



Politechnika Wroclawska

**Wydział Elektryczny,**  
**Katedra Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych**  
Laboratorium Przetwarzania i Analizy Sygnałów Elektrycznych  
(bud A5, sala 310)

Instrukcja dla studentów kierunku Elektrotechnika do zajęć laboratoryjnych

## **Pomiary elektryczne wielkości nieelektrycznych**

ćwiczenie 6

### **Pomiary elektrooptyczne** Badanie zależności kontrastu od oświetlenia zewnętrznego

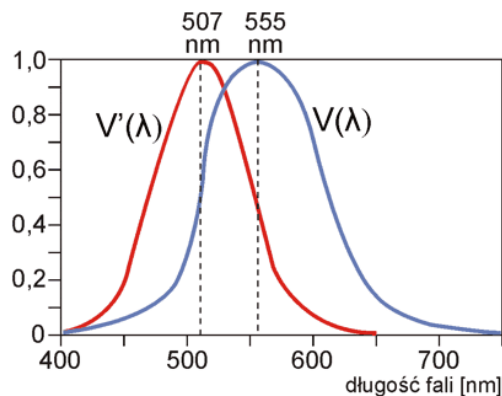
# 1 Wprowadzenie

Organami odbioru, przekazywania i przetwarzania informacji, tj. procesów umożliwiających kontakt człowieka z materialnym środowiskiem pracy, są analizatory /zmysły/ np. wzroku, słuchu, węchu, czucia temperatury itp. Najważniejsze znaczenie w tym kontakcie ma wzrok, gdyż odbiera się nim 80-90% informacji. Stąd też ważne jest określenie warunków dobrego widzenia przez zapewnienie właściwego oświetlenia, zarówno miejsca pracy jak i otoczenia. Właściwe oświetlenie sprawia, że proces widzenia przebiega minimalnym nakładem energii, co zapewnia odpowiednią wydajność i jakość pracy, oraz dobre samopoczucie pracownika /np. operatora komputera, itp./ - można tu mówić o komforcie oświetlenia lub komforcie widzenia.

Zapewnienie komfortu widzenia wynikające z psychofizycznych właściwości człowieka, stawia określone wymagania również obiektom obserwacji, jakimi mogą być pola odczytowe czy sygnalizacyjne aparatury stanowiącej wyposażenie miejsca pracy. Wynikają one z ostrości widzenia, zdolności adaptacji wzrokowo-pamięciowej, zdolności rozróżniania długości, zdolności odczytywania i zapamiętywania cyfr oraz zdolności spostrzegania kierunku i prędkości ruchu.

## 2 Podstawy fotometrii

Fotometria – dział fizyki – optyki, zajmujący się pomiarem parametrów światła. Przez światło rozumie się szeroki zakres od podczerwonego (IR) przez widziane przez człowieka (VIS), do ultrafioletowego (UV).



Rysunek 1.1: Krzywa względna czułości oka ludzkiego dla widzenia dziennego  $V(\lambda)$  i nocnego  $V'(\lambda)$  [1]

Domyślnie za światło przyjmuje się promieniowaniem elektromagnetycznym wywołującym u ludzi i zwierząt wrażenia świetlne umożliwiające widzenie. Widmo fal elektromagnetycznych widzialnym dla człowieka jest bardzo wąskie - obejmuje zakres o długości fali od 380 nm (fiolet) do 780 nm (czerwień). Wyróżnienie tego zakresu promieniowania wynika z fizjologii oka ludzkiego. Fotometria wizualna – zajmuje się jedynie tą częścią energii promienistej, która jest postrzegana przez ludzkie oko jako światło i uwzględnia czułość oka. Pomiary obejmują opis wrażeń wzrokowych wywoływanych przez działanie światła na oko.

