

**Zbigniew SIEMION**

POLITECHNIKA BIAŁOSTOCKA, WYDZIAŁ ELEKTRYCZNY, KATEDRA PROMIENIOWANIA OPTYCZNEGO

## Pomiary parametrów świetlnych lamp operacyjnych

Mgr inż. Zbigniew SIEMION



Absolwent Wydziału Elektroniki Politechniki Warszawskiej z roku 1982. Od 1983 roku jest pracownikiem Politechniki Białostockiej, początkowo Zakładu Techniki Radiacji, a obecnie Katedry Promieniowania Optycznego. Aktualne zainteresowania to zagadnienia związane z pomiarami wielkości fotometrycznych źródeł światła i diod LED ze szczególnym uwzględnieniem pomiarów spektrometrycznych.

### Streszczenie

W artykule omówiono wymagania dotyczące parametrów świetlnych promieniowania lamp operacyjnych. Opisano układy pomiarowe i sposoby wykonania pomiarów umożliwiającą ocenę jakości promieniowania. Przedstawiono wyniki pomiarów prototypu pojedynczej oprawy lampy operacyjnej jednego z krajowych producentów sprzętu medycznego.

### Abstract

In the paper requirements for the luminous characteristics of the surgical luminaires are discussed. The measurement equipment, the related tests and testing methodology to evaluate the quality of radiation are described. The results of the measurements of the prototype individual lighthouse are presented. This prototype has been a base to design the commercially available surgical luminaire.

**Słowa kluczowe:** lampa operacyjna, pomiary parametrów świetlnych  
**Keywords:** surgical luminaire, measurements of the luminous characteristics

## 1. Wstęp

Lampa operacyjna przeznaczona jest do oświetlenia pola operacyjnego podczas zabiegów chirurgicznych. Jej podstawowym zadaniem jest zapewnienie zespołowi operującemu komfortowych warunków oświetleniowych, w których wydolność wzrokowa i wygodność widzenia będą jak najlepsze, co pozwoli w sposób szybki i jednoznaczny rozróżnić szczegóły i barwy operowanych tkanek oraz stawiać prawidłowe diagnozy na podstawie zmian w ich wyglądzie. Jednocześnie promieniowanie lampy nie może w żadnym wypadku wpływać negatywnie na ciało pacjenta, a także utrudniać pracę operatorów poprzez wzrost temperatury w okolicy ich głów. Ponadto musi być uwzględniona możliwość pojawienia się cieni rzucanych przez głowy i ramiona operatorów. Aby warunki te były rzeczywistnie, lampa operacyjna musi zagwarantować:

- odpowiedni poziom natężenia oświetlenia na powierzchni i w głębi jamy operacyjnej,
- odpowiedni rozkład natężenia oświetlenia,
- ograniczenie występowania cienia,
- odpowiednią temperaturę barwową światła,
- wysoki wskaźnik oddawania barwy,
- ograniczenie udziału promieniowania podczerwonego i nadfioletowego.

Innymi słowy, parametry świetlne lampy operacyjnej muszą spełniać określone wymagania, które zostały uściślone w między-

narodowej normie [1]. Ocena lampy operacyjnej wymaga przeprowadzenia pomiarów jej parametrów świetlnych w ściśle określonych warunkach i w ściśle określony sposób.

## 2. Wymagania dotyczące parametrów świetlnych lamp operacyjnych

Wybór poziomu natężenia oświetlenia zależy od wielkości obserwowanego obiektu i od stopnia trudności pracy wzrokowej, który z kolei określony jest przez współczynnik odbicia obiektu i kontrast obiektu z jego tłem. Sąsiadujące ze sobą, ściśle upakowane tkanki mogą być bardzo mało zróżnicowane, a ich współczynniki odbicia są bardzo niskie. W obszarze operacji mamy zatem do czynienia z małą wielkością obserwowanego szczegółu i z pracą wzrokową o dużym stopniu trudności. W takich warunkach wymagany jest wyjątkowo wysoki poziom natężenia oświetlenia. Parametrem lampy operacyjnej opisującym ten poziom jest centralne natężenie oświetlenia ( $E_c$ ), mierzone na płaszczyźnie poziomej w środku oświetlanego pola, w odległości 1 m od świecącej powierzchni oprawy. Wartość centralnego natężenia oświetlenia musi zawierać się w przedziale 40÷160 klx. Pożądana jest regulacja zapewniająca dostosowanie poziomu oświetlenia do specyfiki konkretnego zabiegu i do indywidualnych preferencji operatora.

