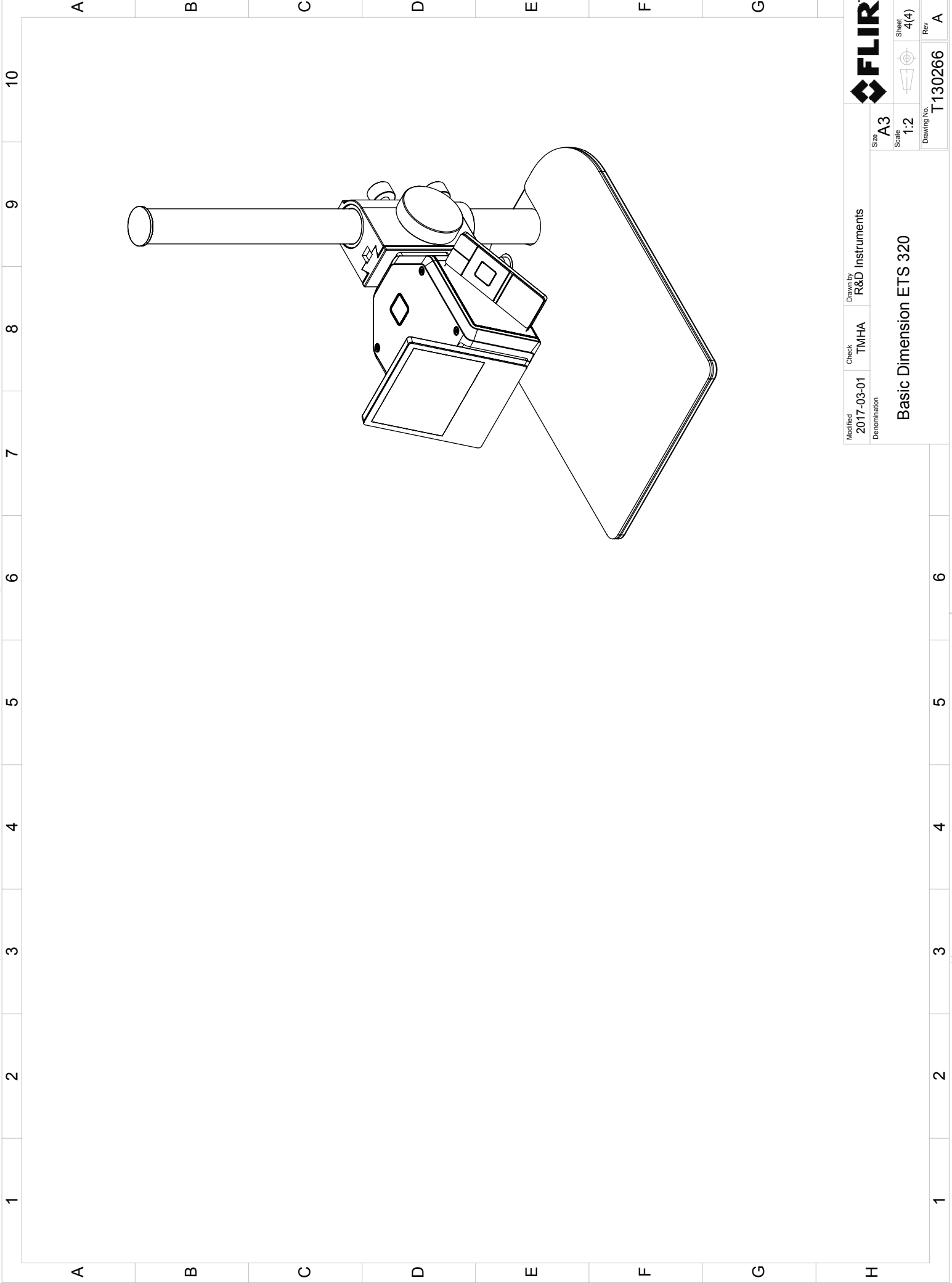
FLIR	Drawn by R&D Instruments			Size A3	Sheet 2(4)	Rev A
	Check TMHA	Denomination Basic Dimension ETS 320		Scale 1:2		
	Modified 2017-03-01			Drawing No. T130266		



DETAIL A
SCALE 1 : 1

Total adjustment length (locked): 45mm (1.77 in)

Modified 2017-03-01 Denomination	Check TMHA	Drawn by R&D Instruments	FLIR		
Basic Dimension ETS 320			Size A3	Sheet 3(4)	Rev A
			Scale 1:2	Drawing No. T130266	



Modified 2017-03-01		Check TMHA	Drawn by R&D Instruments	FLIR	
Denomination		Size A3		Sheet 4(4)	
Basic Dimension ETS 320		Scale 1:2		Drawing No. T130266	
				Rev A	

12.1 Obudowa, przewody i inne elementy kamery

12.1.1 Płyny

Należy używać jednego z następujących płynów:

- Ciepła woda
- Roztwór łagodnego detergentu

12.1.2 Przybory

Miękka ściereczka

12.1.3 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

12.2.1 Płyny

Należy używać jednego z następujących płynów:

- Dostępny w handlu płyn do czyszczenia obiektywów o zawartości ponad 30% alkoholu izopropylowego.
- Alkohol etylowy 96% (C₂H₅OH).

12.2.2 Przybory

Wata



OSTROŻNIE

Jeśli używasz szmatki do czyszczenia obiektywów, musi ona być sucha. Nie wolno stosować szmatki do czyszczenia obiektywów nasączonej płynami wymienionymi w powyższej sekcji 12.2.1. Płyny te mogą spowodować strzępienie się szmatki do czyszczenia obiektywów. Materiał ten może mieć negatywny wpływ na powierzchnię obiektywu.

12.2.3 Procedura

Wykonaj następujące czynności:

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



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.

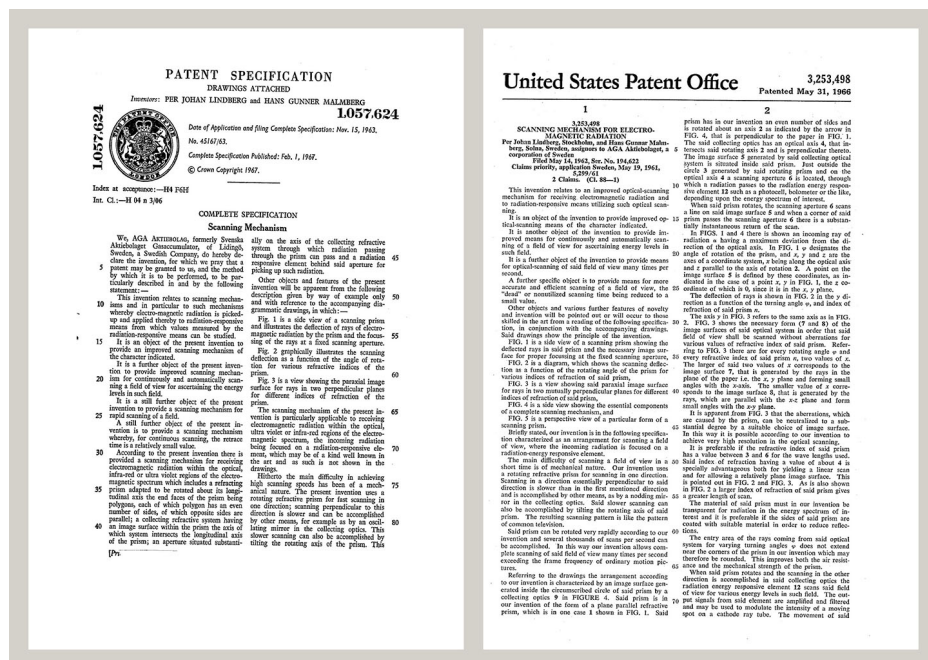
**OSTROŻNIE**

- 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.

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 Cedip.

Od 2007 r. firma FLIR Systems nabyła kilka spółek o wiodącym na świecie doświadczeniu w zakresie technologii czujników:

- Exttech Instruments (2007)
- Ifara Tecnologías (2008)
- Salvador Imaging (2009)
- OmniTech Partners (2009)
- Directed Perception (2009)
- Raymarine (2010)
- ICx Technologies (2010)
- TackTick Marine Digital Instruments (2011)
- Aerius Photonics (2011)
- Lorex Technology (2012)
- Traficon (2012)
- MARSS (2013)
- DigitalOptics – branża mikrooptyczna (2013)
- DVTEL (2015)
- Point Grey Research (2016)
- Prox Dynamics (2016)



Rysunek 13.1 Dokumenty patentowe z wczesnych lat 60-tych

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.



Rysunek 13.2 1969 r.: Thermovision Model 661. Kamera ważyła około 25 kg, oscyloskop — 20 kg, a statyw — 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).



Rysunek 13.3 2015 r.: FLIR One — kamera do smartfonów iPhone i telefonów z systemem Android. Waga: 90 g.

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.

13.1 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.

13.2 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 ośrodki 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.

13.3 Obsługa klientów

FLIR Systems posiada ogólnosiatową 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.

Termin	Definicja
Absorpcja i emisja ³	Zdolność obiektu do absorpcji energii promieniowania padającego jest zawsze taka sama jak zdolność do emisji własnej energii w postaci promieniowania.
Ciepło	Energia cieplna przekazywana między dwoma obiektami (układami) na skutek istniejącej pomiędzy nimi różnicy temperatur.
Diagnostyka	Badanie objawów i syndromów w celu określenia charakteru usterek i awarii. ⁴
Emisyjność	Stosunek mocy wypromieniowanej przez ciała rzeczywiste do wypromieniowanej mocy ciała czarnego w tej samej temperaturze i dla tej samej długości fali. ⁵
Energia cieplna	Całkowita energia kinetyczna cząsteczek tworzących dany obiekt. ⁶
Gradient cieplny	Stopniowa zmiana temperatury w zależności od odległości. ⁵
Izoterma	Zastępuje niektóre kolory na skali kolorem kontrastowym. Reprezentuje przedział tej samej temperatury pozornej. ⁷
Kierunek wymiany ciepła ⁸	Ciepło przepływa samorzutnie z układu o temperaturze wyższej do układu o temperaturze niższej i w ten sposób energia cieplna przekazywana jest z jednego obszaru w inny. ⁹
Konwekcja	Tryb wymiany ciepła, w którym płyn jest wprawiany w ruch przez grawitację lub inną siłę, wskutek czego dochodzi do wymiany ciepła między danymi obszarami.
Odbita temperatura pozorna	Temperatura pozorna otaczających obiektów, których promieniowanie jest odbijane przez obiekt docelowy do kamery na podczerwień. ⁵
Paleta kolorów	Uporządkowany zestaw kolorów określający konkretne poziomy temperatury pozornej. Palety mogą tworzyć zestawy kolorów o dużym i małym kontraście, w zależności od zastosowanych w nich barw.
Promieniowanie padające	Pochodzące z otoczenia promieniowanie oddziałujące na obiekt.
Promieniowanie wychodzące	Promieniowanie wychodzące z powierzchni obiektu niezależnie od jego pierwotnych źródeł.
Przewodnictwo	Bezpośrednie przekazywanie energii cieplnej między cząsteczkami spowodowane ich zderzeniami.
Regulacja cieplna	Proces nakładania kolorów obrazu na analizowany obiekt w celu zwiększenia kontrastu.
Rozdzielczość przestrzenna	Zdolność kamery na podczerwień do rozróżniania małych obiektów lub szczegółów.
Szybkość wymiany ciepła ¹⁰	Szybkość wymiany ciepła w warunkach stanu ustalonego jest wprost proporcjonalna do przewodności cieplnej obiektu, powierzchni przekroju obiektu, przez którą przepływa ciepło, oraz różnicy temperatur między dwoma końcami obiektu. Jest natomiast odwrotnie proporcjonalna do długości lub grubości obiektu. ¹¹

