

Ćwiczenie 3

Elementy fotometrii i testy rozdzielczości obiektywów fotograficznych

Wprowadzenie teoretyczne

Elementy fotometrii

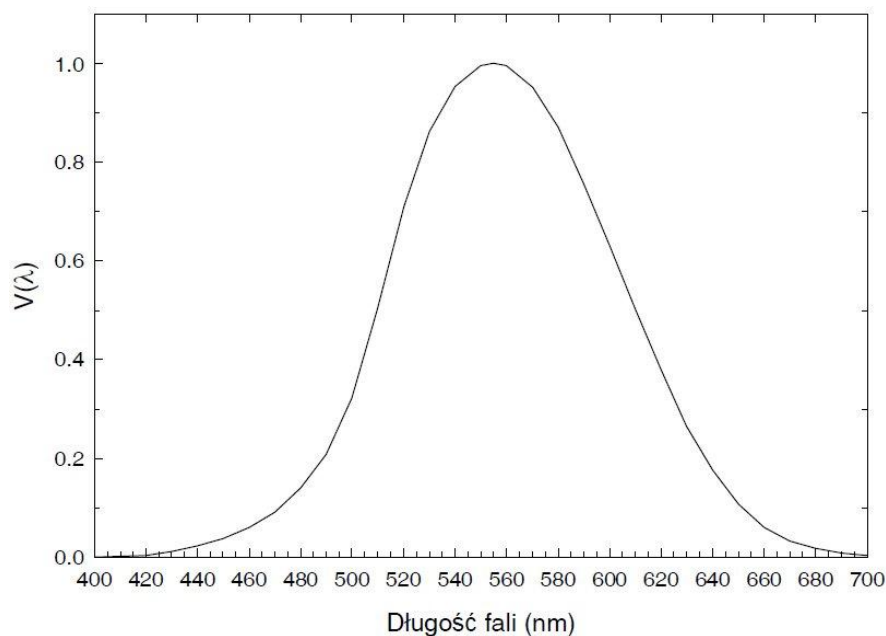
W ogólności pomiarem ilościowym promieniowania fal elektromagnetycznych zajmuje się radiometria, natomiast fotometria jest działem optyki dotyczącym pomiarów dla światła widzialnego. Jedną z podstawowych jednostek układu SI jest kandela (cd). Jest to jednostka światłości źródła światła. Inaczej jest też nazywana natężeniem źródła światła.

W oparciu o powyższą wielkość można zdefiniować strumień świetlny. Strumień świetlny, podawany w lumenach (lm), to moc promieniowania oceniana na podstawie wywoływanego przez nią wrażenia wzrokowego. W związku z tym musi być uwzględniona krzywa czułości ludzkiego oka.

Strumień świetlny o wartości 4π lumena odpowiada sytuacji, kiedy punktowe źródło światła o natężeniu 1 kandel promieniuje izotropowo we wszystkich kierunkach (kątem bryłowy 4π). Czyli w jednostkowy kąt bryłowy powyższe źródło światła wysyła 1 lumen. Warto pamiętać, że $1 \text{ lm} = 1 \text{ cd} * 1 \text{ sr}$, gdzie sr oznacza steradian (miara kąta bryłowego - jest to kąt bryłowy o wierzchołku w środku kuli, wycinający z powierzchni tej kuli pole równe kwadratowi jej promienia).

Jak już wspomniano strumień świetlny powinien być zdefiniowany dla określonej długości fali. Pamiętamy, że oko ma czułość zależną od długości fali światła. Maksimum czułości ludzkiego oka dla widzenia dziennego (przy silnym oświetleniu – widzenie fotopowe) występuje dla długości fali $\lambda=555\text{nm}$.

Tak więc można podać, że dla długości fali $\lambda=555 \text{ nm}$, 1 lumen jest równoważny 0,00146 W. Lub inaczej, źródło emitujące moc 1 W dla długości fali $\lambda=555\text{nm}$ wysyła 680 lumenów. Dla innych długości fali światła należy uwzględnić współczynnik skuteczności świetlnej $V(\lambda)$. Należy zwrócić uwagę, że krzywa (Rys. 10) osiąga maksimum dla fali $\lambda=555\text{nm}$ i wtedy $V(555\text{nm})=1$.