## 2.1 Podstawowe wielkości fotometryczne

**Strumień świetlny  $\Phi_v$  [lm]** jest to ta część promieniowania optycznego emitowanego przez źródło światła, którą widzi oko ludzkie w jednostce czasu. Wielkość tą można wyznaczyć ze strumienia energetycznego z zależności

$$\Phi_v = K_m \int_{380nm}^{780nm} \Phi_e(\lambda) V(\lambda) d\lambda$$

gdzie  $K_m$  to fotometryczny równoważnik promieniowania (w widzeniu fotopowym - w warunkach normalnych wynosi 683 lm/W),  $\Phi_e(\lambda)$  – gęstość widmowa mocy promienistej,  $V(\lambda)$  – względna skuteczność świetlna promieniowania monochromatycznego (określa wrażliwość oka na promieniowanie monochromatyczne). Dla fali o długości  $\lambda=555nm$  wynosi 1. (rysunek 1.1)

Między strumieniem energetycznym  $\Phi_e$  a odpowiadającym mu strumieniem świetlnym  $\Phi_v$  istnieje zależność

$$\Phi_v = K_m V(\lambda) \Phi_e$$

Jeśli strumień świetlny mierzy się w lumenach a strumień energetyczny w watach, to:  $\Phi_v = 683 \Phi_e$ .

**Natężenie oświetlenia  $E_v$  [lx]** jest to iloraz elementarnego strumienia świetlnego  $d\Phi$  padającego na elementarną powierzchnię  $dA$  do jej wielkości

$$E_v = \frac{d\Phi_v}{dA}$$

**Światłość – natężenie źródła światła  $I_v$  [cd]** - jest to stosunek strumienia świetlnego  $d\Phi$  wysyłanego przez punktowe źródło światła w nieskończenie mały kąt bryłowy  $d\Omega$  do wartości tego kąta

$$I_v = \frac{d\Phi_v}{d\Omega}$$

**Emitancja świetlna  $M_v$  [lm/m<sup>2</sup>]** – strumień energii wysyłany przez jednostkowy element powierzchni świecącej otaczający dany fragment źródła światła do wielkości tej powierzchni.

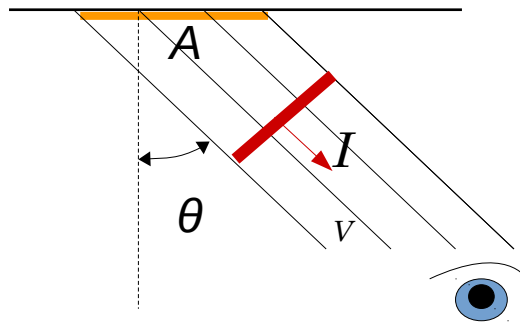
$$M_v = \frac{d\Phi_v}{dA}$$

**Luminancja – jasność widzenia  $L_v$  [cd/m<sup>2</sup>]**

Rozłożone źródła światła i powierzchnie, które świecą (lub rozpraszają padające nań światło) można scharakteryzować ze względu na odbierane wrażenie jaskrawości. Wprowadzono miarę „jasności” świecących powierzchni - luminancję.

Luminancja jest wielkością zależną od kierunku. Ponadto zależy ona od natężenia oświetlenia na obserwowanym obiekcie, właściwości odbiciowych powierzchni obiektu (barwa, stopień chropowatości) oraz od jego pola pozornej powierzchni świecącej.

Pozorna powierzchnia świecąca jest to wielkość postrzeganej przez obserwatora powierzchni płaszczyzny świecącej uzależniona od kierunku jej obserwacji.



Rys. 2.2 Luminancja obiektu o powierzchni  $A$

Luminancja  $L_v$  danego elementu powierzchni świecącej w określonym kierunku jest to iloraz światłości elementarnego pola powierzchni w tym kierunku do pola powierzchni pozornej tego elementu.

$$L_v = \frac{I_v}{dA \cos(\theta)} = \frac{d\Phi_v}{dA \cos(\theta) d\Omega} \quad (*)$$

## 2.2 Ostrość widzenia

Ostrość widzenia jest wypadkową cech fizjologicznych człowieka i zewnętrznych warunków oświetlenia. Określają ją następujące czynniki

- ostrość wzroku,
- kontrast luminancji,
- oświetlenie,
- stosunek luminancji całego przedmiotu i otoczenia,
- czas ekspozycji.

**Ostrość wzroku** definiuje się, jako zdolność spostrzegania białych i czarnych szczegółów przedmiotów umieszczonych w różnych odległościach od oka. Miara ostrości wzroku jest odwrotnością kąta, jaki zajmują najmniejsze przedmioty rozróżnialne nieuzbrojonym okiem.

