

Ćwiczenie 1

Formowanie elementarnych frontów falowych. Zapoznanie się z podstawowymi elementami optycznymi i źródłami światła, które będą wykorzystywane podczas zajęć laboratoryjnych. Podstawy techniki fotograficznej.

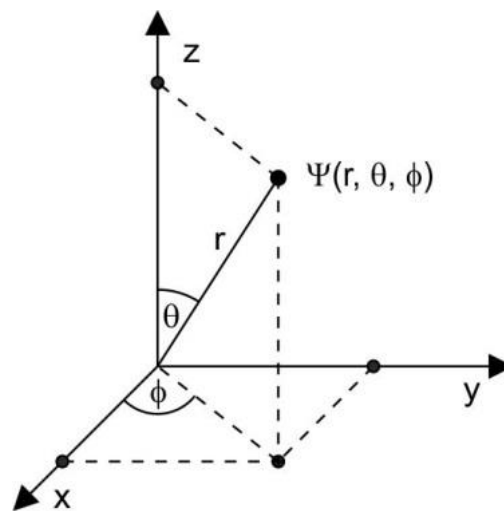
Część teoretyczna

Światło jest falą elektromagnetyczną, z którą związana jest funkcja $\psi(\vec{r}, t)$, opisująca dowolną składową wektora pola elektrycznego lub magnetycznego. Funkcja ta spełnia równanie falowe:

$$\nabla^2 \psi = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} \quad (1)$$

gdzie v jest prędkością światła w danym ośrodku. Światłne fronty falowe mogą mieć w ogólności różne kształty i jedynym ograniczeniem jest tutaj równanie (1). Z praktycznego punktu widzenia szczególnie ważne są monochromatyczne fale sferyczne, płaskie i cylindryczne. Znajomość ich opisu, a przede wszystkim umiejętność formowania wymienionych frontów falowych w układzie optycznym, ułatwi nam prowadzenie dalszych eksperymentów z zakresu optyki falowej.

Fala sferyczna



Rys. 1 – Układ współrzędnych sferycznych.

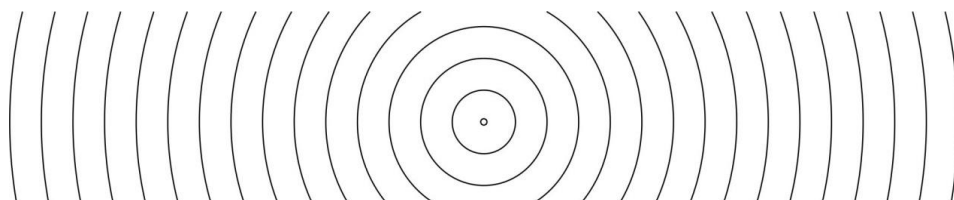
W układzie współrzędnych sferycznych (Rys. 1) fala sferyczna jest opisana funkcją:

$$\psi(\vec{r}, t) = \frac{A}{r} \cos(kr \mp \omega t + \varphi) \quad (2)$$

lub w zapisie zespolonym funkcją:

$$\psi(\vec{r}, t) = \frac{A}{r} e^{i(kr \mp \omega t + \varphi)} \quad (3)$$

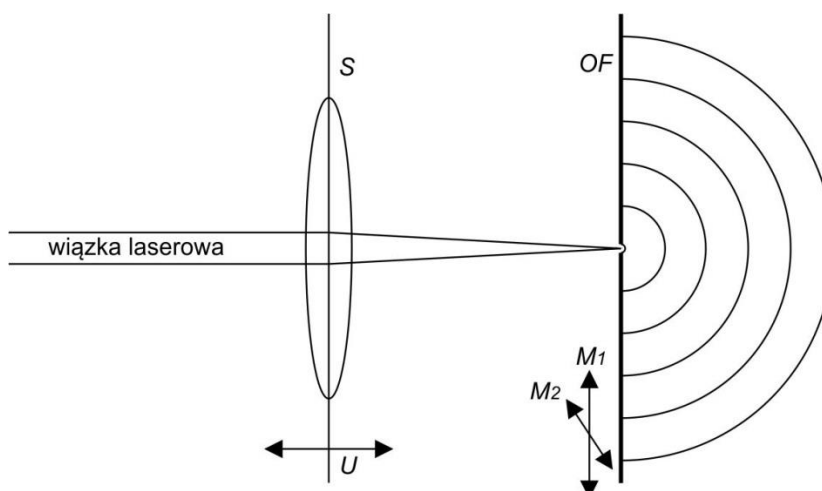
gdzie φ przedstawia fazę początkową, r jest współrzędną radialną, czyli odległością punktu obserwacji od początku układu współrzędnych, a k oznacza długość wektora falowego, tzn. $k = 2\pi/\lambda$. Natomiast ω jest częstością kołową fali, tzn. $\omega = 2\pi\nu$, gdzie λ i ν są odpowiednio długością i częstością fali monochromatycznej. Powierzchnie stałej fazy fali sferycznej są współśrodkowymi sferami. Rys. 2 przedstawia przecięcie tych powierzchni z płaszczyzną przechodzącą przez początek układu współrzędnych, zaznaczony kropką.



Rys. 2 – Powierzchnie stałej fazy fali sferycznej emitowanej przez punktowe źródło światła.

Faza $kr - \omega t + \varphi$ we wzorach (2) i (3) odpowiada fali sferycznej rozbieżnej, której źródło znajduje się na początku układu współrzędnych. Natomiast faza $kr + \omega t + \varphi$ opisuje falę sferyczną zbiegającą się do początku układu z Rys. 1.

Najefektywniejszy, a zarazem bardzo praktyczny sposób sformowania fali sferycznej zapewnia układ soczewki i otwarka filtrującego, który jest przedstawiony na Rys. 3.



Rys. 3 – Układ formujący falę sferyczną rozbieżną.

Symbolem S na Rys. 3 oznaczono soczewkę lub obiektyw mikroskopowy zamontowany w mogącym się obracać uchwycie U . Powyższy obrót umożliwia poziomy przesuw elementu S wzdłuż osi optycznej powodujący przysuwanie się lub oddalanie od małego otwarka filtrującego OF . Otworek ten jest przesuwany precyzyjnie dwoma śrubami mikrometrycznymi M_1 i M_2 . Jedna z nich umożliwia ruch otwarka w pionie, druga w poziomie w kierunku prostopadłym do osi optycznej. Kiedy wiązka laserowa zostanie zogniskowana dokładnie w obszarze otwarka filtrującego, wówczas za otworkiem pojawia się intensywne pole świetlne, będące realnym przybliżeniem rozbieżnej fali sferycznej.