Rysunek 1

Z wykresu można odczytać, że wartość $V(600\text{nm})=0,631$. Oznacza to, że czerwone ($\lambda=600\text{ nm}$), monochromatyczne źródło światła o mocy 1 W wysyła 429 lumenów.

Należy pamiętać, że ten sam strumień świetlny może być skierowany na większą lub mniejszą powierzchnię (np. wiązka światła może być skupiona na względnie małej powierzchni). W ten sposób na określonym obszarze uzyskujemy mniejsze lub większe natężenie oświetlenia. W układzie SI (jednostka pochodna układu SI) jednostką natężenia oświetlenia jest luks (lx).

1 luks (lx) określany jest jako natężenie oświetlenia wywołane przez równomiernie rozłożony strumień świetlny o wartości równej 1 lumen (lm) padający na powierzchnię 1m^2 , a więc: $1\text{ lx} = 1\text{ lm} / \text{m}^2$.

W fotografii do pomiaru ekspozycji stosuje się światłomierze. W chwili obecnej są one wbudowane w aparaty fotograficzne, jednak do zastosowań profesjonalnych stosuje się oddzielne urządzenia. Do pomiaru stosuje się czujniki selenowe, CdS lub krzemowe fotodiody, fotooporniki lub fototranzystory. Światłomierze potrafią zazwyczaj zmierzyć natężenie światła padającego lub odbitego. Światłomierze stosowane w fotografii dokonują pomiaru w wygodnych do naświetlań błon fotograficznych jednostkach EV, zwanych Exposure Value. Skala EV jest skalą logarymiczną o podstawie 2. Wynika z tego, że obiekt odbijający światło o natężeniu 1EV odbija dwa razy więcej światła od obiektu odbijającego światło o natężeniu 0EV. Zastosowanie skali logarymicznej jest tu uzasadnione ze względu na rozpiętość spotykanych w przyrodzie natężeń oświetlenia (oświetlenie nocne światłem gwiazd 0,001 lx - bezpośrednie oświetlenie słoneczne 200 000 lx).

Głowica pomiarowa światłomierza ma określoną powierzchnię, z reguły $1\text{-}5\text{ cm}^2$. Tak więc możliwe jest powiązanie wartości EV podawanych przez światłomierz z wartościami natężenia oświetlenia podanymi w lx (Tabela 1.) przy ustawieniu ISO 100 na światłomierzu.