Rozkład natężenia oświetlenia w polu operacyjnym powinien być harmonijny. Wymagany jest łagodny spadek natężenia oświetlenia od punktu centralnego pola w kierunku jego brzegów. Rozmiar plamy świetlnej opisują średnice kołowych pól,  $d_{10}$  i  $d_{50}$ , wewnątrz których natężenie oświetlenia jest nie mniejsze niż 10% i 50% wartości maksymalnej. Średnica  $d_{50}$  powinna być równa przynajmniej połowie wartości średnicy  $d_{10}$ . Podobnie jak w przypadku centralnego natężenia oświetlenia, wielkość plamy świetlnej powinna być regulowana.

Oprócz oświetlenia płaskiej powierzchni, lampa operacyjna musi zapewnić także oświetlenie najgłębiej położonych miejsc w jamie operacyjnej, zachowując wysoki poziom natężenia oświetlenia bez konieczności ogniskowania układu świetlnooptycznego oprawy. Parametrem opisującym tę zdolność jest głębokość oświetlenia, czyli odległość między punktami położonymi na osi optycznej oprawy, poniżej i powyżej centralnego punktu plamy świetlnej, w których natężenie oświetlenia spada do 20% wartości maksymalnej.

Aby ograniczyć spadek natężenia oświetlenia w polu operacyjnym spowodowany pojawieniem się cieni głów i ramion operatorów, powierzchnia świecąca lampy operacyjnej powinna być jak największa. Wówczas pole operacyjne oświetlane jest z wielu kierunków, co w znacznym stopniu udaremnia formowanie się cieni. Dodatkową zaletą dużej powierzchni świecącej jest ograniczenie ryzyka wystąpienia zjawiska oślnienia od gładkich narzędzi chirurgicznych znajdujących się w polu operacji.

Z powodu przystosowania wzroku do barwy światła ogólnego występującego w sali operacyjnej, barwa światła lampy operacyjnej powinna być podobna. Wymagany zakres temperatury barwowej ( $T_c$ ), określony w normie [1], wynosi 3000÷6700 K. Wydaje się, że dolna granica zakresu jest zbyt niska ponieważ typowe oświetlenie sali operacyjnej ma temperaturę barwową około 4500 K, a poza tym światło o temperaturze barwowej 3000 K w połączeniu z ekstremalnie wysokim poziomem natężenia oświetlenia może powodować wrażenie nienaturalności, co zwiększa ryzyko niewłaściwej oceny sytuacji w trakcie operacji. Punkt chromatyczności promieniowania lampy powinien znaleźć się w polu tolerancji określonym przez sześciokąt ABCDEF, którego wierzchołki mają współrzędne x, y w układzie CIE 1931 podane w tabeli 1.

**Tabela 1.** Współrzędne punktów chromatyczności określających pole tolerancji barwy światła

**Table 1.** The chromaticity co-ordinates of points defining the tolerance field

Punkt	Współrzędne chromatyczne	
	x	y
A	0,310	0,375
B	0,310	0,307
C	0,341	0,307
D	0,420	0,370
E	0,445	0,422
F	0,380	0,422

Aby zapewnić prawidłową ocenę barw tkanek, ogólny wskaźnik oddawania barw ( $R_a$ ) światła lampy operacyjnej powinien mieć wartość co najmniej 85, a szczególne wskaźniki ( $R_i$ ) co najmniej 70 [2]. Wyjątkowe znaczenie w oświetleniu pola operacyjnego ma szczególnie wskaźnik  $R_9$ , który określa zdolność oddawania barwy intensywnie czerwonej.