Sformowanie fali sferycznej za pomocą układu z Rys. 3 można podzielić na następujące etapy:

- 1) Ustawienie soczewki lub obiektywu S prostopadle do kierunku wiązki laserowej.
- 2) Znalezienie przy pomocy śruby mikrometrycznej takiego położenia otwarka OF , które odpowiada największemu natężeniu światła za nim. Optymalne

- położenie znajdujemy obserwując otworek od strony przeciwnej do kierunku oświetlenia wiązką laserową.
- 3) Przesuwanie elementu S poprzez obrót uchwytu U w kierunku odpowiadającym coraz intensywniejszemu oświetleniu otworka. Jednocześnie nieznacznie przemieszczamy otworek OF śrubami mikrometrycznymi, aby uzyskać jego optymalne położenie.

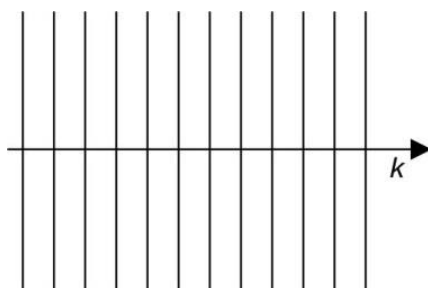
Uwaga! Przy pojawieniu się dużego natężenia światła w obrębie otworka nie patrzymy dalej weń bezpośrednio, a jedynie obserwujemy plamkę świetlną na kartce papieru umieszczonej za otworkiem. Justowanie prowadzimy do chwili pojawienia się na papierze możliwie najjaśniejszej plamki świetlnej.

Fala płaska

Monochromatyczna fala płaska, propagująca się wzdłuż kierunku wektora falowego $\vec{k}$ jest opisana funkcją:

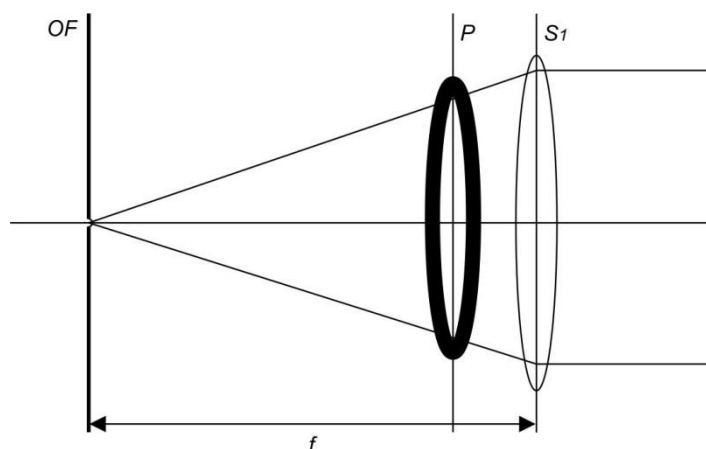
$$\psi(\vec{r}, t) = Ae^{i(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t + \varphi)} \quad (4)$$

Wektor $\vec{k}$ jest zawsze prostopadły do powierzchni stałej fazy. W przypadku fali płaskiej powierzchnie te są równoległymi do siebie płaszczyznami (Rys. 4).



Rys. 4 – Powierzchnie stałej fazy fali płaskiej.

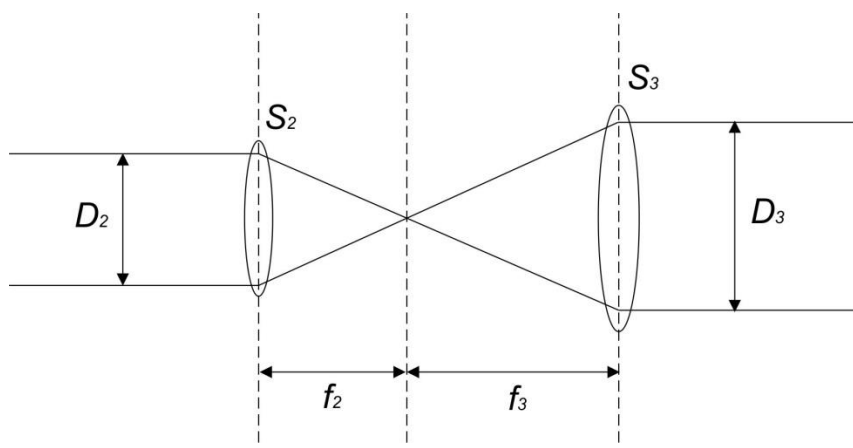
W układzie optycznym falę płaską można sformować przy użyciu zjustowanego otworka filtrującego OF , umieszczonego w ognisku soczewki S_1 (w praktyce używa się przeważnie obiektywu schematycznie oznaczonego przez przysłonę P i soczewkę S_1), tak jak to pokazano na Rys. 5.



Rys. 5 – Układ optyczny tworzący falę płaską.

Za soczewką S_1 pojawia się wiązka świetlna, będąca przybliżeniem fali płaskiej. Optymalne położenie soczewki S_1 za otworkiem OF dobieramy w ten sposób, że średnica wyjściowej wiązki świetlnej obserwowanej na ekranie powinna być stała niezależnie od odległości ekranu od soczewki S_1 .

Średnica wygenerowanej "fali płaskiej" z Rys. 5 może być łatwo zmieniona w układzie teleskopowym złożonym z dwóch soczewek S_2 i S_3 , przedstawionym na Rys. 6.

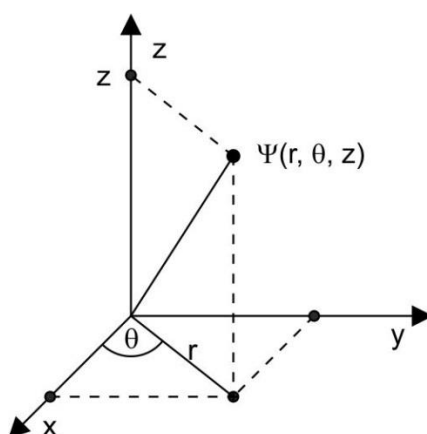


Rys. 6 – Układ teleskopowy.

Soczewki S_2 i S_3 są ustawione prostopadle do kierunku padania wiązki świetlnej i ich ogniska pokrywają się. W zależności od tego, czy światło pada na soczewkę S_2 czy S_3 wiązka wyjściowa zostanie zwężona lub poszerzona. Średnice wiązek D_2 i D_3 spełniają warunek $D_2/D_3 = f_2/f_3$, gdzie f_2 i f_3 są odpowiednio ogniskowymi soczewek S_2 i S_3 .

Fala cylindryczna

Monochromatyczna rozbieżna fala cylindryczna jest emitowana przez koherentnie świecącą linię prostą, tzn. taką, która jest continuum źródeł punktowych, wypromieniowujących promieniowanie elektromagnetyczne o tej samej fazie i tej samej częstotliwości. Z tego względu najwygodniej taką falę opisać w układzie współrzędnych cylindrycznych, pokazanym na Rys. 7.