3. Prawo promieniowania cieplnego Kirchhoffa.

4. Na podstawie normy ISO 13372:2004 (ang.).

5. Na podstawie normy ISO 16714-3:2016 (ang.).

6. Energia cieplna stanowi część energii wewnętrznej obiektu.

7. Na podstawie normy ISO 18434-1:2008 (ang.).

8. Druga zasada termodynamiki.

9. Wynika to z drugiej zasady termodynamiki, ale sama zasada jest bardziej złożona.

10. Prawo Fouriera.

11. Jest to prawo Fouriera dotyczące zagadnienia jednowymiarowej wymiany ciepła właściwe dla warunków stanu ustalonego.

Termin	Definicja
Temperatura	Miara średniej energii kinetycznej cząsteczek i atomów tworzących substancję.
Temperatura pozorną	Odczyt temperatury bez kompensacji wykonany za pomocą aparatury termowizyjnej, obejmujący całe padające na nią promieniowanie niezależnie od jego źródeł. ¹²
Termografia ilościowa	Termografia wykorzystująca pomiar temperatury do określania ciężkości anomalii w celu ustalenia priorytetu napraw. ¹³
Termografia jakościowa	Termografia oparta na analizie wzorców cieplnych mająca na celu wykrycie istnienia anomalii i zlokalizowanie miejsca ich występowania. ¹³
Termografia podczerwona	Proces pozyskiwania i analizy informacji cieplnych pochodzących z bezkontaktowych urządzeń termowizyjnych.
Wymiana ciepła przez promieniowanie	Wymiana ciepła przez emisję i absorpcję promieniowania cieplnego.
Zasada zachowania energii ¹⁴	Całkowita energia układu izolowanego jest wartością stałą.

12. Na podstawie normy ISO 18434-1:2008 (ang.).

13. Na podstawie normy ISO 10878-2013 (ang.).

14. Pierwsza zasada termodynamiki.

15.1 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

15.2 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.

15.2.1 Badanie emisyjności próbki

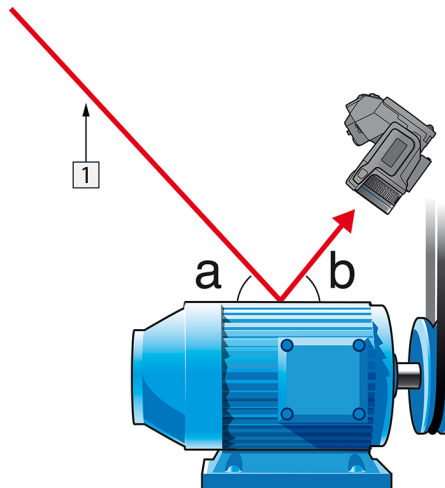
15.2.1.1 Krok 1: Określanie temperatury otoczenia

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

15.2.1.1.1 Metoda 1: Metoda bezpośrednia

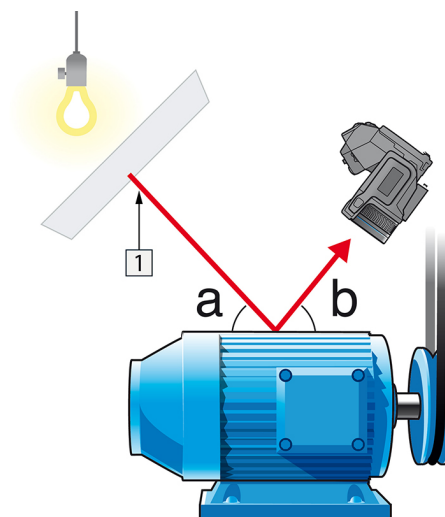
Wykonaj następujące czynności:

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



Rysunek 15.1 1 = źródło odbicia

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

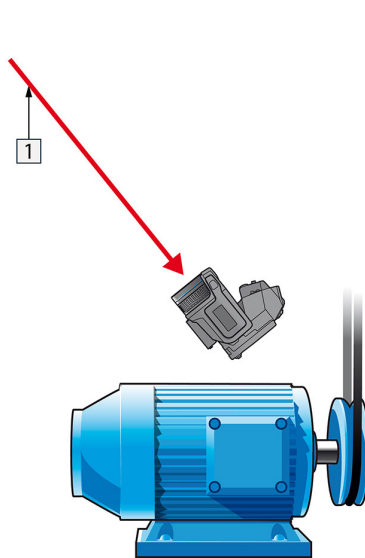


Rysunek 15.2 1 = źródło odbicia

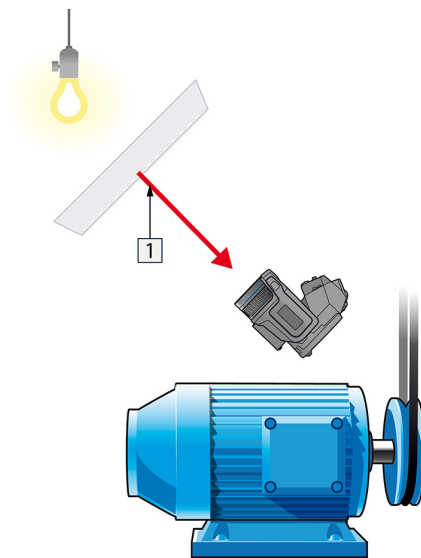
3. Zmierz intensywność promieniowania (= temperaturę pozorną) ze źródła odbicia, korzystając z następujących ustawień:

- Emisyjność: 1.0
- D_{obj} : 0

Intensywność promieniowania można zmierzyć jedną z dwóch następujących metod:



Rysunek 15.3 1 = źródło odbicia



Rysunek 15.4 1 = źródło odbicia

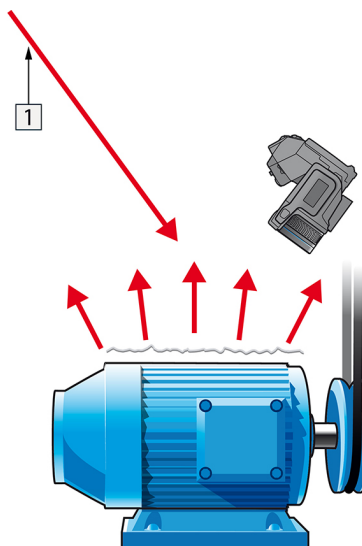
Odbitej temperatury pozornej nie można zmierzyć przy użyciu termopary, ponieważ termopara mierzy *temperaturę*, a temperatura pozorna zależy od *intensywności radiacji*.

15.2.1.1.2 Metoda 2: Metoda z użyciem nisko emisyjnego obiektu

Wykonaj następujące czynności:

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. Folia uważana jest za idealny reflektor, a jej temperatura pozorną równa się odbitej temperaturze pozornej otoczenia.



Rysunek 15.5 Pomiar temperatury pozornej folii aluminiowej.

15.2.1.2 Krok 2: Określanie emisyjności

Wykonaj następujące czynności:

1. Wybierz miejsce, w którym zostanie umieszczona próbka.
2. Określ i ustaw temperaturę otoczenia zgodnie z opisaną wcześniej procedurą.
3. Połóż 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. Dostosuj parametry *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:
 - *Izoterma* (pozwala na określenie, do jakiej temperatury i jak równo została podgrzana próbka)
 - *Punkt* (prostszy)
 - *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.

15.3 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.

15.4 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

15.5 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%.

15.6 Inne parametry

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

- Temperatura atmosferyczna — tj. temperatura atmosfery między kamerą a obiektem
- Temperatura zewnętrznego układu optycznego — tj. temperatura wszelkich obiektywów zewnętrznych lub okien znajdujących się przed kamerą
- Transmitancja zewnętrznego układu optycznego — tj. przepuszczalność wszystkich obiektywów zewnętrznych lub okien znajdujących się przed kamerą

16.1 Wprowadzenie

Na przestrzeni ostatnich lat kamery termowizyjne trafiły do różnorodnych obszarów biznesowych. Urządzenia te charakteryzują się łatwością obsługi i szybkością rejestrowania obrazów termicznych. Obrazy można również bez trudu dołączać do raportów, np. podczas inspekcji instalacji elektrycznych lub budynków, jako dowód wykonanej pracy, czy też stwierdzenia usterek lub nieprawidłowości. Często jednak zapominamy, iż obraz, który ma być przedstawiony jako dowód przed sądem, musi spełniać pewne wymogi, których osiągnięcie nie jest możliwe za pomocą zwykłego zdjęcia. Zatem jakie cechy charakteryzują dobry obraz termiczny?

16.2 Tło

W trakcie ćwiczeń praktycznych podczas szkoleń zauważamy wielokrotnie, jak trudno niektórym uczestnikom wybrać optymalne ustawienia kamery do różnych zadań. Nie wszyscy mają doświadczenie na przykład w fotografii amatorskiej (więcej na temat różnicy między termografią i fotografią w następnej części), ponieważ aby wykonać dobry, treściwy obraz termiczny potrzeba nieco wiedzy o fotografii, łącznie z praktycznym doświadczeniem. Dlatego nie zaskakuje fakt, że osoby wykonujące badania termowizyjne, szczególnie bez przeszkolenia, często tworzą raporty z obrazami termicznymi, które nie przekazują odpowiednich treści lub wręcz skłaniają do wyciągnięcia błędnych wniosków i nadają się wyłącznie do kosza. Niestety, takie raporty zdarzają nie tylko w firmach, w których termografia jest zaledwie usługą dodatkową, lecz również w firmach, gdzie raporty te mogą być częścią procesu monitorowania lub programu serwisowego o znaczeniu krytycznym. Istnieją dwie główne przyczyny tego stanu: albo użytkownicy nie wiedzą, jak powinien wyglądać dobry obraz termiczny oraz jak go wykonać, lub zadanie to nie jest wykonywane prawidłowo z innych przyczyn.

16.3 Dobry obraz

Skoro termografia i fotografia są dziedzinami pokrewnymi, warto przyjrzeć się, co jest ważne dla zawodowych fotografów. Co według nich cechuje dobry obraz? Najważniejsze są trzy aspekty:

1. Obraz musi w jakiś sposób oddziaływać na obserwatora. Oznacza to, że musi być niezwykle, przyciągający uwagę lub unikalny, musi wzbudzać zainteresowanie oraz zależnie od gatunku emocje.
2. Musi być zharmonizowany kompozycyjnie i tonalnie, szczegóły obrazu i treść muszą być dopasowane do siebie.
3. Należy korzystać z ciekawego oświetlenia, takiego jak podświetlenie lub oświetlenie boczne, która rzuca dramatyczne cienie, a nawet światło wieczorne lub inne atrakcyjne oświetlenie, które jest odpowiednie do ogólnego efektu, który zamierza uzyskać fotograf.