Promieniowanie lampy operacyjnej nie może powodować negatywnych zjawisk, związanych ze wzrostem temperatury w oświetlanym obszarze, takich jak wysuszenie tkanek, czy nadmierna krzepliwość krwi. Nie może też utrudniać pracy operatorów poprzez wzrost temperatury w okolicy ich głów. Zatem udział promieniowania podczerwonego w widmie lampy operacyjnej powinien być jak najmniejszy. Całkowite natężenie napromienienia ( $E_c$ ) w odległości 1 m od oprawy nie powinno przekraczać wartości  $1000 \text{ W/m}^2$ . Ponadto iloraz natężenia napromienienia i natężenia oświetlenia nie powinien przekraczać wartości  $6 \text{ mW/m}^2 \cdot \text{lx}$ .

Wymagane jest również ograniczenie promieniowania UV. Gęstość powierzchniowa mocy promieniowania nadfioletowego z zakresu poniżej  $400 \text{ nm}$ , nie powinna przekraczać wartości  $10 \text{ W/m}^2$ .

### 3. Pomiary parametrów świetlnych lamp operacyjnych

#### 3.1. Ogólne warunki przeprowadzania pomiarów

Pomiary parametrów świetlnych lamp operacyjnych powinny być przeprowadzone zgodnie z zaleceniami zawartymi w normie [1]. Muszą być poprzedzone wstępnym 3-godzinnym wygrzaniem źródeł światła. Badana lampa powinna być zasilana stabilizowanym napięciem znamionowym. Wszystkie pomiary powinny być przeprowadzone na powierzchni poziomej odległej o 1 m od najniższego punktu świecącego oprawy. Oś optyczna oprawy powinna być skierowana pionowo w dół. Badania należy przeprowadzić w ciemni fotometrycznej, w której wartość energii promieniowania rozproszonego nie przekracza 1% wartości energii emitowanej przez badaną lampę. Jeżeli istnieje możliwość regulacji natężenia oświetlenia, powinno być ono ustawione na wartość maksymalną.

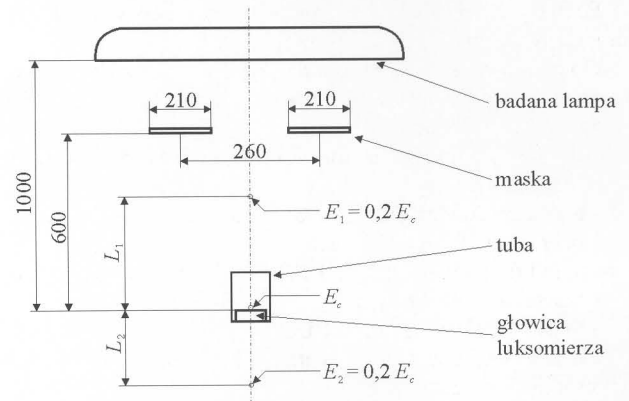
#### 3.2. Pomiary natężenia oświetlenia

Błędy luksomierza używanego do pomiarów natężenia oświetlenia nie powinny przekraczać następujących wartości:  $f_1 \leq 3\%$ ,  $u \leq 1\%$ ,  $r \leq 1\%$ ,  $f_3 \leq 1\%$ ,  $f_5 \leq 0,5\%$ ,  $f_9 \leq 10\%$ . Ponadto średnica pola pomiarowego głowicy luksomierza nie powinna być większa niż  $20 \text{ mm}$ .

Na podstawie pomiarów natężenia oświetlenia wyznacza się następujące parametry lampy operacyjnej:

- centralne natężenie oświetlenia  $E_c$ ,
- średnicę plamy świetlnej  $d_{10}$ ,
- średnicę plamy świetlnej  $d_{50}$ ,
- głębokość oświetlenia ( $L_1 + L_2$ ; rys. 1),
- zdolność ograniczania cienia.