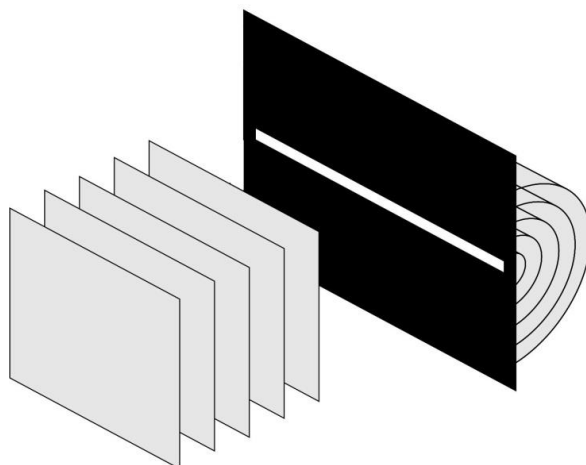


Rys. 7 – Układ współrzędnych cylindrycznych.

Funkcja:

$$\psi(\vec{r}, t) \cong \frac{A}{\sqrt{r}} e^{i(kr \mp \omega t + \varphi)} \quad (5)$$

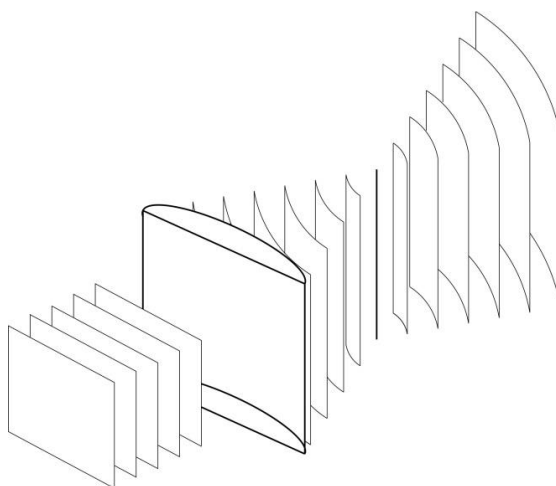
opisuje falę cylindryczną emitowaną przez oś OZ z Rys. 7 lub falę zbiegającą się do tej osi w zależności od znaku $-$ lub $+$ w fazie przed parametrem ω , tak jak to było dla fali sferycznej. Przybliżona równość we wzorze (5) oznacza, że powyższe wyrażenie dla funkcji ψ jest aproksymacją. Obowiązuje ono dla odległości r od osi OZ znacznie większych od długości fali λ . Ścisła postać funkcji ψ jest wyrażona poprzez funkcję Bessela, ponieważ jednak różnica występuje jedynie dla bardzo małych odległości od źródła liniowego, dla celów praktycznych można posługiwać się dużo prostszą formą (5). Gdy oświetlimy długą wąską szczelinę falą płaską, to za nią powstanie fala cylindryczna. Jej powierzchnie stałej fazy są współśrodkowymi powierzchniami cylindrycznymi, jak ilustruje Rys. 8.



Rys. 8 – Powierzchnie stałej fazy fali cylindrycznej.

Oczywiście, powyższy sposób sformowania fali cylindrycznej jest jedynie przybliżony (teoretycznie szczelina powinna być nieskończenie długa i nieskończenie wąska) i nieefektywny energetycznie, gdyż tylko ułamek padającej energii pojawia się za szczeliną.

Praktycznie dużo wydajniejsze jest oświetlenie soczewki cylindrycznej falą płaską.



Rys. 9 – Układ optyczny formujący fale cylindryczne – zbieżną i rozbieżną.

Jak pokazano na Rys. 9 soczewka cylindryczna oświetlona prostopadłe falą płaską skupia światło wzdłuż prostoliniowego odcinka. Zatem za soczewką, a przed ogniskiem liniowym jest sformowany w przybliżeniu front cylindryczny zbieżny, natomiast za ogniskiem front cylindryczny rozbieżny.

Elementy fotometrii

W ogólności pomiarem ilościowym fal elektromagnetycznych zajmuje się radiometria, natomiast fotometria jest działem dotyczącym pomiarów dla światła widzialnego.

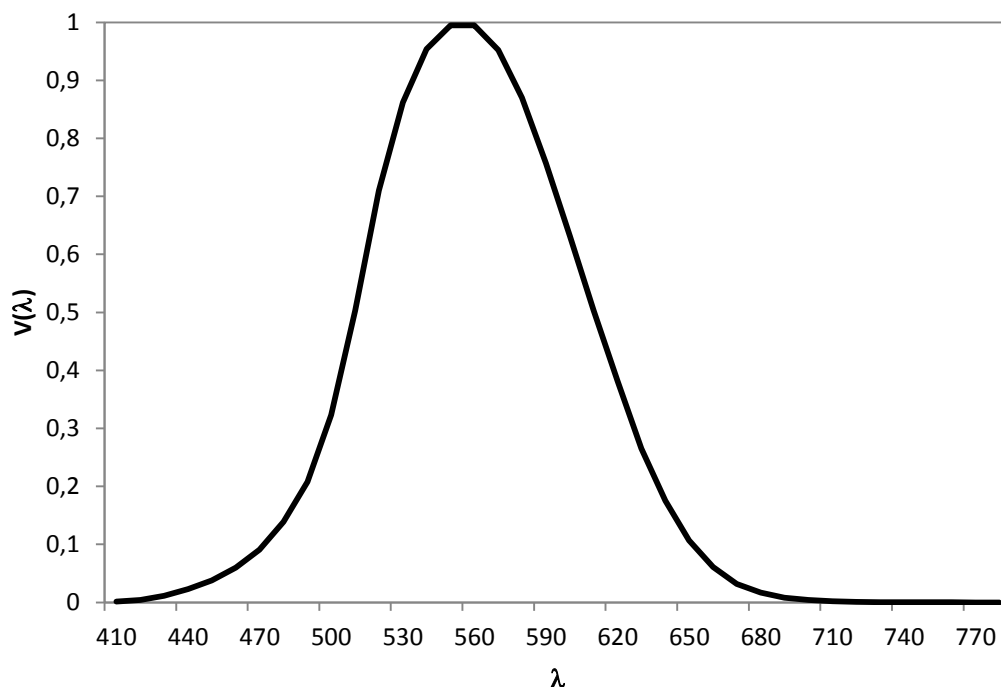
Jedną z podstawowych jednostek układu SI jest kandela (cd). Jest to jednostka światłości źródła światła, która jest też inaczej nazywana natężeniem źródła światła.

W oparciu w powyższą wielkość można zdefiniować strumień świetlny. Strumień świetlny, podawany jest w lumenach (lm) i jest to moc promieniowania oceniana na podstawie wywoływanego przez nią wrażenia wzrokowego. W związku z tym musi on uwzględniać krzywą czułości ludzkiego oka.