Do jakiego stopnia te pojęcia mają zastosowanie do termografii?

W termografii interesujący powinien być również motyw. Innymi słowy, naszym celem jest przedstawienie obiektu lub jego stanu. Emocje nie są wymagane — w obrazach termicznych pierwszeństwo mają fakty (zakładając, że obrazy nie stanowią części projektu artystycznego!). W codziennym życiu zawodowym ważne jest wyraźne ukazanie wzorców cieplnych i ułatwienie pomiarów temperatury.

Obraz termiczny musi również cechować się odpowiednim poziomem szczegółowości oraz przedstawiać obiekt w odpowiedniej skali i położeniu.

Bez zewnętrznego oświetlenia trudno coś dostrzec lub wykonać fotografię, ponieważ to, co widzimy na własne oczy lub przechwytujemy kamerą jest światłem odbitym. W termografii kamera rejestruje promieniowanie zarówno emitowane, jak i odbite. W związku z tym ważna jest zależność i intensywność promieniowania podczerwonego emitowanego zarówno przez obiekt, jak i przez otoczenie. Regulacja jasności i kontrastu obrazu odbywa się poprzez zmianę wyświetlanego zakresu temperaturowego.

Porównanie między fotografią i termografią można ująć w tabeli za pomocą kilku słów kluczowych:

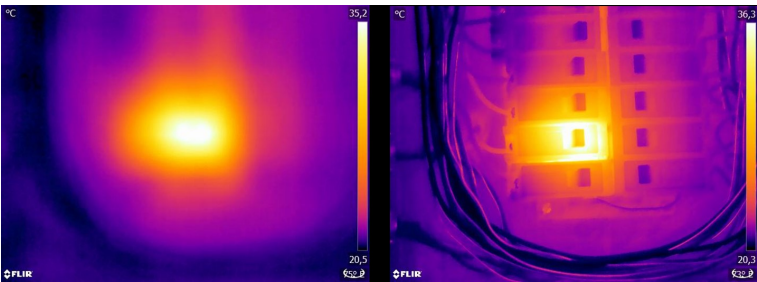
Fotografia	Termografia
Ciekawy motyw	Obiekt będący przedmiotem badania
„Opowiada historię”	„Przedstawia fakty”
Przyjemna dla oka	Wyraźne wzorce cieplne
Budząca emocje	Obiektywna
Szczegół obrazu	Szczegół obrazu
Ostrość	Ostrość
Oświetlenie	Emisja i odbicie
Jasność	Jasność
Kontrast	Kontrast

Podobnie jak w fotografii, w termografii istnieją niezliczone możliwości edycji obrazów pod warunkiem, że zostały one zapisane jako obrazy pomiarowe. Jednak nie wszystkie ustawienia mogą być zmieniane i nie wszystkie błędy obrazu można skorygować.

16.4 Trzy cechy niezmiennie, czyli podstawa dobrego obrazu

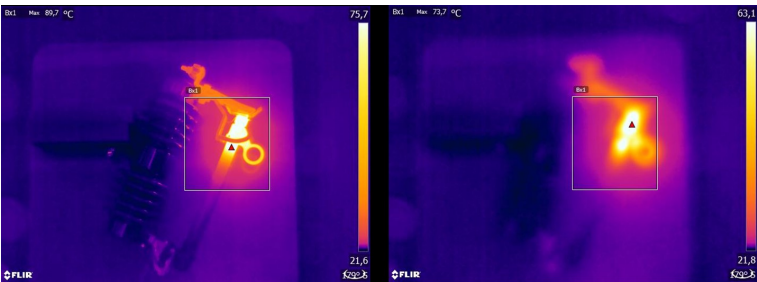
16.4.1 Ostrość

Profesjonalny obraz termiczny musi bezwzględnie być ostry i wyraźny, a obiekt i wzorce cieplne muszą być wyraźne i łatwe do rozpoznania.



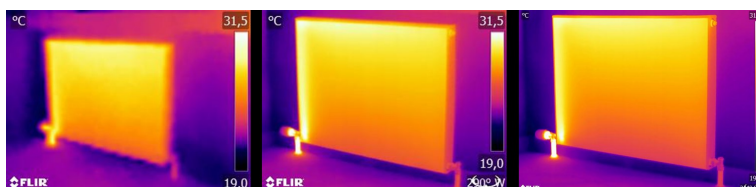
Rysunek 16.1 Na nieostrym obrazie widać tylko niewyraźne „ścieżki ciepła” (po lewej stronie). Ostry obraz (po prawej stronie) wskazuje, który obiekt jest obserwowany i gdzie występuje wysoka temperatura.

Nieostry obraz nie tylko podkreśla brak profesjonalizmu i utrudnia identyfikację obiektu oraz ewentualnych usterek (patrz Rysunek 16.1), ale może również prowadzić do błędów pomiarowych (patrz Rysunek 16.2), które są tym poważniejsze, im mniejszy jest obiekt pomiaru. Nawet jeśli wszystkie pozostałe parametry zostaną ustawione poprawnie, wartości pomiaru uzyskane z nieostrego obrazu termicznego prawdopodobnie będą nieprawidłowe.



Rysunek 16.2 Obraz termiczny z prawidłowo ustawioną ostrością (lewa strona) o maksymalnej temperaturze $T_{\max} = 89,7^{\circ}\text{C}$ i nieostry obraz termiczny (prawa strona) o maksymalnej temperaturze $T_{\max} = 73,7^{\circ}\text{C}$.

Oczywiście wielkość matrycy detektora ma również znaczenie dla jakości obrazu. Obrazy wykonane przez aparaty o małych detektorach (tj. z mniejszą ilością pikseli) są bardziej rozmyte lub „bardziej ziarniste” i sprawiają wrażenie nieostrych (patrz Rysunek 16.3). Należy również zauważyć, że w niektórych kamerach ustawienie ostrości może okazać się niemożliwe. Jedynym sposobem uzyskania ostrości w takiej sytuacji jest zmiana odległości kamery od obiektu.



Rysunek 16.3 Obrazy tego samego promiennika wykonane z tej samej odległości trzema różnymi kamerami: FLIR C2 (lewa strona), FLIR T440 (środek) i FLIR T640 (prawa strona).

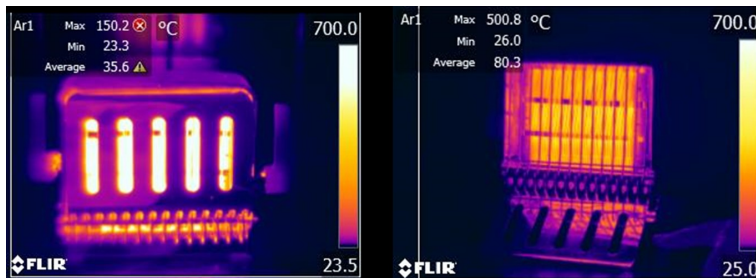
16.4.2 Zakres temperatur

W przypadku ręcznych niechłodzonych kamer mikrobolometrycznych „ekspozycja” zasadniczo jest ustalana poprzez częstotliwość zobrazowania. Oznacza to, że nie jest możliwe dokonanie wyboru jak długo promieniowanie będzie padać na detektor, a tym samym jaka będzie ogólna ilość tego promieniowania. W związku z tym konieczne jest wybranie odpowiedniego zakresu temperatur dostosowanego do promieniowania padającego. Jeśli wybrany zakres temperatur jest zbyt niski, obraz będzie nadmiernie nasycony, ponieważ obiekty o wyższych temperaturach emitują więcej promieniowania podczerwonego niż obiekty chłodniejsze. Jeśli wybrana temperatura jest zbyt wysoka, obraz termiczny będzie „niedoświetlony”, jak widać na Rysunek 16.4.



Rysunek 16.4 Obrazy wykonane kamerą FLIR T440 o zakresach temperatur –20 do +120°C (lewa strona), 0 do +650°C (środek) i +250 do +1200°C (prawa strona). Wszystkie pozostałe ustawienia bez zmian.

Aby wykonać obraz termiczny lub dokonać pomiaru temperatury, należy wybrać w kamerze najniższy dostępny zakres temperatury. Musi on jednak obejmować również najwyższą temperaturę obrazu (patrz Rysunek 16.5).

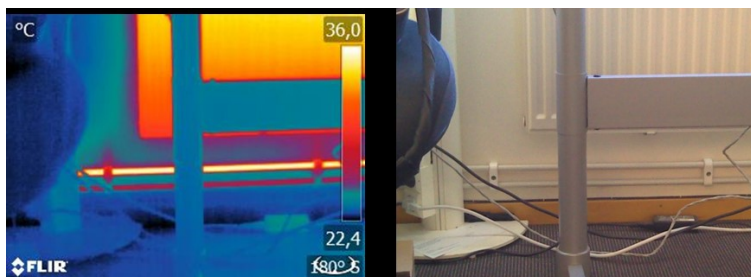


Rysunek 16.5 Obraz tego samego obiektu wykonany w różnych zakresach temperatur: –20 do 120°C (lewa strona) i 0 do 650°C (prawa strona). Temperatura na lewym obrazie jest wyświetlana ze znakiem ostrzegawczym (czerwone koło z białym krzyżykiem), ponieważ mierzone wartości znajdują się poza zakresem kalibracji.

W zależności od modelu kamery i opcji konfiguracji, prześwietlone oraz niedoświetlone obszary mogą być wyświetlane w kontrastującym kolorze.

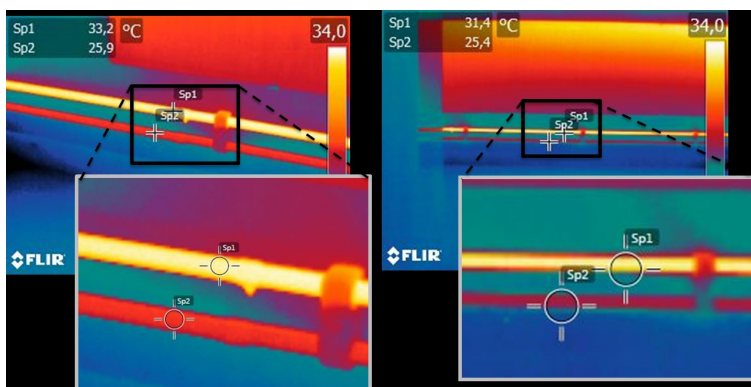
16.4.3 Szczegóły obrazu i odległość od obiektu

Oświetleniu w fotografii odpowiada w termografii wzajemne oddziaływanie promieniowania z obiektu i promieniowania odbitego od otaczającego środowiska. To ostatnie jest niepożądane, ponieważ zakłóca, a przynajmniej punktowych odbić należy unikać. Uzyskuje się to poprzez wybór odpowiedniego miejsca wykonywania obrazów. Wskazane jest również, aby wybrać pozycję, z której obiekt jest wyraźnie widoczny i przy której nie jest ukryty. Może to wydawać się oczywiste, lecz przykładowo w sektorze budowlanym często spotyka się raporty, w których przewody lub okna stanowiące przedmiot badania są ukryte za kanapami, kwiatami lub zasłonami. Rysunek 16.6 ilustruje tę sytuację, która zdarza się niestety zbyt często.