Najmniejsze kąty wzrokowe wynoszą ok. 1 minuty. Maksymalny kąt ostrego widzenia wynosi ok.  $2^\circ$  (rysunek 2.3). Przy obrazach odpowiadających większym kątom, kontury przedmiotów są nieostre, a obraz całości powstaje w świadomości, po przeniesieniu wzroku na poszczególne punkty przedmiotu.

Rys. 2.3. Maksymalny kąt ostrości wzroku:  $\gamma_1 < 2^\circ$  - ostre widzenie,  $2^\circ < \gamma_2 < 15^\circ$  - zauważalne kontury przedmiotów,  $\gamma_2 > 15^\circ$  niewyraźny zarys przedmiotu.

**Kontrast luminancji** jest definiowany, jako względna wartość różnicy luminancji lub współczynników odbicia obiektu obserwacji i tła.

$$K = \frac{L_1 - L_2}{L_2} = \frac{p_1 - p_2}{p_2}$$

gdzie:

$L_1$  — luminancja powierzchni jaśniejszej (obiekt obserwacji może oznaczać się większą lub mniejszą luminancją niż tło),

$L_2$  — luminancja tła,

$p_1, p_2$  - współczynnik odbicia obiektu obserwacji i tła.

Inną powszechnie stosowana definicja kontrastu jest stosunek luminancji większej do mniejszej tzn.:

$$K = \frac{L_1}{L_2} = \frac{p_1}{p_2}$$

Właściwa wartość kontrastu jest związana z kątem widzenia, tzn. im mniejsze kąty widzenia przy stałym czasie ekspozycji, tym wartość kontrastu musi być większa. Kontrast jest również związany z oświetleniem - im mniejszy kontrast tym oświetlenie powinno być większe. Wartość kontrastu musi być związana ze znaczeniem informacji przekazywanej przez obiekt obserwacji; nie może być zbyt duża – konieczne zmiany adaptacji oka powodują szybkie znużenie, co osłabia zdolność szybkiego i prawidłowego postrzegania, nie może być zbyt mała – duży kontrast ułatwia skupienie uwagi na przedmiocie pracy (efekt fototropiczny określający tendencję oka do kierowania się na najjaśniejsze miejsce w polu widzenia). Duże znaczenie w określeniu właściwej wartości kontrastu ma stosowanie odpowiednich barw. Znane jest oddziaływanie psychofizyczne barw, a właściwe ich zastosowanie poprawia komfort widzenia.

**Oświetlenie** w istotny sposób wpływa na ostrość widzenia przy zachowaniu stałego kontrastu przedmiotu i tła. Wartością graniczną oświetlenia jest luminancja równa ok.  $100 \text{ cd/m}^2$  - poniżej tej wartości ostrość widzenia znacznie się zmniejsza. Związek między luminancją  $L$  a natężeniem oświetlenia  $E$  określa relacja

$$L = \pi p E \quad (**)$$

gdzie  $p$  - współczynnik odbicia obiektu obserwacji.

Można sprecyzować kilka elementarnych zasad dotyczących oświetlenia miejsca pracy:

- zapewnić odpowiednie warunki oświetlenia dziennego - praca bez kontaktu ze światłem zewnętrznym może oddziaływać negatywnie na psychikę człowieka,
- nie umieszczać źródeł światła w polu widzenia,
- nie dopuszczać do **oślnień**, które powstają przez działanie na siatkówkę oka elementów świecących o dużej jaskrawości (zbyt duża luminancja źródła światła utrudnia adaptację siatkówki oka).

Zjawisko to można wyeliminować przez: zmniejszenie luminancji źródeł światła (wprowadzenie większej ilości słabszych źródeł), stosowanie odpowiednich przesłon rozpraszających światło, zwiększanie luminancji powierzchni otaczających źródło światła, właściwy dobór wartości kontrastu obiektów obserwacji i otoczenia.

Luminancja otoczenia obiektu obserwacji powinna być zbliżona do luminancji obiektu obserwacji. Przenoszenie w takich warunkach wzroku z otoczenia na obiekt nie pogarsza ostrość widzenia.