Strumień świetlny o wartości 4π lumena odpowiada sytuacji, kiedy punktowe źródło światła o natężeniu 1 kandel promieniuje izotropowo we wszystkich kierunkach (czyli w kąt bryłowy 4π). Wynika z tego, że w jednostkowy kąt bryłowy powyższe źródło światła wysyła 1 lumen. Warto pamiętać, że $1\text{ lm} = 1\text{ cd} \cdot 1\text{ sr}$, gdzie sr oznacza steradian. Jest to wartość kąta bryłowego o wierzchołku w środku kuli, który wycina z jej powierzchni pole równe kwadratowi jej promienia.

Strumień świetlny powinien być zdefiniowany dla określonej długości fali. Pamiętamy, że oko człowieka ma czułość zależną od długości fali światła i jego maksimum czułości dla widzenia dziennego (przy silnym oświetleniu – tzw. widzenie fotopowe) wypada dla długości fali $\lambda=555\text{ nm}$, co odpowiada kolorowi zielonemu.

Zatem można napisać, że dla długości fali $\lambda=555\text{ nm}$, 1 lumen jest równoważny 0,00146 W lub inaczej, że 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 swoje maksimum krzywa osiąga dla fali $\lambda=555\text{ nm}$ i wtedy $V(555\text{ nm})=1$, co ilustruje Rys. 10.



Rys. 10 – Międzynarodowa Krzywa Czułości Oka (CIE (1931). *Commission Internationale de l'Eclairage Proceedings, 1931*. Cambridge: Cambridge University Press.).

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

Tab. 1 – Zależność wartości EV podawanych przez światłomierz z wartościami natężenia w luksach (przu ustawieniu ISO 100).

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	—

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 lub rozproszona). W ten sposób na określonym obszarze uzyskujemy mniejsze lub większe natężenie oświetlenia. W układzie SI jednostką natężenia oświetlenia jest Luks (lx) i jest to jednostka pochodna układu SI.

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

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. Przeważnie są to czujniki selenowe, CdS lub krzemowe fotodiody, fotooporniki lub fototranzystory. Światłomierze potrafią zazwyczaj zmierzyć natężenie światła padającego lub odbitego. Te stosowane w fotografii dokonują pomiaru jednostkach

EV zwanych Exposure Value, które są wygodne do naświetlania błon fotograficznych. Skala EV jest skalą logarytmiczną 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 logarytmicznej jest w pełni uzasadnione ze względu na ogromną rozpiętość spotykanych w przyrodzie natężeń oświetlenia (oświetlenie nocne światłem gwiazd to 0,001 lx, natomiast bezpośrednie oświetlenie słoneczne to aż 200 000 lx)

Głowica pomiarowa światłomierza ma określoną powierzchnię, z reguły 1-5 cm². Tak więc możliwe jest powiązanie wartości EV podawanych przez światłomierz z wartościami natężenia oświetlenia podanymi w lx (Tab. 1).

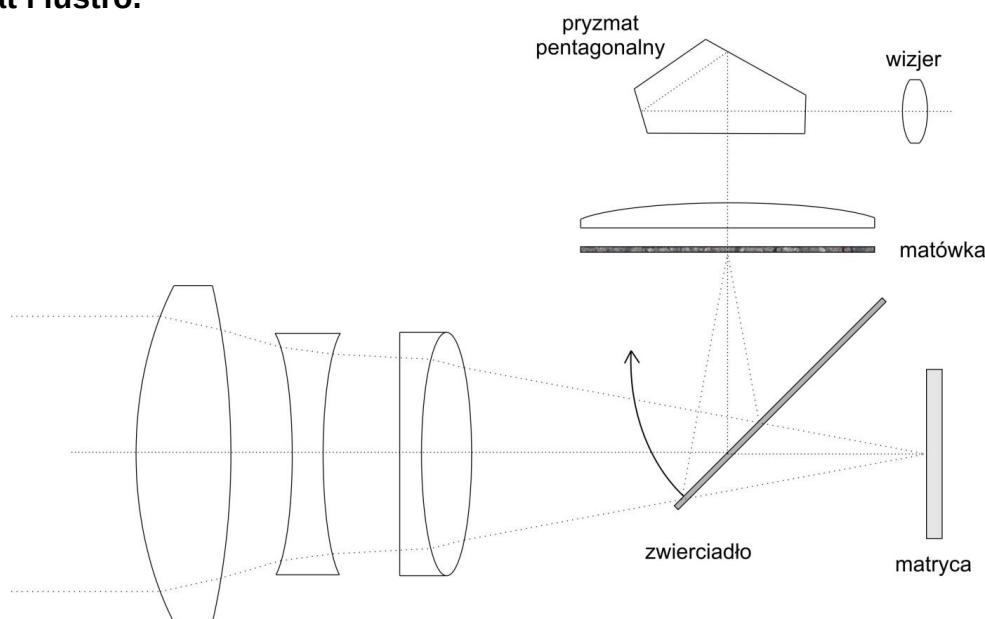
Jednostki EV zdefiniowane są wzorem: $EV = \log_2 \frac{N^2}{t}$, gdzie N to otwór względny (wartość f), natomiast t jest czasem ekspozycji w sekundach. Wskazanie 0 EV oznacza, że w przypadku czasu naświetlania $t=1$ s musimy ustawić wartość przysłony $f=1.0$ lub dla czasu $t=2$ s wartość przysłony $f=1.4$ itd. Wskazanie światłomierza 1 EV oznacza, że musimy ustawić wartość przysłony $f=1.0$ dla czasu $t=0,5$ s lub przysłonę $f=1.4$ dla czasu $t=1$ s itd. Wynika z tego, że obiekt odbijający światło o natężeniu 1EV odbija dwa razy więcej światła od obiektu odbijającego światło o natężeniu 0EV.

Podstawy techniki fotograficznej

Wprowadzenie teoretyczne

Ćwiczenie ma charakter wybitnie eksperymentalny, w związku z tym nie wymaga skomplikowanego przygotowania teoretycznego. Jego celem jest między innymi zaznajomienie studentów z techniką wykonywania dokumentacji fotograficznej w układach optycznych i obsługą lustrzanki cyfrowej. Umiejętności te są niezbędne w pracy doświadczalnej w laboratorium optycznym i będą konieczne przy realizacji dalszych ćwiczeń.

Pryzmat i lustro.



Rys. 11 – Ruchome zwierciadło i pryzmat pentagonalny – przykładowa budowa aparatu fotograficznego.