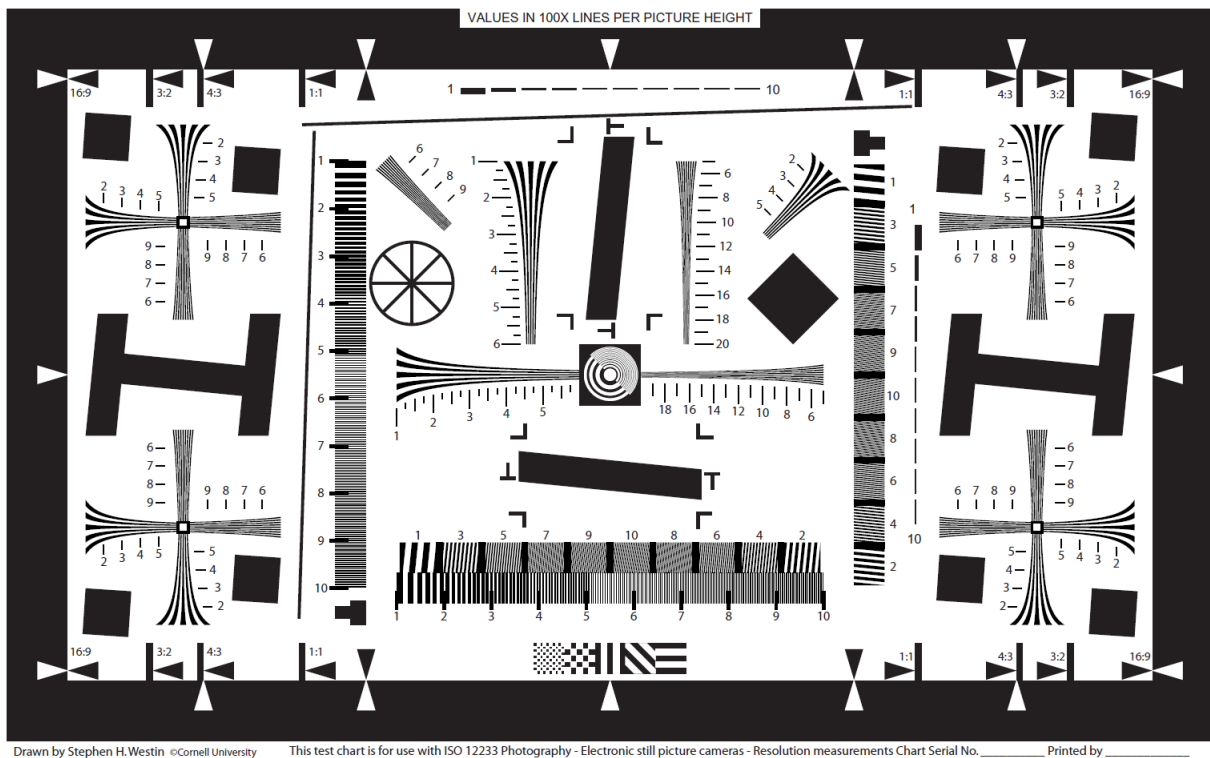
EV	lx		EV	lx
- 1	1.25		9	1280
-0.5	1.75		9.5	1800
0	2.5		10	2600
0.5	3.5		10.5	3600
1	5		11	5120
1.5	7		11.5	7200
2	10		12	10240
2.5	14		12.5	14400
3	20		13	20480
3.5	28		13.5	28900
4	40		14	40960
4.5	56		14.5	57800
5	80		15	81900
5.5	112		15.5	116000
6	160		16	164000
6.5	225		16.5	232000
7	320		17	328000
7.5	450		17.5	464000
8	640		18	656000
8.5	900		18.5	-----

Tabela 1.

Testowanie rozdzielności obiektywów fotograficznych

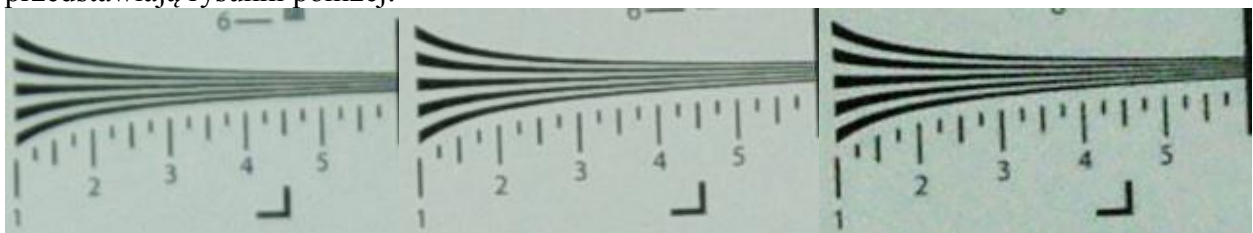
Obiektywy testuje się w celu sprawdzenia ich jakości (tzn. jak bardzo obraz wytworzony przez obiektyw jest zbliżony do ideału). W zakresie badań pod kątem dystorsji, aberracji geometrycznej i chromatycznej (wykonanych na poprzednim ćwiczeniu) innym istotnym parametrem obiektywu jest wykres MTF (ang. modulation transfer function), czyli optyczna funkcja przenoszenia lub inaczej funkcja przenoszenia modulacji. Wykres MTF przedstawia kontrast obiektywu od jego środka do brzegów w porównaniu z obiektywem idealnym. Kontrast ten ma bardzo duże znaczenie, ponieważ współgra z jego rozdzielnością. Testy rozdzielności obiektywu mają bardziej subiektywny charakter i zależą od innych czynników, dlatego producenci obiektywów preferują wykresy MTF jako metodę badania jakości optycznej swoich wyrobów. Jednak subiektywna ocena rozdzielności obiektywów jest łatwiejsza w wykonaniu dlatego w fachowych czasopismach fotograficznych jednym z elementów oceny jakości obiektywu jest właśnie rozdzielność.