Rysunek 16.6 „Badanie termowizyjne” niedostępnego obiektu.

Ważne jest również, aby obiekt będący przedmiotem badania lub jego interesujące obszary zajmowały cały obraz termiczny. Jest to szczególnie istotne podczas pomiaru temperatury małych obiektów. Aby umożliwić wykonanie prawidłowych pomiarów temperatury, narzędzie punktowe powinno być całkowicie wypełnione przez obiekt. Ponieważ pole widzenia, a zatem rozmiar plamki pomiarowej są określane zarówno przez odległość do obiektu jak i układ optyczny kamery, aby poprawić dokładność pomiaru należy albo zmniejszyć odległość do obiektu (należy podejść bliżej), albo należy skorzystać z teleobiektywu (patrz Rysunek 16.7).



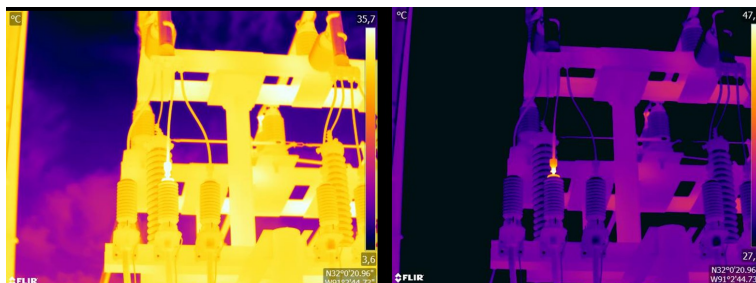
Rysunek 16.7 Przewody zasilania i powrotne grzejników w otwartej przestrzeni biurowej. Obraz po lewej stronie został wykonany z odległości 1 m: punkt pomiarowy został wypełniony, a pomiar temperatury został wykonany prawidłowo. Obraz po prawej stronie został wykonany z odległości 3 m: punkt pomiaru nie został całkowicie wypełniony, a zmierzone wartości temperatury są nieprawidłowe (31,4 i 24,4°C zamiast 33,2 i 25,9°C).

16.5 Zmienne — optymalizacja obrazu i pomiar temperatury

16.5.1 Poziom i zakres

Po wybraniu odpowiedniego zakresu temperatury można wyregulować kontrast i jasność obrazu termicznego, zmieniając wyświetlane zakresy temperatur. W trybie ręcznym fałszywe kolory dostępne w palecie mogą być przypisane do temperatur badanego obiektu. Proces ten nazywany jest często „regulacją termiczną”. W trybie automatycznym kamera wybiera najniższe i najwyższe temperatury widoczne na obrazie jako górną oraz dolną granicę aktualnie wyświetlanego przedziału temperatury.

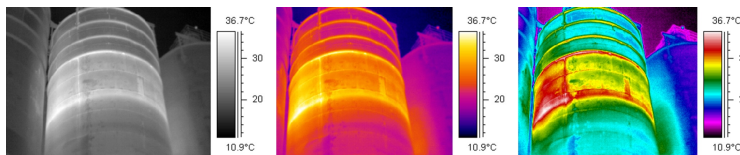
Dobre lub nakierowane na konkretną usterkę skalowanie obrazu termicznego jest ważnym, a zarazem często niedocenianym elementem interpretacji obrazu (patrz Rysunek 16.8).



Rysunek 16.8 Obraz termiczny w trybie automatycznym (z lewej strony) i w trybie ręcznym (po prawej stronie). Zmodyfikowany przedział temperatury zwiększa kontrast obrazu i podkreśla występujące usterki.

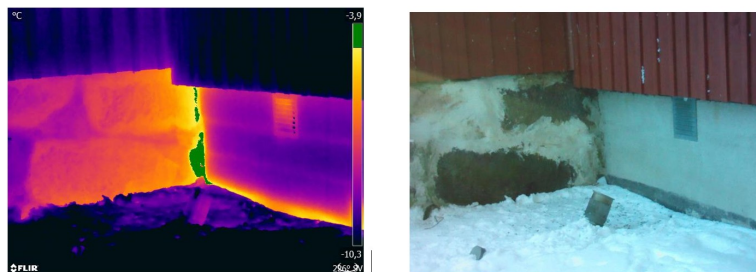
16.5.2 Palety i izotermy

Palety reprezentują zakresy tych samych pozornych temperatur za pomocą różnych zestawów kolorów. Innymi słowy, tłumaczą specyficzne natężenia promieniowania na kolory, które są określone dla konkretnej palety. Często używane są palety szarości, żelaza i tarczy (patrz Rysunek 16.9). Odcienie szarości są szczególnie przydatne do analizy małych szczegółów geometrycznych, jednak mniej użyteczne podczas wyświetlania nieznacznych różnic temperatury. Paleta żelaza jest bardzo intuicyjna i łatwa do zrozumienia dla osób bez większego doświadczenia w termografii. Zapewnia dobrą równowagę pomiędzy rozdzielczością geometryczną i termiczną. Paleta tarczy jest bardziej kolorowa, a w jej strukturze występują na przemian barwy jasne i ciemne. Powoduje to większy kontrast, ale może doprowadzić do zaszumionego obrazu w przypadku obiektów o różnych powierzchniach lub wielu temperaturach.



Rysunek 16.9 Palety: szarości, żelaza i tarczy (od lewej do prawej).

Izoterma jest funkcją pomiarową, w ramach której wyświetlany jest odcinek tej samej temperatury pozornej czy natężenia promieniowania w kolorze innym niż występujące w paletcie. Pozwala to na podkreślenie wzorców temperatury w obrazie (patrz Rysunek 16.10).

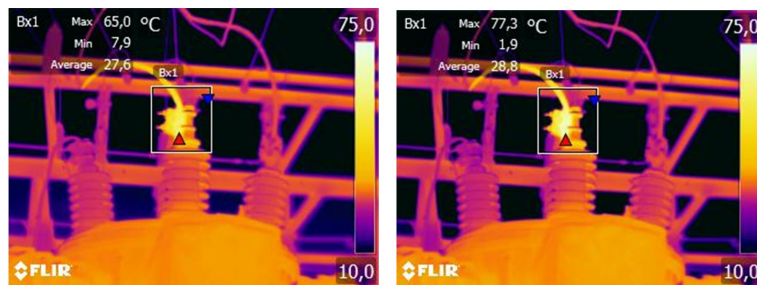


Rysunek 16.10 Ściana fundamentu: połączenie między starą (po lewej stronie obrazu) i nową (po prawej stronie obrazu) częścią budynku. Izoterma podkreśla obszar przepływu powietrza.

16.5.3 Parametry obiektu

Jak widzieliśmy, wygląd obrazów termicznych zależy od techniki i wyboru ustawień przez osobę prowadzącą badanie termowizyjne, a wygląd zapisanych obrazów radiometrycznych można zmienić w trakcie edycji. Można jednak również zmienić ustawienia, które

są istotne dla obliczenia temperatur. W praktyce oznacza to, że zmianom może ulec emisyjność i odwzorowana temperatura pozorna. Jeśli zauważysz, że te parametry zostały ustawione nieprawidłowo lub chcesz dodać więcej punktów pomiaru, pomiary temperatury zostaną obliczone lub ponownie obliczone stosownie do wprowadzonych zmian (patrz Rysunek 16.11).



Rysunek 16.11 Zmiana emisyjności zapisanego obrazu. Temperatura maksymalna wynosi 65,0°C dla $\varepsilon = 0,95$ dla obrazu po lewej stronie i 77,3°C dla $\varepsilon = 0,7$ dla obrazu po prawej stronie.

16.6 Wykonywanie obrazów — porady praktyczne

Poniższa lista zawiera kilka praktycznych porad. Należy jednak pamiętać, że nie jest to dokładny opis procedury obrazowania termowizyjnego.

- Sprawdź, czy kamera zapisuje obrazy pomiarowe.
- Wybierz właściwe miejsce wykonywania obrazów:
 - Obserwuj promieniowanie.
 - Sprawdź, czy obiekt jest wyraźny i wyświetlany we właściwych rozmiarach oraz we właściwym położeniu.
- W przypadku zmiany emisyjności obserwuj zakres temperatur i sprawdź, czy jest właściwy.
- Regulacja ostrości.
- Używaj statywu, aby zminimalizować drgania aparatu.
- Wykonaj regulację termiczną.
- Zapisz opis obiektu, rozmiary obiektu, rzeczywistą odległość, warunki otoczenia i warunki eksploatacyjne.

Łatwiej jest zmienić obraz termowizyjny, kiedy jest on zapisywany lub „zamrożony” (w „Podglądzie”). Ponadto nie ma potrzeby wykonywać wszystkich czynności na miejscu, a więc można opuścić niebezpieczną strefę natychmiast po zarejestrowaniu obrazu. Jeśli to możliwe, wykonaj kilka obrazów więcej niż jest to potrzebne, w tym pod różnymi kątami. Jest to znacznie korzystniejsze niż wykonanie zbyt małej ilości obrazów! Dzięki temu najlepszy obraz można wybrać w wolnej chwili.

16.7 Na zakończenie

Wykonanie dobrego obrazu termicznego nie wymaga niesamowitej wiedzy — wystarczy solidne rzemiosło i praca. Wiele z wymienionych porad może wydawać się błahych i przestarzałych, szczególnie dla fotografów amatorów. Oczywiście sprzęt ma spore znaczenie w kwestii ostrości obrazów. Urządzenia wyższej klasy, czyli kamery zaawansowane, umożliwiają szybkie lokalizowanie nawet małych nieprawidłowości, a w tych bez możliwości ustawiania ostrości trudno jest uzyskać ostre obrazy za każdym razem. Jednak wysokiej klasy kamery nie dają gwarancji dobrych obrazów, o ile nie będą one używane prawidłowo. Podstawą dobrej, profesjonalnej pracy jest kształcenie i szkolenie w zakresie termografii, wymiana wiedzy z innymi osobami wykonującymi badania termowizyjne oraz oczywiście doświadczenie praktyczne.

17.1 Wprowadzenie

Wzorcowanie kamery termicznej to warunek wstępny dla pomiaru temperatury. Wzorcowanie umożliwia ustalenie zależności między sygnałem wejściowym a fizyczną ilością, którą użytkownik chce zmierzyć. Pomimo jego powszechnego i częstego stosowania, termin „wzorcowanie” jest często nieprawidłowo rozumiany i używany. Zarówno lokalne i krajowe różnice, jak również problemy związane z przekładem, tworzą dalsze niejasności.

Niejasna terminologia może doprowadzić do problemów z komunikacją i błędnego tłumaczenia, co skutkuje niewłaściwymi pomiarami spowodowanymi nieprawidłowym zrozumieniem, a w najgorszym przypadku pozwami sądowymi.

17.2 Definicja — czym jest wzorcowanie?

Międzynarodowe Biuro Wag i Miar¹⁵ definiuje *kalibrację*¹⁶ w następujący sposób:

an operation that, under specified conditions, in a first step, establishes a relation between the quantity values with measurement uncertainties provided by measurement standards and corresponding indications with associated measurement uncertainties and, in a second step, uses this information to establish a relation for obtaining a measurement result from an indication.