Zaletą pryzmatu pentagonalnego jest niewielki rozmiar oraz fakt odwracania obrazu dzięki całkowitemu podwójnemu wewnętrznemu odbiciu wewnątrz pryzmatu. Zastosowanie

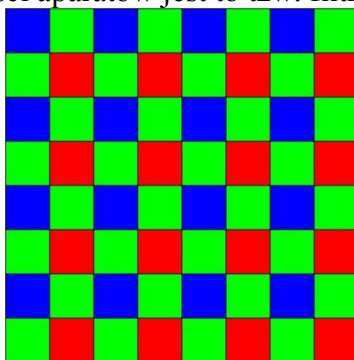
pryzmatu daje możliwość zmniejszenia układu optycznego, a co za tym idzie minimalizuje wymiary korpusu aparatu.

Podczas kadrowania lustro jest opuszczone i ok. 95% pola widzianego przez obiektyw jest obrazowane na matówce i kierowane do wizjera. Podczas ekspozycji lustro zostaje podniesione, co powoduje chwilowy brak widoczności sceny fotografowanej. Najnowsze lustrzanki z systemem LiveView posiadają tryb permanentnego podniesienia lustra lub dodatkową niewielką matrycę CCD w celu kadrowania za pomocą ekranu LCD.

Matryca światłoczuła

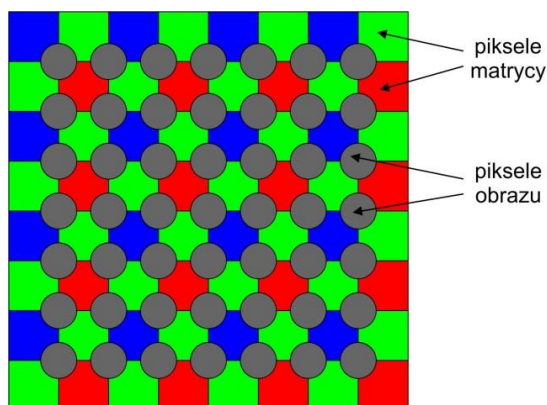
Jej zadaniem jest zamiana natężenia światła na sygnał elektryczny interpretowany i obrabiany następnie przez elektronikę i oprogramowanie aparatu cyfrowego. Wyróżniamy macierze typu CCD (ang. Charge Coupled Device) oraz CMOS (ang. Complementary Metal-Oxide Semiconductor).

Każdy element (piksel) matrycy światłoczułej jest czuły w całym zakresie widma światła widzialnego, dlatego by móc odczytywać informację o kolorze nakłada się na poszczególne piksele filtry barwne, w większości aparatów jest to tzw. filtr Bayera:



Rys. 12 – Schemat filtru Bayera.

Informacja barwna jest tworzona przez interpolację informacji z pikseli matrycy do barwnych pikseli obrazu:



Rys. 13 – Interpolacja wykorzystywana do stworzenia barwnego obrazu.

Podstawy użytkowania lustrzanki cyfrowej

W Pracowni Informatyki Optycznej często eksperymenty są rejestrowane fotograficznie. Do tego celu wykorzystywane są amatorskie lustrzanki cyfrowe (jednoobiektywowe). Tego typu aparaty posiadają niezbędne funkcje do prawidłowej dokumentacji doświadczenia. Jedną z części ćwiczenia jest nauczanie się prawidłowej obsługi lustrzanki.

Dzięki możliwości demontażu obiektywu, dokumentacja może odbywać się na dwa sposoby:

- bezpośrednio na matrycy (z wymontowanym obiektywem),
- klasyczne zdjęcie z obiektywem.

Aby prawidłowo wykonać zdjęcie z wykorzystaniem lustrzanki cyfrowej (jak również lustrzanki analogowej) należy znać podstawowe parametry aparatów i obiektywów. Są to:

- a) zakres dostępnych wartości przysłony – określający strumień światła, jaki przechodzi przez obiektyw,
- b) zakres dostępnych czasów naświetlania, czyli czasów otwarcia migawki,
- c) zakres czułości ISO – w aparatach analogowych parametr czułości błony światłoczułej, natomiast w aparatach cyfrowych stosuje się ekwiwalenty tej czułości dla matryc CCD lub CMOS.

Lustrzanki cyfrowe oferują swoim użytkownikom bogaty wybór trybów pracy. Mamy możliwość wyboru przygotowanych przez producentów programów tematycznych (np. portret, krajobraz), jak również możemy samodzielnie dostosować parametry do indywidualnych warunków panujących podczas robienia zdjęć. W przypadku lustrzanek mamy do wyboru następujące tryby:

P – tryb automatyczny (ang. Program Mode),

Tv – preselekcja czasu naświetlania (migawki) – (ang. Shutter-Priority Mode),

Av – preselekcja przysłony (ang. Aperture-Priority Mode),

M – ręczne ustawienie czasu naświetlania i przysłony (ang. Manual Exposure Mode).



Rys. 14 – Różne metody pomiaru naświetlenia – jednopunktowy (z lewej), centralnie ważony (po środku) i wielopunktowy (po prawej).

Producenci aparatów fotograficznych dają nam możliwość dodatkowej korekcji ustawień automatycznych, lub dodatkowych trybów pracy. Opcje takie dostępne w aparatach fotograficznych to np.:

1. wybór metody pomiaru naświetlenia (wielopunktowy, jednopunktowy, centralnie ważony - Rys. 14),
2. ustawienie ostrości: ręczne lub automatyczne,
3. balans bieli – „aby białe było białe”, m. in.: automatyczny, światło dzienne, światło żarowe, balans własny na białą kartkę, balans własny na szarą kartkę (Rys. 15).

a) automatyczny



b) światło dzienne



c) światło fluorescencyjne



d) światło żarowe



Rys. 15 – Przykładowe ustawienia balansu bieli.

Podczas wykonywania zdjęć aparat korzysta z urządzenia wbudowanego w korpus, zwanego światłomierzem. W przypadku wykonywania zdjęć w bardziej wymagających warunkach można wykorzystać światłomierze przenośne, których podstawy użytkowania zostały przedstawione w pierwszym ćwiczeniu. Pomiar światła umożliwia dobranie prawidłowych parametrów ekspozycji tak aby uzyskać udane zdjęcie.

Przysłona

Jest to element obiektywu pozwalający zmieniać wielkość otworu regulującego ilość światła wpadającego przez obiektyw. Zwykle ma ona postać nachodzących na siebie metalowych listków.



Rys. 16 – Przysłona: duża średnica otworu przysłony – mała liczba przysłony (po lewej) oraz mała średnica otworu przysłony – duża liczba przysłony (po prawej).

Liczba przysłony lub wartość przysłony to parametr charakteryzujący ilość światła przepuszczanego przez obiektyw do wnętrza aparatu fotograficznego (Rys. 16). Oznacza się ją jako $f/\#$ lub N i wyznacza według wzoru:

$$f/\# = \frac{f}{d}, \quad (6)$$

gdzie f to ogniskowa obiektywu [mm], a d to średnica otworu przysłony [mm].