Do badania rozdzielności można wykorzystać tablicę ISO 12233:



Rysunek 2

Znając konkretne rozdzielczości poszczególnych fragmentów tablicy testowej i robiąc jej zdjęcie przy znanych ustawieniach obiektywu można ocenić jego rozdzielczość. Oglądając zdjęcie pod dużym powiększeniem można subiektywnie ocenić przenoszone rozdzielczości dla poszczególnych przysłon i wybranych obszarów (np. w centrum i obszarach peryferyjnych). Przykładowe wyniki przedstawiają rysunki poniżej:



Centrum kadru dla przysłon odpowiednio: $f/4.5$ $f/9.5$ $f/19$

Rysunek 3

Pomiar taki może być obarczony grubym błędem (tzn. pomyłką) jeśli okaże się, że obiektyw przenosi lepszą rozdzielczość niż rozdzielczość matrycy aparatu (stąd warto ją znać). Wtedy jedyną możliwością prawidłowego testu jest użycie aparatu posiadającego matrycę o większej rozdzielczości lub skorzystanie z analogowego zapisu na emulsji światłoczułej o dużej rozdzielczości i zbadanie wywołanego negatywu.

W ćwiczeniu będziemy mieli do dyspozycji analogowy aparat i klisze holograficzne (które przenoszą do kilku tys. linii/mm).

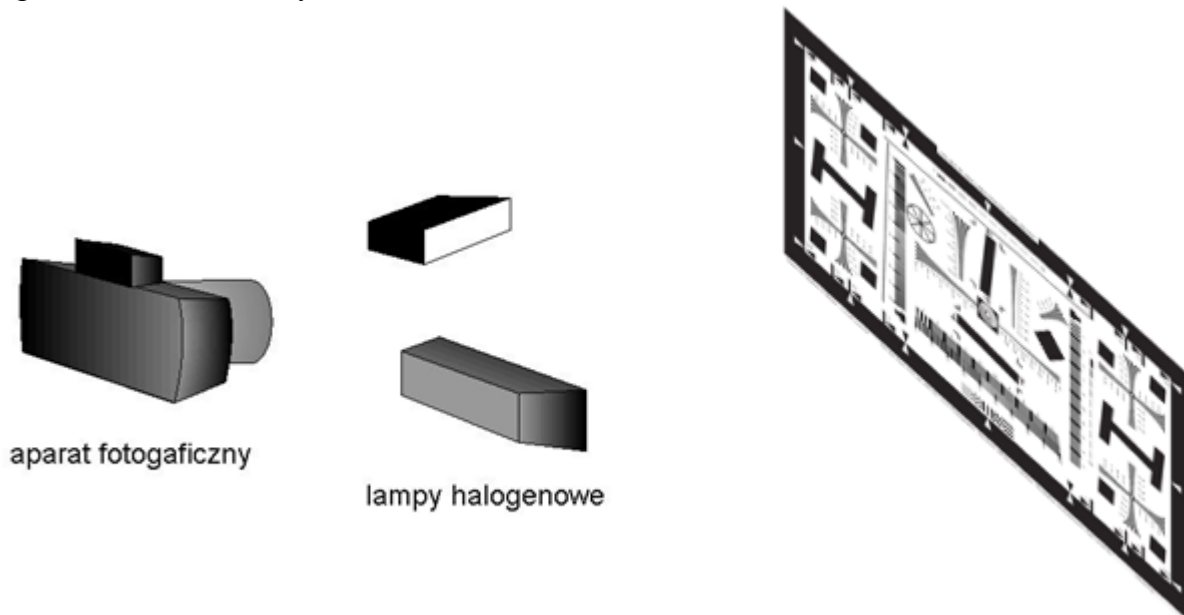
Ze względu na użycie światłoczułych płytek holograficznych o bardzo dużej rozdzielczości, ale bardzo małej czułości, spodziewany czas naświetlania takiej płytki w analogowym aparacie fotograficznym będzie wynosił kilka sekund.