Miarą zdolności ograniczania cienia jest iloraz otrzymany z podzielenia wartości natężenia oświetlenia mierzonego w środku pola oświetlanego, w obecności jednej lub dwóch masek symulujących zagłębienie jamy operacyjnej (rys. 1), i centralnego natężenia oświetlenia mierzonego bez obecności jakichkolwiek przeszkód. Można zatem określić kilka takich ilorazów opisujących zdolność ograniczania cienia, w zależności od konfiguracji elementów zakłócających bieg strumienia świetlnego. Do każdej wartości liczbowej ilorazu powinien być dołączony opis konfiguracji pomiarowej.



**Rys. 1.** Pomiary natężenia oświetlenia

**Fig. 1.** Illuminance measurements

#### 3.3. Pomiary spektralne

Pomiary spektralne powinny być wykonane za pomocą stanowiska spektrometrycznego skalibrowanego w odpowiednich zakresach długości fali. Wymaga to stosowania odpowiednich wzorców promieniowania i odpowiednich detektorów. Układem wejściowym monochromatora może być kula fotometryczna o średnicy okna pomiarowego nie przekraczającej wartości  $30 \text{ mm}$ . Okno wejściowe kuli powinno umożliwiać pomiary w płaszczyźnie poziomej.

Na podstawie pomiarów spektralnych wyznacza się następujące parametry lampy operacyjnej:

- temperaturę barwową,
- współrzędne punktu chromatyczności,
- wskaźniki oddawania barw,
- natężenie napromienienia w zakresie UV,
- całkowite natężenie napromienienia w zakresie długości fali od  $300 \text{ nm}$  do  $2500 \text{ nm}$ .

Pomiary natężenia napromienienia można również wykonać za pomocą radiometru, który ma głowice pomiarowe o odpowiedniej czułości widmowej.

#### 4. Wyniki pomiarów

Pomiary, których wyniki przedstawiono poniżej, zostały wykonane w trakcie badań prototypu pojedynczej oprawy lampy operacyjnej jednego z polskich producentów. Układ świetlnooptyczny oprawy składał się ze źródła światła, zwierciadła zimnego i filtru. Celem badań był wybór najlepszego pod względem parametrów świetlnych zestawu źródła światła – filtr spośród trzech możliwych:

- zestaw #1, żarówka halogenowa OSRAM typ 64650,  $U_n = 22,8 \text{ V}$  plus filtr interferencyjny,
- zestaw #2, żarówka halogenowa OSRAM typ 64650,  $U_n = 22,8 \text{ V}$  plus filtr absorbcyjny,
- zestaw #3, żarówka halogenowa PHILIPS BLUE typ 12429,  $U_n = 22,8 \text{ V}$  bez dodatkowych filtrów.

Zakres badań obejmował:

- wyznaczenie temperatury barwowej  $T_c$ ,

- obliczenie współrzędnych trójchromatycznych  $x$ ,  $y$  w układzie CIE 1931,
- obliczenie wskaźników oddawania barw, ogólnego  $R_a$  i szczególnych  $R_i$ ,
- pomiar natężenia napromienienia  $E_e$  w przedziale 280÷2800 nm,
- pomiar natężenia napromienienia  $E_e$  w przedziale UV 200÷400 nm,
- pomiar centralnego natężenia oświetlenia  $E_c$ ,
- określenie średnic pola oświetlanego  $d_{10}$  i  $d_{50}$ .

Do pomiarów natężenia oświetlenia użyto luksomierza typ L-50 firmy Sonopan.

Pomiary całkowitego natężenia napromienienia wykonano za pomocą pyranometru CM11 firmy Kipp & Zonen.

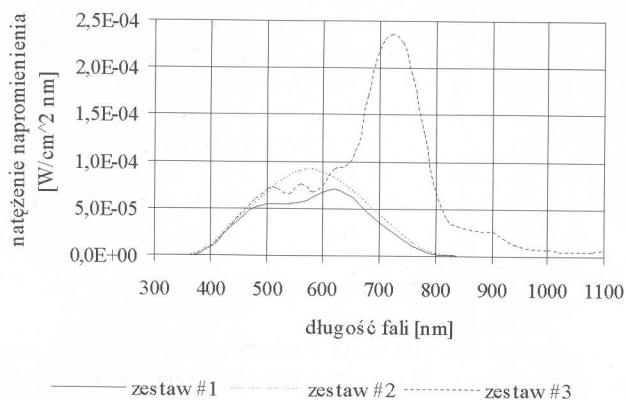
Do pomiarów spektralnych wykorzystano stanowisko spektrometryczne OL 750D firmy Optronic Laboratories USA, w skład którego wchodzi:

- podwójny monochromator, dokładność ustawienia długości fali  $\pm 0,05\%$ ,
- układ detekcyjny OL 750-HSD-310 PMT (AC) zbudowany przy użyciu fotopowielacza,
- układ detekcyjny OL 750-HSD-300 Si (AC) zawierający fotodetektor krzemowy,
- wejściowa kula całkująca OL IS-670.

Do kalibracji spektrometru użyto następujących wzorców promieniowania:

- w zakresie 300÷1100 nm wzorzec OL 200M; lampa halogenowa o mocy 1000 W,
- w zakresie 200÷400 nm wzorzec OL UV-40; lampa deuterowa o mocy 40 W.

W pierwszym etapie zmierzono rozkłady widmowe natężenia napromienienia w centralnym punkcie oświetlanego pola dla oprawy z poszczególnymi zestawami. Przedstawiono je na rys. 2.



Rys. 2. Rozkład widmowy natężenia napromienienia w centralnym punkcie oświetlanego pola

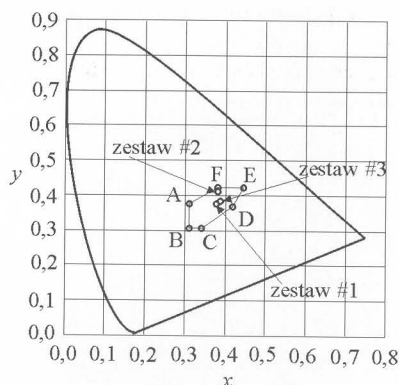
Fig. 2. Spectral irradiance in the light field center

Na podstawie tych pomiarów obliczono wartości temperatury barwowej  $T_c$ , współrzędnych  $x$ ,  $y$  oraz wskaźników oddawania barw, ogólnego  $R_a$  i szczególnych  $R_i$ . Wyniki obliczeń przedstawiono w tabelach 2 i 3.

Tabela 2. Temperatura barwowa i współrzędne punktów chromatyczności badanych zestawów

Table 2. The colour temperature and the chromaticity co-ordinates of the sets under test

	$T_c$ [K]	Współrzędne chromatyczne	
		$x$	$y$
Zestaw #1	4067	0,378	0,377
Zestaw #2	4185	0,382	0,410
Zestaw #3	3846	0,389	0,385



Rys. 3. Współrzędne punktów chromatyczności badanej oprawy  
Fig. 3. The chromaticity co-ordinates of the luminaire under test

Temperatura barwowa światła oprawy z każdym z trzech zestawów zawiera się w przedziale 3000÷6000 K, czyli spełnia wymagania. Punkty chromatyczności mieszczą się w polu tolerancji ABCDEF we wszystkich trzech przypadkach (rys. 3). Także ogólny wskaźnik oddawania barw  $R_a$  ma wartość powyżej 85 (tab. 3). Inna sytuacja ma miejsce w przypadku szczególnego wskaźnika oddawania barw  $R_9$ . Dla zestawu #1 wartość  $R_9$  wynosi 89, natomiast dla zestawów #2 i #3, 39 i 45, czyli zdecydowanie za mało. Tak niskie wartości wskaźnika  $R_9$  dyskwalifikują zestawy #2 i #3 z zastosowania ich w lampie operacyjnej. W dalszych pomiarach nie brały już udziału.