Wzorcowanie może mieć różne postacie: może to być zestawienie, funkcja wzorcowania, diagram wzorcowania¹⁷, krzywa wzorcowania¹⁸ lub tabela wzorcowania.

Zazwyczaj tylko pierwszy krok z tej definicji jest postrzegany i określany jako „wzorcowania”. Jednakże nie jest to (zawsze) wystarczające.

Biorąc pod uwagę procedurę wzorcowania kamery termicznej, pierwszy krok pozwala ustalić związek między emitowanym promieniowaniem (wartością ilościową) a elektrycznym sygnałem wyjściowym (wskazaniem). Pierwszy krok procedury wzorcowania składa się z uzyskania spójnej (lub ujednoliconej) odpowiedzi, gdy kamera jest umieszczona przed rozszerzonym źródłem promieniowania.

Ponieważ znamy temperaturę źródła odniesienia emitującego promieniowanie uzyskany sygnał wyjściowy (wskazanie) można w drugim kroku powiązać z temperaturą źródła odniesienia (wynik pomiaru). Drugi krok obejmuje pomiar wahań i kompensację.

Precyzując, wzorcowanie kamery termicznej nie jest ściśle wyrażana poprzez wartość temperatury. Kamery termiczne są czułe na promieniowanie podczerwone: w związku z tym w pierwszej kolejności uzyskiwana jest zgodność promieniowania, a następnie ustalana jest zależność między promieniowaniem a temperaturą. W przypadku kamer z bolometrem używanych przez klientów z innej branży niż naukowa promieniowanie nie jest określone — zapewniany jest tylko odczyt temperatury.

17.3 Wzorcowanie kamery w firmie FLIR Systems

Bez wzorcowania, kamera termowizyjna nie jest w stanie dokonać pomiaru radiancji lub temperatury. W firmie FLIR Systems wzorcowanie kamer wyposażonych w mikrobolometr niechłodzony z możliwością pomiaru jest przeprowadzana na etapie produkcji i serwisowania. Chłodzone kamery mające detektory fotonowe są często wzorcowane przez użytkownika przy użyciu specjalnego oprogramowania. Teoretycznie dzięki tego typu

15. <http://www.bipm.org/en/about-us/> [dostęp 2017-01-31.]

16. <http://jcgim.bipm.org/vim/en/2.39.html> [dostęp 2017-01-31.]

17. <http://jcgim.bipm.org/vim/en/4.30.html> [Pobrano 2017-01-31]

18. <http://jcgim.bipm.org/vim/en/4.31.html> [Pobrano 2017-01-31]

oprogramowaniu powszechnie używane niechłodzone kamery termiczne mogłyby również być wzorcowane przez użytkownika. Niemniej jednak oprogramowanie to jest nieodpowiednie do sporządzania raportów i większość użytkowników go nie posiada. Urządzenia niepomiaryowe służące jedynie do obrazowania nie wymagają wzorcowania temperatury. Czasami jest to odzwierciedlone w terminologii kamery, zwłaszcza kiedy porównujemy kamery termowizyjne czy kamery termiczne z kamerami termograficznymi, które są urządzeniami pomiarowymi.

Informacje o wzorcowaniu, niezależnie od rodzaju wzorcowania wykonywanego przez firmę FLIR Systems lub użytkownika, są przechowywane w krzywych wzorcowania, które są wyrażane przez funkcje matematyczne. Gdy intensywność radiancji w zakresie temperatury i odległości między obiektem a kamerą zmienia się, generowane są różne krzywe dla poszczególnych zakresów temperatur i wymiennych obiektów.

17.4 Różnice między wzorcowaniem wykonywaną przez użytkownika a wzorcowaniem wykonywaną bezpośrednio przez firmę FLIR Systems

Po pierwsze, źródła odniesienia, które wykorzystuje firma FLIR Systems są wzorcowane. Oznacza to, że w każdej placówce firmy FLIR Systems wykonującej wzorcowanie źródła są kontrolowane przez niezależny organ krajowy. Certyfikat wzorcowania kamery jest tego potwierdzeniem. Jest to dowód nie tylko na wykonanie wzorcowania przez firmę FLIR Systems, lecz również potwierdzenie, że została ona przeprowadzona za pomocą wiarygodnych źródeł odniesienia. Niektórzy użytkownicy posiadają lub mają dostęp do akredytowanych źródeł odniesień, lecz stanowią oni niewielką grupę.

Po drugie, istnieje pewna różnica techniczna. W przypadku wykonywania wzorcowania przez użytkownika wynik jest często (choć nie zawsze) nieskompensowany pod względem wahań. Oznacza to, że wartości nie biorą pod uwagę możliwej modyfikacji sygnału wyjściowego kamery, gdy wewnętrzna temperatura kamery się zmieni. Skutkuje to większą niepewnością. Kompensacja wahań wykorzystuje dane pozyskane w klimatyzowanych komorach. Wszystkie kamery firmy FLIR Systems są skompensowane pod względem wahań w momencie pierwszej dostawy do klienta oraz w przypadku ponownego wzorcowania przez dział serwisu firmy FLIR Systems.

17.5 Wzorcowanie, weryfikacja i regulacja

Powszechnym zjawiskiem jest mylenie *wzorcowania* z *weryfikacją* lub *regulacją*. W rzeczywistości wzorcowanie jest wymogiem wstępnym do przeprowadzenia *weryfikacji*, która stanowi potwierdzenie, że określone warunki zostały spełnione. Weryfikacja gwarantuje obiektywny dowód, który potwierdza, że dany element spełnia określone wymagania. Aby uzyskać weryfikację, mierzone są temperatury (emitowana radiancja) wzorcowanych źródeł odniesienia są mierzone. Wyniki pomiaru, w tym odchylenie, są zapisywane w tabeli. Certyfikat weryfikacji potwierdza, że te wyniki pomiaru spełniają określone warunki. Czasami firmy lub organizacje oferują i wprowadzają na rynek ten certyfikat weryfikacji jako „certyfikat wzorcowania”.

Odpowiednią weryfikację — a w związku z tym również wzorcowanie i/lub ponowne wzorcowanie — można uzyskać wyłącznie poprzez przestrzeganie zatwierdzonego protokołu. Proces obejmuje znacznie szerszy zakres niż umieszczenie kamery naprzeciwko ciała czarnych i sprawdzenie, czy sygnał wyjściowy kamery (np. temperatura) odpowiada pierwotnej wartości w tabeli wzorcowania. Często zapomina się jednak o tym, że kamera nie jest czuła na temperaturę, lecz na promieniowanie. Ponadto kamera to system *obrazowania*, a nie tylko pojedynczy czujnik. Co za tym idzie, jeśli optyczna konfiguracja umożliwiająca kamerze „zbieranie” radiancji jest niewłaściwa lub niewyregulowana, „weryfikacja” (lub wzorcowanie albo ponowne wzorcowanie) są bezużyteczne.

Należy na przykład upewnić się, że odległość między ciałem czarnym a kamerą, jak również średnica wnęki ciała czarnego, zostały tak wybrane, aby zmniejszyć promieniowanie nieużyteczne i efekt rozmiaru źródła.

Podsumowując: zatwierdzony protokół musi być zgodny z prawami fizyki dla *radiancji*, a nie dla temperatury.

Wzorcowanie jest także wymogiem wstępnym dla *regulacji*, która stanowi zestaw czynności wykonywanych w systemie pomiarowym w taki sposób, aby zapewnić określone wskazania odpowiadające danym wartościom mierzonych wielkości zazwyczaj pozyskiwanym ze standardów pomiarowych. Uproszczając, regulacja to manipulacja, która gwarantuje wykonanie prawidłowego pomiaru przez urządzenia zgodnie z ich specyfikacją. W języku potocznym termin „wzorcowanie” jest często używany zamiast „regulacji” w przypadku urządzeń pomiarowych.

17.6 Korekcja niejednorodności

Gdy kamera termiczna wyświetla komunikat „Kalibrowanie...”, reguluje ona odchylenie względem każdego indywidualnego elementu detektora (piksele). W termografii zjawisko to jest nazywane „korekcją niejednorodności” (NUC). Jest to aktualizacja wyrównania (offset), a przyrost (gain) pozostaje niezmienny.

Europejska norma EN 16714-3, Non-destructive Testing—Thermographic Testing—Part 3: Terms and Definitions (Badania nieniszczące — Badania termograficzne — Część 3: Terminy i definicje), określa NUC jako „poprawki obrazu wprowadzane przez oprogramowanie kamery, które pozwalają zrekomensować różnice czułości elementów czujnika, a także niedoskonałości optyczne i geometryczne”.

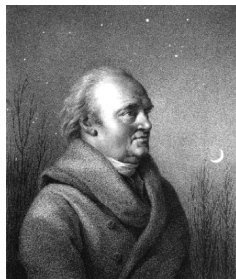
Podczas korekcji NUC (aktualizacja wyrównania) migawka (wewnętrzna flaga) jest umieszczona w ścieżce optycznej, a wszystkie elementy detektora są wystawione na taką samą ilość radiancji pochodzącej z migawki. Teoretycznie zatem wszystkie elementy detektora powinny dać taki sam sygnał. W rzeczywistości każdy indywidualny element tworzy własną odpowiedź, co powoduje, że sygnał wyjściowy nie jest jednorodny. To odchylenie od idealnego wyniku jest obliczane i wykorzystywane do matematycznego wykonania korekty obrazu, co zasadniczo jest korektą sygnału wyświetlanej radiancji. Niektóre kamery nie mają wewnętrznej flagi. W takim przypadku aktualizacji wyrównania należy dokonać ręcznie za pomocą specjalnego oprogramowania i zewnętrznego, ujednoliconego źródła radiancji.

Korekcja NUC jest na przykład przeprowadzana przy uruchamianiu, zmianie zakresu pomiaru lub zmianie temperatury środowiska pracy. Niektóre kamery pozwalają użytkownikowi na jej ręczne wyzwolenie. Jest to przydatne rozwiązanie do wykonywania kluczowego pomiaru z jak najmniej niejednorodnym obrazem.

17.7 Regulacja obrazu termicznego (regulacja termiczna)

Niektórzy ludzie używają terminu „kalibracja obrazu” w przypadku regulacji kontrastu i jasności termicznej w obrazie w celu podkreślenia określonych szczegółów na obrazie. Podczas tej czynności przedział temperatury jest ustawiany w taki sposób, aby wszystkie używane kolory pokazywały tylko (lub głównie) temperatury w danym obszarze. Właściwy termin dla tej manipulacji to „regulacja obrazu termicznego” lub „regulacja termiczna”, a w niektórych językach „optymalizacja obrazu termicznego”. Aby wykonać tę czynność, należy przejść do trybu ręcznego, w przeciwnym razie kamera automatycznie ustawi dolne i górne limity wyświetlanego przedziału temperatury na najchłodniejsze i najcieplejsze w polu widzenia.

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.



Rysunek 18.1 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.



Rysunek 18.2 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 nowo odkrytego promieniowania cieplnego i wywnioskował, że układy optyczne dla podczerwieni muszą składać się wyłącznie z elementów odbijających promieniowanie (tj. luster płaskich i zakrzywionych). Na szczęście pogląd taki panował tylko do 1830 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.