**Czas ekspozycji.** Przy małych wartościach luminancji czas potrzebny do rozróżnienia obiektów obserwacji znacznie się wydłuża i odwrotnie. Na podstawie badań ergonomicznych określono optymalny czas ekspozycji jednostkowej informacji na ok. 0,3 s.

Podane wyżej czynniki określają łącznie ostrość widzenia i stanowią wytyczne dla konstruktorów urządzeń odczytowych i sygnalizacyjnych z którymi kontaktuje się człowiek.

### **Zdolność adaptacji wzrokowo-pamięciowej**

Przyjmuje się, że poszczególne ekspozycje obiektów obserwacji nie powinny występować częściej niż dwa razy na sekundę. Jest to szczególnie ważne przy projektowaniu cyfrowej aparatury pomiarowej lub informacyjnej.

### **Zdolność rozróżniania długości.**

Jest to cecha obserwatora, ważna dla konstruktorów aparatury odczytowej - nieuzbrojonym okiem można rozróżnić odległość punktów lub linii wynoszącą 0,05-0,1 mm.

### **Zdolność odczytywania i zapamiętywania cyfr.**

Odczytywanie liczby kilkucyfrowej odbywa się przez jej podział na grupy 2-3 cyfrowe, a następnie składanie całej liczby w pamięci. Średnio można odczytać i zapamiętać trzy liczby czterocyfrowe, jeżeli ekspozycja obrazu wynosi co najmniej 10s. Powiększenie liczby cyfr w numerycznej aparaturze pomiarowej w celu uzyskania dużej dokładności lub skarcenie czasów odczytu dla zwiększenia szybkości działania przyrządu jest więc ograniczone możliwościami psychofizycznymi człowieka.

### **Zdolność spostrzegania kierunku i prędkości ruchu.**

Przeciętny obserwator spostrzega ruch przedmiotu względem tła, gdy ekspozycja obiektu obserwacji trwa około 0,5s, a prędkość jest większa niż 7 m/h. W miernikach wskazówkowych odpowiada to przesunięciu wskazówki o 0,1 mm w czasie 0,5s. W aparaturze cyfrowej odczytanie pojedynczej cyfry jest możliwe, gdy czas ekspozycji jest większy niż ok. 0,1s. Jeżeli w ciągu 1s w pojedynczym okienku odczytowym /polu jednej cyfry/ eksponuje się więcej niż ok. 10 cyfr, obraz zamazuje się uniemożliwiając odczytanie i stwierdzenie kierunku zmian.

## **3 Program ćwiczenia**

1. Pomiar natężenia oświetlenia na stanowisku pracy.
2. Pomiar natężenia oświetlenia laboratorium.
3. Określenie równomierności rozkładu natężenia oświetlenia.
4. Określenie średniego, minimalnego i maksymalnego natężenia oświetlenia.
5. Pomiary kontrastu wybranych obiektów obserwacji (pól odczytowych LCD, LED i elementów sygnalizacyjnych LED) w zależności od natężenia oświetlenia zewnętrznego.
6. Subiektywna ocena kontrastu badanych obiektów obserwacji.

W sprawozdaniu należy umieścić:

1. Wyniki pomiaru natężenia oświetlenia i równomierności oświetlenia
2. Wykres zależności kontrastu od wartości natężenia oświetlenia zewnętrznego  $K = f(E)$ .
3. Wykres zależności kontrastu od kąta obserwacji  $K = f(\theta)$ , (tylko dla LCD)

### 3.1 Pomiary i ocena jakości oświetlenia

Pomiary natężenia oświetlenia stanowisk pracy jak i oświetlenia ogólnego wykonuje się luksomierzem. Uzyskane wyniki należy odnieść do obowiązujących, określonych normą, wartości (obserwacja miejscowa –  $E \geq 300\text{lx}$ , obserwacja ogólna –  $E \geq 100\text{lx}$ ). Przyjęte granice fizjologiczne: granica ciemna -  $1\text{lx}$ , granica jasna  $10000\text{lx}$ .