Tabela 3. Wskaźniki oddawania barw badanych zestawów  
Table 3. The colour rendering indexes of the sets under test

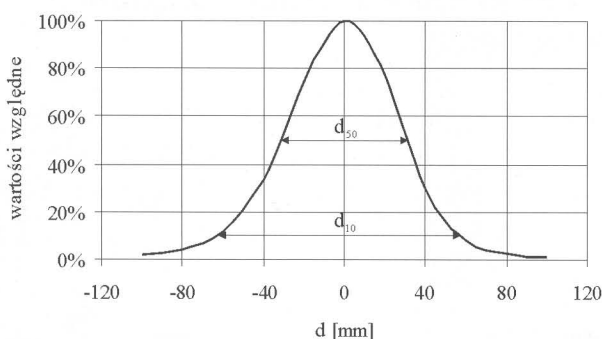
	Zestaw #1	Zestaw #2	Zestaw #3
$R_1$	99	84	87
$R_2$	97	90	93
$R_3$	95	97	96
$R_4$	96	84	88
$R_5$	98	84	89
$R_6$	94	89	92
$R_7$	94	93	90
$R_8$	94	78	77
$R_9$	89	39	45
$R_{10}$	92	80	83
$R_{11}$	97	82	88
$R_{12}$	92	76	89
$R_{13}$	98	85	89
$R_{14}$	97	99	97
$R_a$	96	87	89

W drugim etapie zmierzono, już tylko dla oprawy z zestawem #1, centralne natężenie oświetlenia  $E_c$ , i rozkład natężenia oświetlenia (rys. 4) oraz całkowite natężenie napromienienia  $E_e$  w zakresie 280÷2800 nm i natężenie napromienienia w zakresie UV 200÷400 nm. Otrzymano następujące wyniki:

- centralne natężenie oświetlenia,  $E_c = 55,8$  klx,
- średnice pola oświetlanego,  $d_{10} = 118$  mm,  $d_{50} = 62$  mm,
- natężenie napromienienia w zakresie 280÷2800 nm,  $E_e = 208,2$  W/m<sup>2</sup>,
- natężenie napromienienia w zakresie UV 200÷400 nm,  $E_e = 1,65$  W/m<sup>2</sup>.

Wartość centralnego natężenia oświetlenia  $E_c$  mieści się w przedziale 40÷160 klx. Średnica  $d_{50}$  plamy świetlnej jest większa od połowy średnicy  $d_{10}$ . Całkowite natężenie napromienienia  $E_e$  nie przekracza wartości 1000 W/m<sup>2</sup>, a natężenie napromienienia w zakresie UV wartości 10 W/m<sup>2</sup>. Iloraz centralnego natężenia oświetlenia  $E_c$  i całkowitego natężenia napromienienia  $E_e$  jest

mniejszy od wartości  $6 \text{ mW/m}^2\text{lx}$ . Zmierzone parametry spełniają wymagania stawiane lampom operacyjnym.



Rys. 4. Rozkład natężenia oświetlenia w polu oświetlanym

Fig. 4. Illuminance distribution in the light field

Prototyp oprawy z wybranym zestawem źródło światła – filtr został wykorzystany do opracowania i budowy lampy operacyjnej, która jest aktualnie dostępna na rynku.

## 5. Uwagi końcowe

Przedstawione warunki dotyczące parametrów świetlnych lamp operacyjnych nie wyczerpują tematu wymagań stawianych

tym urządzeniom. Oprócz świetlnych, lampy operacyjne muszą spełniać szereg innych wymagań np. konstrukcyjnych, zapewniających szerokie możliwości ruchowe i stabilność w każdym wybranym położeniu oraz aerodynamiczny kształt obudowy dostosowany do pracy z nawiewem laminarnym sali operacyjnej. Inną grupę stanowią wymagania związane z utrzymaniem aseptyki, a jeszcze inną wymagania związane z zapewnieniem ciągłości oświetlenia pola operacyjnego w przypadku przepalenia się źródła światła lub przełączania na zasilanie awaryjne. Weryfikacja lamp pod tymi względami wiąże się z przeprowadzeniem określonych testów i pomiarów. Omówienie tej tematyki wykracza już jednak poza ramy artykułu.

## Literatura

- [1] IEC 60601-2-41:2000. Medical Electrical Equipment – Part 2-41: Particular requirements for the safety of surgical luminaires and luminaires for diagnosis.
- [2] W. Dybczyński: Barwa światła lamp operacyjnych. Materiały V Krajowego Sympozjum Kolorymetrycznego, Szczyrk, 9 i 11 maja 2001, 69-76.