Rysunek 18.3 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 $0,2^{\circ}\text{C}$, a późniejsze modele umożliwiały odczyt z dokładnością do $0,05^{\circ}\text{C}$). Wtedy miał miejsce przełom. Melloni połączył szereg termopar, tworząc pierwszy termostos. Nowe urządzenie wykrywało promieniowanie cieplne 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 różnicowanego 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”.



Rysunek 18.4 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 zaczerzniętego 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 uczonego Sir James Dewar jako pierwszy zastosował ciekłe gazy jako czynniki chłodzące (na przykład ciekły azot o temperaturze -196°C) 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 (0,94 mili) 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 przetwornika 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.

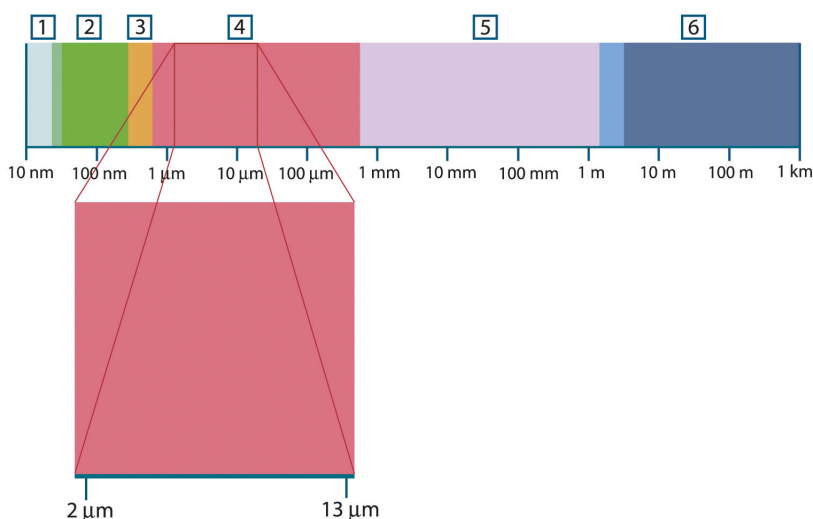
Taktyczne niedogodności tzw. aktywnych (tj. emitujących promieniowanie) systemów obrazowania termicznego były bezpośrednim powodem rozpoczęcia po II Wojnie Światowej intensywnych tajnych badań wojskowych nad możliwością opracowania „biernych” (nie emitujących promieniowania) systemów na bazie niezwykle czułego detektora fotonowego. W tym okresie przepisy dotyczące tajemnicy wojskowej całkowicie uniemożliwiały ujawnianie aktualnego stanu rozwoju techniki podczerwieni. Ujawnienie zaczęło 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.

19.1 Wprowadzenie

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

19.2 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.



Rysunek 19.1 Widmo elektromagnetyczne. 1: promieniowanie Roentgena; 2: UV; 3: światło widzialne; 4: podczerwień; 5: mikrofały; 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).

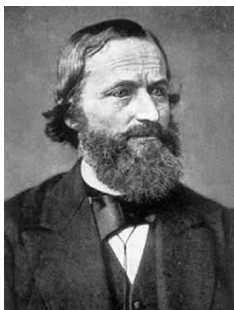
Zależność między wartościami wyrażonymi w różnych jednostkach jest następująca:

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

19.3 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.



Rysunek 19.2 Gustav Robert Kirchhoff (1824–1887)

Budowa źródła będącego ciałem czarnym jest bardzo prosta. Charakterystyki promieniowania otworu w izotermicznej wnęcie 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.

Wypożyczając 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.

19.3.1 Prawo Plancka



Rysunek 19.3 Max Planck (1858–1947)

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

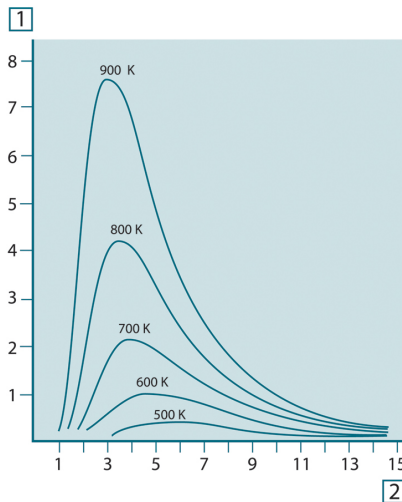
$$W_{\lambda b} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 \left(e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1 \right)} \times 10^{-6} [\text{Watt} / \text{m}^2, \mu\text{m}]$$

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).

Uwaga 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.



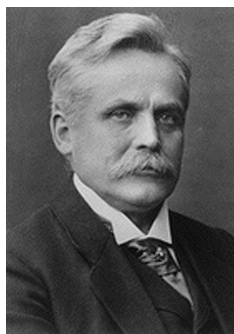
Rysunek 19.4 Emitancja widmowa ciała czarnego wyrażona przez prawo Plancka dla różnych temperatur bezwzględnych. 1: Emitancja widmowa ($\text{W/cm}^2 \times 10^3(\mu\text{m})$); 2: Długość fali (μm)

19.3.2 Prawo przesunięć Wiena

Różniczkując równanie Plancka względem λ i wyznaczając maksimum, otrzymujemy:

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

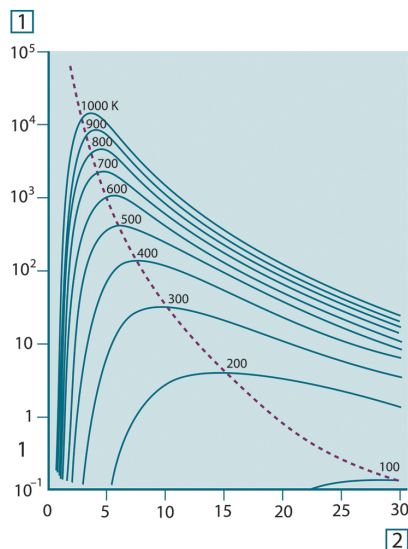
Jest to wzór Wiena (od nazwiska *Wilhelma Wiena*, 1864–1928), który matematycznie wyraża znane zjawisko zmiany kolorów od czerwonego do żółtego w miarę wzrostu temperatury radiatora. Długość fali barwy jest taka sama, jak wyznaczona długość fali λ_{max} . Dobre przybliżenie wartości λ_{max} dla danej temperatury ciała czarnego można uzyskać, stosując eksperymentalnie wyznaczoną skalę $3000/T \mu\text{m}$. 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 μm .



Rysunek 19.5 Wilhelm Wien (1864–1928)

Słońce (około 6 000 K) emituje światło żółte, a jego maksimum przypada na wartość 0,5 μm pośrodku widma światła widzialnego.

W temperaturze pokojowej (300 K) szczyt emitancji przypada na długość fali 9,7 μm i znajduje się w dalekiej podczerwieni, natomiast w temperaturze ciekłego azotu (77 K) maksimum znikomej emitancji przypada na długość fali 38 μm i znajduje się w bardzo dalekiej podczerwieni.



Rysunek 19.6 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 (μm))); 2: Długość fali (μm).

19.3.3 Prawo Stefana-Boltzmannna

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

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

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.



Rysunek 19.7 Josef Stefan (1835–1893) i Ludwig Boltzmann (1844–1906)

Używając wzoru Stefana-Boltzmann'a 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.

19.3.4 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:

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

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

Emisyjność widmowa ε_λ = 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 widmowe ciała są sobie równe dla dowolnej jednakowej temperatury i długości fali. A zatem:

$$\varepsilon_{\lambda} = \alpha_{\lambda}$$

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

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

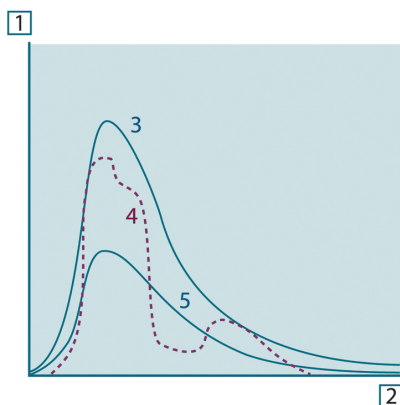
Dla dobrze wypolerowanych materiałów ε_{λ} zbliża się do zera, tak więc dla materiału doskonale odbijającego (tzn. doskonałego lustra) mamy:

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

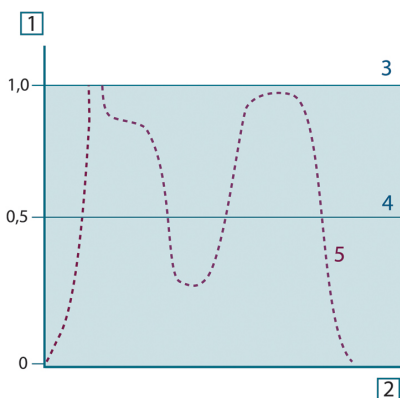
Dla ciała szarego wzór Stefana-Boltzmann'a przyjmuje postać:

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

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.



Rysunek 19.8 Emitancja widmowa dla trzech typów radiatorów. 1: Emitancja widmowa; 2: Długość fali; 3: Ciało czarne; 4: Radiator selektywny; 5: Ciało szare.



Rysunek 19.9 Emisyjność widmowa dla trzech typów radiatorów. 1: Emisyjność widmowa; 2: Długość fali; 3: Ciało czarne; 4: Ciało szare; 5: Radiator selektywny.

19.4 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 wnętrza 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:

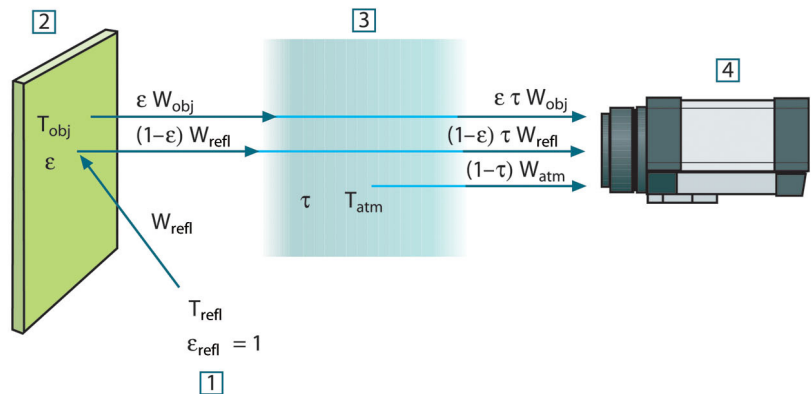
$$\varepsilon_{\lambda} = 1 - \rho_{\lambda}$$

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

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.



Rysunek 20.1 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* $= \epsilon \tau W_{obj}$, gdzie ϵ jest emitancją obiektu, a τ jest transmitancją atmosfery. Temperatura obiektu wynosi T_{obj} .

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

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

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

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

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

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

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

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

Tabela 20.1 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.