Jeżeli nie mamy wpływu na oświetlenie fotografowanego obiektu to właśnie przysłona pozwala nam otrzymać poprawną ekspozycję zdjęcia.

Za pomocą przysłony możemy również regulować głębię ostrości, czyli obszaru przed i za ustawioną odległością fotografowania, który będzie ostry. Im mniejszy otwór przysłony, tym większa jest głębia ostrości uzyskana na zdjęciu (Rys. 17).



Rys. 17 – Różna głębina ostrości – mała dla małej liczby przysłony (po lewej) oraz duża dla dużej liczby przysłony (po prawej).

Warto zwrócić uwagę, że kształt otworu przysłony wiąże się z odwzorowaniem nieostrych obszarów zdjęcia, tzw. bokeh. Przeważnie staramy się, aby przysłona była jak najbardziej okrągła, jednak na wielu zdjęciach możemy zauważyć rozkłaski wynikające właśnie z ilości jej listków. Jeżeli zastosujemy przysłonę o jakimś innym kształcie to wtedy nieostre obszary zdjęcia będą miały ten sam kształt, co pozwoli nam uzyskać dodatkowe efekty artystyczne wykonanego przez nas zdjęcia.

Przebieg ćwiczenia

Formowanie elementarnych frontów falowych. Zapoznanie się z podstawowymi elementami optycznymi i źródłami światła, które będą wykorzystywane podczas zajęć laboratoryjnych.

- 1) Zapoznanie się z podstawowymi elementami optycznymi używanymi w laboratorium optyki falowej: soczewki, zwierciadła (lustra optyczne), płytki płaskorównoległe, pryzmaty, filtry.
- 2) Sformowanie fali sferycznej rozbieżnej i zbieżnej przy pomocy pinholi.
- 3) Sformowanie fali płaskiej.
- 4) Sformowanie fali cylindrycznej.
- 5) Poszerzenie i zwężenie wiązki świetlnej w układzie teleskopowym.
- 6) Zapoznanie się z miernikiem mocy świetlnej oraz ze światłomierzem fotograficznym.
- 7) Pomiar mocy wiązki lasera oraz natężenia oświetlenia:
 - a. różnych niekoherentnych źródeł światła;
 - b. w wiązce laserów o różnej mocy i różnych długościach emitowanej fali świetlnej;
 - c. wiązki przed i po odbiciu od zwierciadła półprzepuszczalnego dla różnych długości fali.

Przebieg ćwiczenia

Podstawy techniki fotograficznej.

- 1) Wykonanie zdjęć cyfrowymi aparatami fotograficznymi typu lustrzanka (w pracowni do dyspozycji są amatorskie lustrzanki cyfrowe oraz ich instrukcje obsługi).
 - a. Podstawowa obsługa aparatu:
 - i. Prawidłowe trzymanie aparatu lub prawidłowe mocowanie do statywu.
 - ii. Korzystanie z przycisku spustu migawki i pilota przewodowego (bądź bezprzewodowego).
 - iii. Korzystanie z samowyzwalacza, korzystanie ze zdjęć seryjnych.
 - b. Nauka nastawiania ostrości.

- i. Ustawianie ostrości manualne.
 - ii. Ustawianie ostrości automatyczne (wybór trybu pracy).
 - 1. Obiekty nieruchome.
 - 2. Obiekty ruchome – wykonanie serii ostrych zdjęć zbliżającego się obiektu.
 - iii. Wybieranie punktu nastawiania ostrości.
 - c. Nauka prawidłowego ustawienia ekspozycji.
 - i. Wybór trybu pomiaru światła przez wbudowany światłomierz.
 - 1. Pomiar wielosegmentowy.
 - 2. Pomiar skupiony na małym polu.
 - 3. Pomiar centralnie ważony uśredniony.
 - ii. Ustawianie czasu naświetlania i przysłony w zależności trybu pracy aparatu (P, Tv, Av, M) (obserwacja histogramu zdjęcia).
 - 1. Prześwietlenie zdjęcia.
 - 2. Niedoświetlenie zdjęcia.
 - 3. Prawidłowa ekspozycja.
 - 4. Bracketing.
 - iii. Głębina ostrości a przysłona.
 - 1. Sprawdzanie głębi ostrości przyciskiem na aparacie.
 - 2. Wykonanie serii zdjęć demonstrujących zmieniającą się głębokość ostrości.
 - iv. Zmiana czułości aparatu – obserwacja szumów dla wysokich ekwiwalentów ISO przy zdjęciach o długim czasie ekspozycji w zaciemnionym pomieszczeniu lub z użyciem filtra szarego.
 - d. Obserwacja różnych ustawień balansu bieli dla ustalonej fotografowanej sceny.
 - i. Przy świetle zastanym (żarowym lub jarzeniowym).
 - ii. Przy świetle wbudowanej lampy błyskowej.
- 2) Zgranie zdjęć na przyniesiony dysk typu USB. Selekcja wykonanych zdjęć, opisanie ich zawartości.

UWAGA: Wykonane zdjęcia należy załączyć w sprawozdaniu, przy czym muszą być odpowiednio wykadrowane i opisane. Zawartość kadru (dobór fotografowanej sceny) musi zawsze świadczyć o zrozumieniu zagadnienia, ilustrowanego przez dane zdjęcie, np. przy teście głębi ostrości należy fotografować scenę o dużej rozciągłości podłużnej, a nie płaski przedmiot.

Dodatek A

Promieniowanie elektromagnetyczne możemy scharakteryzować za pomocą wielu różnych wielkości fizycznych, między innymi są to:

1. energia promieniowania (ang. *radiant energy*) jest to energia przenoszona w postaci fali elektromagnetycznej. Jej jednostką jest dżul [J] i oznaczamy ją symbolem Q .
2. strumień promieniowania lub moc promieniowania (ang. *radiant flux*) jest to energia przenoszona przez promieniowanie, która przechodzi przez daną powierzchnię w pewnej jednostce czasu. Jego jednostką jest wat [W] i możemy go zapisać za pomocą wzoru: $\Phi_e \equiv \frac{\partial Q}{\partial t}$.
3. emitancja promieniowania (ang. *radiant exitance*) jest to strumień promieniowania emitowany z danej powierzchni. Jej jednostką jest wat na metr kwadratowy $[\frac{W}{m^2}]$ i definiujemy ją w następujący sposób: $M_e \equiv \frac{\partial \Phi_e}{\partial A}$.