**Title:** Measurements of the light characteristics of surgical luminaires

*Artykuł recenzowany*

## RECENZJE

# POMIARY TERMOWIZYJNE, PRZYRZĄDY I METODY

Waldemar MINKINA

Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, kwiecień 2004

Monografia prof. W. Minkiny pt. „Pomiary termowizyjne, przyrządy i metody” wypełnia lukę w polskojęzycznej bibliografii z dziedziny termografii. Jest to książka przeznaczona dla studentów kierunków technicznych oraz inżynierów i techników i metrologów zajmujących się pomiarami temperatury. Książka może być rekomendowana praktykom, którzy zajmują się na co dzień badaniami termograficznymi, jak również Czytelnikom, którzy chcą rozszerzyć swoją wiedzę z różnych dziedzin nauki i techniki. Książka jest napisana zwięźle, jasno, ilustrowana jest przykładami, tabelami i rysunkami.

W monografii na wstępie przedstawiono teorię wymiany ciepła w zakresie niezbędnym dla praktyków wykonujących pomiary termograficzne. Opisano zjawiska konwekcji, przewodzenia i radiacyjnej wymiany ciepła. Podstawy termometrii i termografii rozpoczyna rozdział o prawach promieniowania elektromagnetycznego. Autor podaje skale temperaturowe stosowane dawniej i obecnie w metrologii. Ważnym i trudnym elementem termografii jest emisyjność badanych obiektów. Jeden cały rozdział pracy poświęcony jest definicjom i pomiarom emisyjności. Praca prócz rozważań teoretycznych zawiera tabele, wykresy i diagramy ilustrujące omawiane problemy, przez co może być zrozumiała nawet dla Czytelnika, który nie zajmuje się na co dzień termografią.

Kolejnym niezwykle ważnym zagadnieniem praktycznym w termografii jest transmisja atmosfery w zakresie podczerwieni. Choć problem tłumienia i rozpraszania promieniowania w ośrodku otaczającym badany obiekt jest znany w literaturze i dostępne są modele transmisji atmosfery dla różnych długości fali promieniowania, to dokładne wyznaczenie wartości współczynnika pochłaniania jest ciągle nierozwiązanym problemem.

Kolejne rozdziały pracy poświęcone są detektorom podczerwieni i kamerom termowizyjnym. Przedstawiono trendy współczesnej technologii wytwarzania detektorów podczerwieni z podziałem na detektory fotonowe i termiczne. Wśród kamer termowizyjnych opisano najnowsze rozwiązania z detektorami matrycowymi. Autor podał typowe modele pomiaru termograficznego, w których uwzględniono parametry zarówno badanych obiektów, ośrodka jak i kamery i detektora. Przedstawiono i porównano charakterystyki kamer obserwacyjnych i metrologicznych.

Autor, jako doświadczony metrolog, część swej książki poświęcił błędom pomiarów termowizyjnych. Podał wyniki badań naukowych prowadzonych w Zespole, którym sam kieruje na Politechnice Częstochowskiej. Badania te dotyczą m. in. wpływu emisyjności, parametrów otoczenia i kąta obserwacji na błędy pomiaru temperatury metodą termograficzną.

W ostatnich rozdziałach książki Autor przedstawił różne zastosowania termografii, w tym szeroko dziś rozwijaną dziedzinę badań nieniszczących. Na podkreślenie zasługuje przedstawienie podstaw teoretycznych termografii impulsowej i synchronicznej.

Reasumując praca pt. „Pomiary termowizyjne, przyrządy i metody” autorstwa prof. W. Minkiny jest monografią, w której przedstawiono najnowsze osiągnięcia termografii w podczerwieni w różnych zastosowaniach. Przedstawiono teorię i aplikacje termografii pasywnej i aktywnej. Praca jest wartościowa i zapewne będzie dobrze przyjęta przez Czytelników.

Dr hab. inż. Bogusław Więcek, prof. PŁ  
Politechnika Łódzka, Instytut Elektroniki