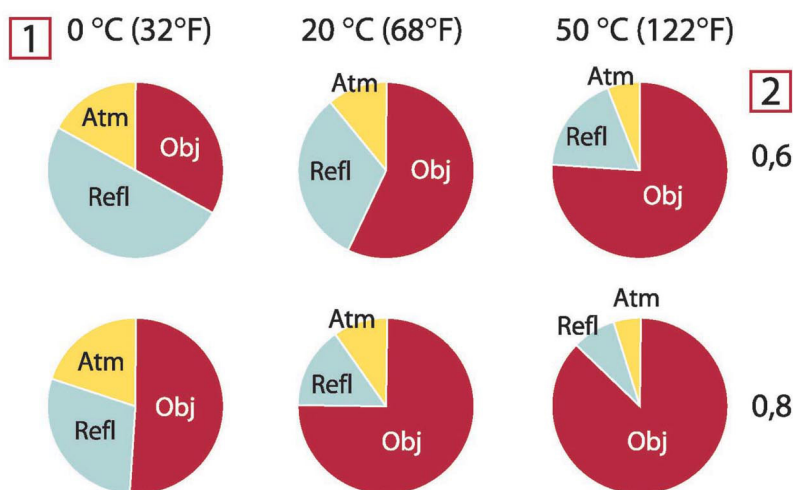
Poniższe liczby ilustrują względne wielkości trzech składników promieniowania dla trzech różnych temperatur obiektu, dwóch emitancji i dwóch zakresów widma: SW i LW. Pozostałe parametry mają następujące stałe wartości:

- $\tau = 0,88$
- $T_{\text{refl}} = +20^{\circ}\text{C}$
- $T_{\text{atm}} = +20^{\circ}\text{C}$

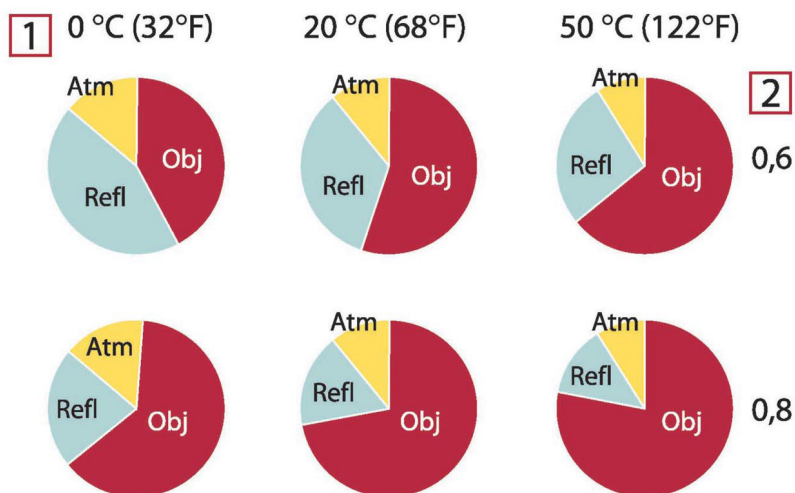
Pomiar niskich temperatur obiektu będzie oczywiście trudniejszy niż pomiar wysokich temperatur, gdyż „zakłócające” źródła promieniowania są względnie o wiele silniejsze w pierwszym przypadku. Przy niskiej emitancji obiektu sytuacja stanie się jeszcze trudniejsza.

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 $U_{\text{tot}} = 4,5$ 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.



Rysunek 20.2 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: $\tau = 0,88$; $T_{\text{refl}} = 20^{\circ}\text{C}$; $T_{\text{atm}} = 20^{\circ}\text{C}$.



Rysunek 20.3 Względne wielkości źródeł promieniowania w zmiennych warunkach pomiarowych (kamera LW). 1: Temperatura obiektu; 2: Emitancja; Obj: Promieniowanie obiektu; Refl: Pozorna temperatura odbita; Atm: Temperatura powietrza. Parametry stałe: $\tau = 0,88$; $T_{refl} = 20^{\circ}\text{C}$; $T_{atm} = 20^{\circ}\text{C}$.

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

21.1 Bibliografia

1. Mikaél A. Bramson: *Infrared Radiation, A Handbook for Applications*, Plenum press, N.Y.
2. William L. Wolfe, George J. Zissis: *The Infrared Handbook*, Office of Naval Research, Department of Navy, Washington, D.C.
3. Madding, R. P.: *Thermographic Instruments and systems*. Madison, Wisconsin: University of Wisconsin – Extension, Department of Engineering and Applied Science.
4. William L. Wolfe: *Handbook of Military Infrared Technology*, Office of Naval Research, Department of Navy, Washington, D.C.
5. Jones, Smith, Probert: *External thermography of buildings...*, Proc. of the Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, vol.110, Industrial and Civil Applications of Infrared Technology, June 1977 London.
6. Paljak, Pettersson: *Thermography of Buildings*, Swedish Building Research Institute, Stockholm 1972.
7. Vlcek, J.: *Determination of emissivity with imaging radiometers and some emissivities at $\lambda = 5 \mu\text{m}$* . Photogrammetric Engineering and Remote Sensing.
8. Kern: *Evaluation of infrared emission of clouds and ground as measured by weather satellites*, Defence Documentation Center, AD 617 417.
9. Öhman, Claes: *Emittansmätningar med AGEMA E-Box*. Teknisk rapport, AGEMA 1999. (Emittance measurements using AGEMA E-Box. Technical report, AGEMA 1999.)
10. Mattei, S., Tang-Kwor, E: *Emissivity measurements for Nextel Velvet coating 811-21 between -36°C AND 82°C* .
11. Lohrengel & Todtenhaupt (1996)
12. ITC Technical publication 32.
13. ITC Technical publication 29.
14. Schuster, Norbert and Kolobrodov, Valentin G. *Infrarotthermographie*. Berlin: Wiley-VCH, 2000.

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

21.2 Tabele

Tabela 21.1 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	Wyniowa taśma izolacyjna (kilka kolorów)	< 80	LW	$\approx 0,96$	13
3M typ 88	Czarna, winiowa taśma izolacyjna	< 105	LW	$\approx 0,96$	13
3M typ 88	Czarna, winiowa taśma izolacyjna	< 105	MW	< 0,96	13
3M typ Super 33+	Czarna, winiowa taśma izolacyjna	< 80	LW	$\approx 0,96$	13
Aluminium	anodyzowane, czarne, matowe	70	SW	0,67	9
Aluminium	anodyzowane, czarne, matowe	70	LW	0,95	9

Tabela 21.1 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 (kontynuacja)

1	2	3	4	5	6
Aluminium	anodyzowane, jasnoszare, matowe	70	SW	0,61	9
Aluminium	anodyzowane, jasnoszare, matowe	70	LW	0,97	9
Aluminium	blacha anodyzowana	100	T	0,55	2
Aluminium	blacha nieobrobiona	100	T	0,09	2
Aluminium	blacha, 4 różne zarysowane próbki	70	SW	0,05-0,08	9
Aluminium	blacha, 4 różne zarysowane próbki	70	LW	0,03-0,06	9
Aluminium	chropowata powierzchnia	20-50	T	0,06-0,07	1
Aluminium	folia	27	10 μm	0,04	3
Aluminium	folia	27	3 μm	0,09	3
Aluminium	napawane próżniowo	20	T	0,04	2
Aluminium	obrobiona zgrubnie	27	10 μm	0,18	3
Aluminium	obrobiona zgrubnie	27	3 μm	0,28	3
Aluminium	odlew piaskowany	70	SW	0,47	9
Aluminium	odlew piaskowany	70	LW	0,46	9
Aluminium	polerowana blacha	100	T	0,05	2
Aluminium	polerowana płyta	100	T	0,05	4
Aluminium	polerowane	50–100	T	0,04-0,06	1
Aluminium	płyta nieobrobiona	100	T	0,09	4
Aluminium	płyta trawiona w HNO_3	100	T	0,05	4
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	papier	40-400	T	0,93-0,95	1
Azbest	proszek		T	0,40-0,60	1
Azbest	płyta	20	T	0,96	1
Azbest	plytka podłogowa	35	SW	0,94	7
Azbest	tkanina		T	0,78	1
Azbest	łupek	20	T	0,96	1
Beton		20	T	0,92	2
Beton	płyta chodnikowa	5	LLW	0,974	8

Tabela 21.1 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 (kontynuacja)

1	2	3	4	5	6
Beton	suchy	36	SW	0,95	7
Beton	surowy	17	SW	0,97	5
Brąz	fosforobraz	70	SW	0,08	9
Brąz	fosforobraz	70	LW	0,06	9
Brąz	polerowane	50	T	0,1	1
Brąz	porowaty, gruboziarn.	50-150	T	0,55	1
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, nie-szkliwiona, 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	syliconowa, 33% SiO_2 , 64% Al_2O_3	1500	T	0,29	1
Cegła	szamotowa	1000	T	0,75	1
Cegła	szamotowa	1200	T	0,59	1
Cegła	szamotowa	20	T	0,85	1
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

Tabela 21.1 T: widmo całkowite; SW: 2–5 µm; LW: 8–14 µm, LLW: 6,5–20 µm; 1: Materiał; 2: Opis; 3: Temp. (°C); 4: Widmo; 5: Emisyjność; 6: Bibliografia (kontynuacja)

1	2	3	4	5	6
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	SW	0,67-0,75	9
Drewno	sosna, 4 różne próbki	70	LW	0,81-0,89	9
Drewno	tarcica	20	T	0,8-0,9	1
Drewno	tarcica dębowa	20	T	0,90	2
Drewno	tarcica dębowa	70	SW	0,77	9
Drewno	tarcica dębowa	70	LW	0,88	9
Drewno	ścier		T	0,5-0,7	1
Dwutlenek miedzi	proszek		T	0,84	1
Ebonit			T	0,89	1
Farba	8 różnych kolorów i jakości	70	SW	0,88-0,96	9
Farba	8 różnych kolorów i jakości	70	LW	0,92-0,94	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

Tabela 21.1 T: widmo całkowite; SW: 2–5 µm; LW: 8–14 µm, LLW: 6,5–20 µm; 1: Materiał; 2: Opis; 3: Temp. (°C); 4: Widmo; 5: Emisyjność; 6: Bibliografia (kontynuacja)

1	2	3	4	5	6
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
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
Gлина	wypalona	70	T	0,91	1
Granit	chropowaty, 4 różne próbki	70	SW	0,95-0,97	9
Granit	chropowaty, 4 różne próbki	70	LW	0,77-0,87	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	≈ 0,96	12
Krylon Ultra-flat black 1602	Czarna matowa	Temperatura pokojowa do 175	MW	≈ 0,97	12
Lakier	3 kolory rozpylone na aluminium	70	SW	0,50-0,53	9
Lakier	3 kolory rozpylone na aluminium	70	LW	0,92-0,94	9
Lakier	Aluminium na chropowatej powierzchni	20	T	0,4	1
Lakier	bakelit	80	T	0,83	1
Lakier	biały	100	T	0,92	2
Lakier	biały	40–100	T	0,8-0,95	1
Lakier	czarny, błyszczący, rozpylony na żelazie	20	T	0,87	1
Lakier	czarny, matowy	100	T	0,97	2
Lakier	czarny, mętny	40–100	T	0,96-0,98	1
Lakier	termoodporny	100	T	0,92	1

Tabela 21.1 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 (kontynuacja)