4. irradiancja, nazywana też natężeniem napromieniowania lub oświetleniem (ang. *irradiance*), to strumień promieniowania padający na daną powierzchnię. Jej jednostką jest wat na metr kwadratowy $[\frac{W}{m^2}]$ i definiujemy ją jako: $E_e \equiv \frac{\partial \Phi_e}{\partial A}$.
5. natężenie promieniowania (ang. *radiant intensity*) jest to strumień promieniowania emitowany w dany kąt bryłowy. Jego jednostką jest wat na steradian $[\frac{W}{sr}]$ i możemy je opisać za pomocą wzoru: $I_e \equiv \frac{\partial \Phi_e}{\partial \Omega}$.
6. luminancja energetyczna lub radiacja promieniowania (ang. *radiance*) jest wartością strumienia promieniowania emitowanego przez jednostkową powierzchnię w jednostkowym kacie bryłowym. Opisuje ona rozkład przestrzenny energii, którą wysyła źródło. Jej jednostką jest wat na metr kwadratowy na steradian $[\frac{W}{m^2 sr}]$ i opisujemy ją za pomocą wzoru: $L_e \equiv \frac{\partial^2 \Phi_e}{\partial \Omega \partial A \cos \theta}$.

Ponieważ powyższe wielkości dotyczą całkowitego promieniowania, które może składać się z fal o różnej długości, wprowadza się pojęcia: spektralnej gęstości strumienia $\Phi_e(\lambda) = \frac{\partial \Phi_e}{\partial \lambda}$ $[\frac{W}{nm}]$, radiancji spektralnej, irradiancji spektralnej itd. Te wielkości fizyczne wykorzystywane dla fal elektromagnetycznych z zakresu światła widzialnego dotyczą fotometrii obiektywnej.

W przypadku, gdy weźmiemy pod uwagę wrażenia wzrokowe, czyli oddziaływanie światła na ludzkie oko, możemy zdefiniować analogiczne wielkości fotometryczne do tych, które zdefiniowaliśmy dla fotometrii obiektywnej. Będą one opisywały fotometrię subiektywną i dlatego należy wziąć pod uwagę tylko fale z zakresu światła widzialnego ze standardową wagą $V(\lambda)$ zwaną Międzynarodową Krzywą Czułości Oka. Wyznaczono ją w oparciu o przeciętne oddziaływanie światła na oko w warunkach widzenia fotopowego (przy silnym oświetleniu) i przedstawia ją Rys. 10.

Należy zwrócić uwagę, że swoje maksimum krzywa osiąga dla fali o długości $\lambda=555nm$ i wtedy $V(555nm)=1$. Jeżeli chcielibyśmy przejść od wielkości energetycznych do wielkości wizualnych musimy wziąć pod uwagę skuteczność świetlną promieniowania (wydajność świetlną) o danej długości fali. Skuteczność świetlna jest to stosunek strumienia świetlnego promieniowania o danej długości fali do strumienia energii tego promieniowania. Jest ona różna dla różnych długości fali światła, a jej przebieg w funkcji długości fali obrazuje właśnie Międzynarodowa Krzywa Czułości Oka. Jej jednostką jest lumen na wat $[\frac{lm}{W}]$ i w przypadku idealnego źródła ma wartość $683\frac{lm}{W}$.

W ten sposób otrzymujemy:

1. strumień świetlny (ang. *light flux*), czyli moc promieniowania oceniana na podstawie wywołanego przez nią wrażenia wzrokowego w oku ludzkim. Mierzony jest on w lumenach $[lm]$ i opisany wzorem: $\Phi(\lambda)d\lambda = 683\Phi_e(\lambda)V(\lambda)d\lambda$. Lumen jest to strumień świetlny o natężeniu jednej kandeli wysyłany w granicach jednostkowego kąta bryłowego przez punktowe źródło światła promieniujące izotropowo we wszystkich kierunkach ($1lm = 1cd \cdot 1sr$). Innymi słowy, źródło punktowe promieniujące jednakowo we wszystkich kierunkach światło o natężeniu jednej kandeli wysyła strumień 4π lumenów.
2. emitancję (ang. *luminous excitance*) opisaną wzorem: $M = \frac{d\Phi}{dA}$.

3. natężenie oświetlenia, które mierzone jest w luksach [$1lx = \frac{1lm}{1m^2}$] i zdefiniowane jako:

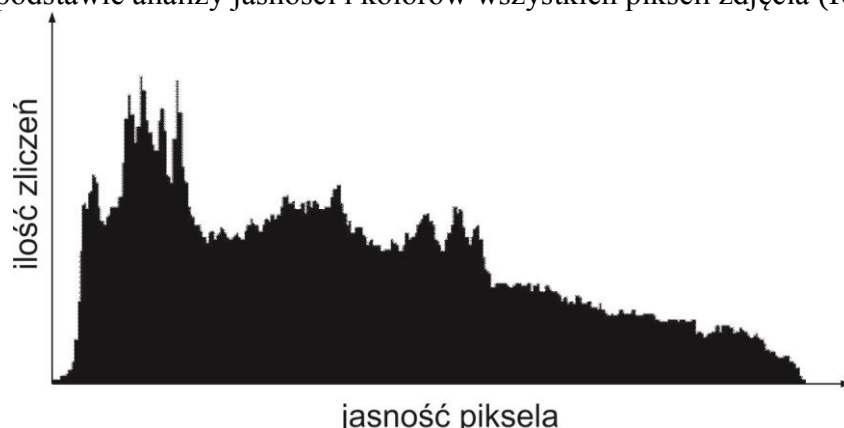
$$E = \frac{d\Phi}{ds}.$$
4. światłość (ang. *luminous intensity*), której jednostką jest kandela [cd] i opisujemy ją wzorem: $I = \frac{d\Phi}{d\Omega}.$
5. luminancję świetlną (ang. *luminance* lub *brightness*). Mierzymy ją w nitach [$1nt = \frac{1cd}{1m^2}$] i opisujemy wzorem: $L = \frac{d^2\Phi}{d\Omega dA \cos \theta}.$

Wartość stałej 683[lm/W] wynika z nowej definicji kandel w układzie jednostek SI, która brzmi: kandela jest to światłość z jaką świeci w określonym kierunku źródło emitujące promieniowanie monochromatyczne o częstotliwości $5,4 \cdot 10^{14}$ Hz (co odpowiada długości fali $\lambda = 555$ nm w próżni) i którego energetyczne natężenie promieniowania w tym kierunku ma wartość $\frac{1}{683} \frac{W}{sr}.$

Dodatek B

Histogram

Histogram jest graficznym sposobem przedstawienia stopnia doświetlenia zdjęcia. Jest tworzony na podstawie analizy jasności i kolorów wszystkich pikseli zdjęcia (Rys. 18).