Uwaga!

Przycinanie, wkładanie do aparatu i obróbka chemiczna ww. płyt holograficznych musi być przeprowadzana przy świetle, które nie zaświeci płytki.

Do oświetlenia tablicy testowej wykorzystane zostaną mocne lampy halogenowe, ustawione w

odległości ok. 70 cm od wydruku:



Rysunek 4

W celu dobrania optymalnej długości ekspozycji należy umieścić światłomierz w miejscu, gdzie będzie zamontowana płytkę światłoczuła (przy otwartych drzwiczkach tylnych aparatu). Miejsce to łatwo zlokalizować przy użyciu matówki. Wzrost natężenia o 1EV powoduje skrócenie czasu ekspozycji 2 razy i analogicznie spadek o 1EV skutkuje dwukrotnym wydłużeniem ekspozycji.

Przykładowe parametry naświetlania i obróbki chemicznej:

Emulsję należy naświetlać ok. 6 sekund, wywoływać 2 minuty w wywoływaczu W-41, wypłukać w wodzie i utrwalać 4 minuty w utrwalaczu uniwersalnym Fomafix, a następnie płukać w bieżącej wodzie ok. 10 sekund. Uzyskana płytkę po wysuszeniu suszarką zawiera negatyw tablicy testowej.

Przebieg ćwiczenia

Niniejsze ćwiczenie obejmuje następujące etapy:

- 1) Pomiar fotometryczny dla różnych źródeł światła.
 - a. Pomiar mocy laserów o różnej mocy i różnych długościach emitowanej fali świetlnej;
 - b. Pomiar natężenia oświetlenia:
 - i. niekoherentnych źródeł światła;
 - ii. wiązki laserowej (fala sferyczna rozbieżna);
 - iii. diody LED.
 - c. Zbadanie dodawania kolejnych filtrów szarych w jednostkach EV (w wiązce laserowej – fala płaska). Należy mierzyć natężenie pojedynczego źródła światła jednocześnie dokładając w torze światła kolejne identyczne filtry szare.
 - d. Weryfikacja prawa odwróconego kwadratu. Należy mierzyć w jednostkach [EV] natężenie quasi-punktowego źródła światła w różnych odległościach. Wyniki nanieść na wykres i sformułować wnioski. Uwzględnić obecność innych (zastanych) źródeł światła.
- 2) Wykonanie testu rozdzielczości obiektywów dostępnych w pracowni.
 - a. Wykonanie zdjęć tablicy testowej aparatem cyfrowym:
 - i. dla kilku różnych ogniskowych obiektywów zmiennoogniskowych;

- ii. dla kilku wybranych wartości liczby przysłony.
- b. Wykonanie zdjęć tablicy testowej aparatem analogowym (wykorzystującym klisze holograficzne).
 - i. Zapoznanie się z materiałami fotograficznymi stosowanymi w laboratorium optycznym: klisze szklane, odczynniki chemiczne, odbielacze.
 - ii. Zestawienie fotograficznego układu obrazującego przygotowanego do długiego czasu naświetlania rzędu kilku/kilkudziesięciu sekund.
 - iii. Pomiar natężenia światła w układzie obrazującym i dobór czasu ekspozycji.
 - iv. Naświetlenie i wywołanie negatywu.
 - v. Dokumentacja fotograficzna otrzymanego negatywu. Wykonanie zdjęć w powiększeniu mikroskopowym.

Politechnika Warszawska
Wydział Fizyki
Pracownia Informatyki Optycznej
Październik 2012