1	2	3	4	5	6
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 połyskiem	20	T	0,07	1
Miedź	oksydowana do ściemnienia		T	0,88	1
Miedź	oksydowana, czarna	27	T	0,78	4
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		1500-2200	T	0,19-0,26	1
Molibden		600-1000	T	0,08-0,13	1
Molibden	włókno	700-2500	T	0,1-0,3	1
Mosiądz	blacha szmerglowana	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	100	T	0,61	2
Mosiądz	oksydowany	70	SW	0,04-0,09	9
Mosiądz	oksydowany	70	LW	0,03-0,07	9
Mosiądz	oksydowany w temp. 600 $^{\circ}\text{C}$	200-600	T	0,59-0,61	1
Mosiądz	polerowane	200	T	0,03	1

Tabela 21.1 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 (kontynuacja)

1	2	3	4	5	6
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	260	T	0,07	4
Nikiel	obrobione elektrolitycznie	38	T	0,06	4
Nikiel	obrobione elektrolitycznie	538	T	0,10	4
Nikiel	oksydowany	1227	T	0,85	4
Nikiel	oksydowany	200	T	0,37	2
Nikiel	oksydowany	227	T	0,37	4
Nikiel	oksydowany w temp. 600 $^{\circ}\text{C}$	200-600	T	0,37-0,48	1
Nikiel	polerowane	122	T	0,045	4
Nikiel	powłoka galwa- niczna na żelazie, niewypolerowana	20	T	0,11-0,40	1
Nikiel	powłoka galwa- niczna na żelazie, niewypolerowana	22	T	0,11	4
Nikiel	powłoka galwa- niczna na żelazie, wypolerowana	22	T	0,045	4
Nikiel	powłoka galwa- niczna, wypolerowana	20	T	0,05	2
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 pod- łożu Ni: tylko pod- łożo Ni	20	T	0,05	2
Ołów	błyszczący	250	T	0,08	1
Ołów	nieoksydowany, wypolerowany	100	T	0,05	4
Ołów	oksydowany w temp. 200 $^{\circ}\text{C}$	200	T	0,63	1

Tabela 21.1 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 (kontynuacja)

1	2	3	4	5	6
Ołów	oksydowany, szary	20	T	0,28	1
Ołów	oksydowany, szary	22	T	0,28	4
Papier	4 różne kolory	70	SW	0,68-0,74	9
Papier	4 różne kolory	70	LW	0,92-0,94	9
Papier	biały	20	T	0,7-0,9	1
Papier	biały czerpany	20	T	0,93	2
Papier	biały, 3 różne gładkości	70	SW	0,76-0,78	9
Papier	biały, 3 różne gładkości	70	LW	0,88-0,90	9
Papier	ciemnoniebieski		T	0,84	1
Papier	czarne		T	0,90	1
Papier	czarny, mętny		T	0,94	1
Papier	czarny, mętny	70	SW	0,86	9
Papier	czarny, mętny	70	LW	0,89	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		100	T	0,05	4
Platyna		1000-1500	T	0,14-0,18	1
Platyna		1094	T	0,18	4
Platyna		17	T	0,016	4
Platyna		22	T	0,03	4
Platyna		260	T	0,06	4
Platyna		538	T	0,10	4
Platyna	czysta, wypolerowana	200-600	T	0,05-0,10	1
Platyna	drut	1400	T	0,18	1
Platyna	drut	50-200	T	0,06-0,07	1
Platyna	drut	500-1000	T	0,10-0,16	1
Platyna	taśma	900-1100	T	0,12-0,17	1
Pokost	matowy	20	SW	0,93	6
Pokost	na dębowym parkiecie	70	SW	0,90	9
Pokost	na dębowym parkiecie	70	LW	0,90-0,93	9
Porcelana	biała, błyszcząca		T	0,70-0,75	1

Tabela 21.1 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 (kontynuacja)

1	2	3	4	5	6
Porcelana	szkliwiona	20	T	0,92	1
Płyta pilśniowa	masonit	70	SW	0,75	9
Płyta pilśniowa	masonit	70	LW	0,88	9
Płyta pilśniowa	porowata, nieobrobiona	20	SW	0,85	6
Płyta pilśniowa	płyta wiórowa	70	SW	0,77	9
Płyta pilśniowa	płyta wiórowa	70	LW	0,89	9
Płyta pilśniowa	twarda, nieobrobiona	20	SW	0,85	6
Płyta wiórowa	nieobrobiona	20	SW	0,90	6
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	SW	0,30	9
Stal nierdzewna	nieobrobiona blacha, lekko porysowana	70	LW	0,28	9
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 $^{\circ}\text{C}$	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	SW	0,18	9
Stal nierdzewna	wypolerowana blacha	70	LW	0,14	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
Szyba (szkło float)	niepowlekane	20	LW	0,97	14
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

Tabela 21.1 T: widmo całkowite; SW: 2–5 µm; LW: 8–14 µm, LLW: 6,5–20 µm; 1: Materiał; 2: Opis; 3: Temp. (°C); 4: Widmo; 5: Emisyjność; 6: Bibliografia (kontynuacja)

1	2	3	4	5	6
Tlenek glinu	czysty, proszek (tlenek glinowy)		T	0,16	1
Tlenek miedzi	czerwony, proszek		T	0,70	1
Tlenek niklu		1000-1250	T	0,75-0,86	1
Tlenek niklu		500-650	T	0,52-0,59	1
Tworzywo sztuczne	laminat z włókna szklanego (płytką drukowaną)	70	SW	0,94	9
Tworzywo sztuczne	laminat z włókna szklanego (płytką drukowaną)	70	LW	0,91	9
Tworzywo sztuczne	PCW, płyta podłogowa, matowa, ze wzorem	70	SW	0,94	9
Tworzywo sztuczne	PCW, płyta podłogowa, matowa, ze wzorem	70	LW	0,93	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	1000	T	0,60	1
Tytan	oksydowany w temp. 540°C	200	T	0,40	1
Tytan	oksydowany w temp. 540°C	500	T	0,50	1
Tytan	polerowane	1000	T	0,36	1
Tytan	polerowane	200	T	0,15	1
Tytan	polerowane	500	T	0,20	1
Wapno			T	0,3-0,4	1
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	warstwa o grubości >0,1 mm	0–100	T	0,95-0,98	1
Woda	śnieg		T	0,8	1
Woda	śnieg	-10	T	0,85	2

Tabela 21.1 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 (kontynuacja)

1	2	3	4	5	6
Wodorotlenek glinu	proszek		T	0,28	1
Wolfram		1500-2200	T	0,24-0,31	1
Wolfram		200	T	0,05	1
Wolfram		600-1000	T	0,1-0,16	1
Wolfram	włókno	3300	T	0,39	1
Węgiel	czerń lampowa	20-400	T	0,95-0,97	1
Węgiel	grafit, powierzchnia spitowana	20	T	0,98	2
Węgiel	proszek grafitowy		T	0,97	1
Węgiel	proszek z węgla drzewnego		T	0,96	1
Węgiel	sadza świecowa	20	T	0,95	2
Zaprawa murarska		17	SW	0,87	5
Zaprawa murarska	suchy	36	SW	0,94	7
Złoto	mocno wypolerowany	100	T	0,02	2
Złoto	polerowane	130	T	0,018	1
Złoto	starannie wypolerowane	200-600	T	0,02-0,03	1
Śnieg: Zobacz woda					
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	SW	0,64	9
Żelazo galwanizowane	silnie oksydowane	70	LW	0,85	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 zardzewiałe	17	SW	0,96	5

Tabela 21.1 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 (kontynuacja)

1	2	3	4	5	6
Żelazo i stal	obrobione elektrolitycznie	100	T	0,05	4
Żelazo i stal	obrobione elektrolitycznie	22	T	0,05	4
Żelazo i stal	obrobione elektrolitycznie	260	T	0,07	4
Żelazo i stal	oksydowany	100	T	0,74	4
Żelazo i stal	oksydowany	100	T	0,74	1
Żelazo i stal	oksydowany	1227	T	0,89	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	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	walcowane na gorąco	130	T	0,60	1
Żelazo i stal	walcowane na gorąco	20	T	0,77	1
Żelazo i stal	walcowane na zimno	70	SW	0,20	9
Żelazo i stal	walcowane na zimno	70	LW	0,09	9
Żelazo i stal	wypolerowana blacha	750-1050	T	0,52-0,56	1
Żelazo i stal	zardzewiała blacha	22	T	0,69	4
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 i stal	świeżo szmerglowane	20	T	0,24	1
Żelazo i stal	świeżo walcowane	20	T	0,24	1
Żelazo ocynowane	blacha	24	T	0,064	4
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	100	T	0,64	2

Tabela 21.1 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 (kontynuacja)

1	2	3	4	5	6
Żelazo, odlewane	oksydowany	260	T	0,66	4
Żelazo, odlewane	oksydowany	38	T	0,63	4
Żelazo, odlewane	oksydowany	538	T	0,76	4
Żelazo, odlewane	oksydowany w temp. 600 $^{\circ}\text{C}$	200-600	T	0,64-0,78	1
Żelazo, odlewane	polerowane	200	T	0,21	1
Żelazo, odlewane	polerowane	38	T	0,21	4
Żelazo, odlewane	polerowane	40	T	0,21	2
Żelazo, odlewane	sztaby	1000	T	0,95	1
Żużel	kotłowy	0–100	T	0,97-0,93	1
Żużel	kotłowy	1400-1800	T	0,69-0,67	1
Żużel	kotłowy	200-500	T	0,89-0,78	1
Żużel	kotłowy	600-1200	T	0,76-0,70	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 Linotype Helvetica™ World. Helvetica™ was designed by Max Miedinger (1910–1980)

LOEF (List Of Effective Files)

T501250.xml; pl-PL; AD; 43690; 2017-07-06
T505552.xml; pl-PL; 9599; 2013-11-05
T505469.xml; pl-PL; 39689; 2017-01-25
T505013.xml; pl-PL; 39689; 2017-01-25
T506128.xml; pl-PL; AC; 43003; 2017-06-02
T505470.xml; pl-PL; 39513; 2017-01-18
T505007.xml; pl-PL; 42810; 2017-05-23
T506125.xml; pl-PL; 40753; 2017-03-02
T505000.xml; pl-PL; 39687; 2017-01-25
T506155.xml; pl-PL; 42220; 2017-04-26
T506051.xml; pl-PL; 40460; 2017-02-20
T505005.xml; pl-PL; 42810; 2017-05-23
T505001.xml; pl-PL; 41563; 2017-03-23
T505006.xml; pl-PL; 41563; 2017-03-23
T505002.xml; pl-PL; 39512; 2017-01-18



Website

<http://www.flir.com>

Customer support

<http://support.flir.com>

Copyright

© 2017, FLIR Systems, Inc. All rights reserved worldwide.

Disclaimer

Specifications subject to change without further notice. Models and accessories subject to regional market considerations. License procedures may apply. Products described herein may be subject to US Export Regulations. Please refer to exportquestions@flir.com with any questions.

Publ. No.: T810252
Release: AD
Commit: 43690
Head: 43696
Language: pl-PL
Modified: 2017-07-06
Formatted: 2017-07-06