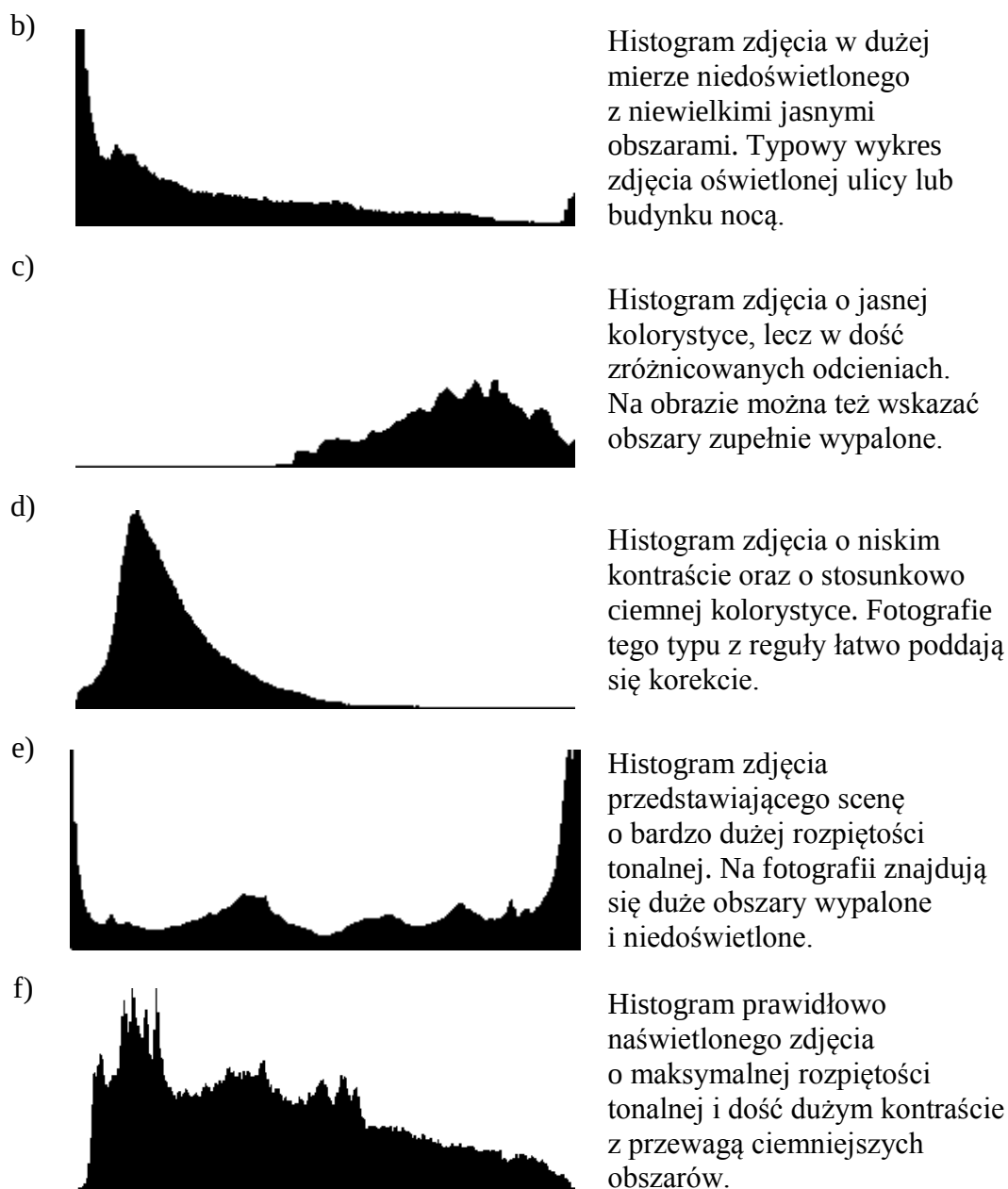
Rys. 18 – Przykładowy histogram poprawnie naświetlonego zdjęcia.

Na osi poziomej przedstawione są wartości jasności (0 odpowiada punktom całkowicie czarnym, a maksymalna wartość punktom prześwietlonym). Na osi pionowej odłożona jest ilość zliczonych pikseli o danej jasności.

Dzięki analizie wzrokowej histogramu możemy wnioskować o poprawności ekspozycji zdjęcia według wskazówek zilustrowanych na Rys. 19.



Histogram zdjęcia niedoświetlonego, ale nadającego się do korekty tonalnej (o ile fotografii nie wykonano przy zbyt wysokiej czułości ISO).



Rys. 19 – Przykładowe histogramy zdjęć naświetlonych w różny sposób.

Lampa błyskowa

Podczas ćwiczenia wykorzystywane będzie oświetlenie zastane, światło lamp błyskowych wbudowanych w body aparatów oraz światło lamp błyskowych zewnętrznych. Liczba przewodnia (LP) (ang. Guide Number, GN) określa moc lamp błyskowych. Oznacza ona odległość lampy od obiektu (wyrażoną w metrach), z jakiej do obiektu dotrze odpowiednia ilość światła do poprawnego naświetlenia filmu ISO 100/21° przy przysłonie $f/1$. Maksymalny zasięg lampy błyskowej, dla której przedmioty są poprawnie naświetlane możemy obliczyć za pomocą wzoru:

$$D_{max} = LP \cdot f / \# . \quad (7)$$

Przykładowo, dla lampy z liczbą przewodnią $LP=30$, robiąc zdjęcie z przysłoną ustawioną na 5,6, mamy maksymalny zasięg lampy: $30/5,6 = 5,36$ m, czyli obiekty znajdujące się

w odległości do około 5,5 metra będą prawidłowo naświetlone. Jeżeli zmienimy ISO na 200, wówczas liczba przewodnia lampy będzie 2 razy większa, a więc i zasięg oświetlenia podwoi się.

Filtry

Filtry pozwalają na modyfikowanie obrazu przed jego zapisaniem na matrycy. Jeżeli dzięki użyciu odpowiedniego filtra uda nam się zarejestrować zdjęcie to będzie ono dużo lepszej jakości niż zdjęcie zarejestrowane bez użycia filtrów i potem przekształcone w programie graficznym. Filtry pozwalają nam na korekcję fotografowanej sceny lub na silną modyfikację obrazu. Istnieje wiele rodzajów filtrów fotograficznych, jednak do najczęściej spotykanych należą:

- filtr neutralnie szary – pozwala na wydłużenie czasu ekspozycji,
 - filtr połówkowy szary – zmienia ekspozycję fragmentu kadru,
 - filtr polaryzacyjny – umożliwia wygaszenie światła o danym kierunku polaryzacji.
- Często spolaryzowane jest światło odbite od płaskich powierzchni – szkło, plastik, kałuża itp. Także światło rozproszone przez atmosferę ziemską jest częściowo spolaryzowane. Dzięki odpowiedniemu ustawieniu kąta filtra polaryzacyjnego można odfiltrować np. niepożądane refleksy.