Określenie równomierności rozkładu natężenia oświetlenia  $E$ , wymaga wyznaczenia na powierzchni pracy:  $E_{\min}$ ,  $E_{\max}$  oraz  $E_{\text{sr}}$ . Równomierność rozkładu natężenia oświetlenia określona jest przez  $E_{\min}/E_{\text{sr}} \geq 0,6$  i  $E_{\max}/E_{\text{sr}} \leq 1,2$ .

Średnia minimalna wartość natężenia oświetlenia  $E_{\text{sr},\min}$  uwarunkowana jest wielkością pozorną szczegółu "w", który ma być rozróżniony, oraz stopniem trudności pracy.

$$w = \frac{l}{d} \cdot 10^3$$

gdzie:

$l$  - odległość szczegółu od oka [m],

$d$  - najmniejszy wymiar szczegółu [mm],

$1/w$  – wskaźnik wielkości pozornej szczegółu pracy wzrokowej.

Określenie  $E_{\text{sr},\min}$  ma charakter subiektywny i polega na takim doborze natężenie oświetlenia  $E_{\min}$ , przy którym obserwator jest w stanie rozróżnić szczegóły obrazów na przygotowanych do tego celu planszach. Natężenie oświetlenia należy regulować przy pomocy regulatora tyrystorowego lub autotransformatora (w zależności od dostępności na stanowisku).

Uzyskane wyniki Należy porównać z wartościami podanymi w tabelicy 3.1.

Tablica 3.1

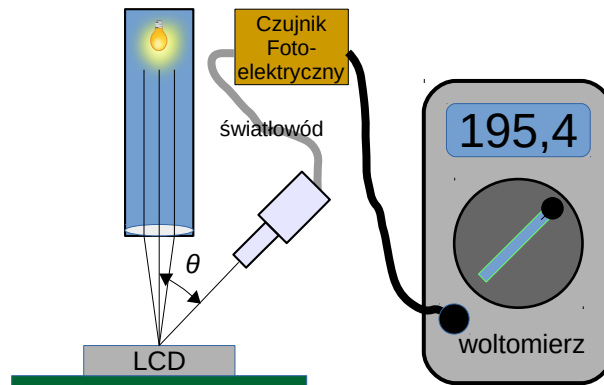
$1/w$	Wielkość pozorna szczegółu pracy wzrokowej	$E_{\text{sr},\min}$ [lx]
850-1150	duża	150
1150-1500	średnia	200
1500-1900	dość mała	300
1900-2450	mała	500
2450-3200	bardzo mała	1000
3200-4100	krańcowo mała	2000-5000

Podane w tabelicy 3.1 wartości  $E_{\text{sr},\min}$  obowiązują przy dużym kontraście obserwowanych szczegółów.

Pomiary wykonać przy włączonym i wyłączonym oświetleniu laboratorium.

### 3.2 Pomiar kontrastu ciekłokrystalicznych pól odczytowych

Pomiar kontrastu ciekłokrystalicznych pól odczytowych wykonuje się w układzie przedstawionym na rysunku. 3.1. Wskaźniki LCD są to wskaźnikami biernymi, nie emitują światła - zmieniają współczynnik odbicia światła zewnętrznego. Stanowisko pomiarowe składa się ze źródła światła skupianego przez układ optyczny na wyświetlaczu LCD. Odbijane światło od pola odczytowego pada na głowicę czujnika fotoelektrycznego.



Rys. 3.1, Układ kontrastomierza przy pomiarach ciekłokrystalicznych pól odczytowych.

Sygnal elektryczny uzyskany z czujnika fotoelektrycznego jest proporcjonalny do natężenia oświetlenia  $E$  odbitego od pola odczytowego, padającego na głowicę czujnika.

Uzależniając wartość luminancji od kąta względem normalnej do płaszczyzny na podstawie wzoru (\*)

$$L = \frac{I_v}{A} \cos(\theta)$$

oraz wyrażając natężenie oświetlenia odbitego  $E_2$  przez pobudzony element, jako stosunek strumienia świetlnego  $\Phi'$  padającego na powierzchnię  $A'$  czujnika fotoelektrycznego, do tej powierzchni.

$$E_2 = \frac{\Phi'}{A'} = \frac{I \omega}{A'}$$

gdzie

$\omega$  - kąt bryłowy, w którym jest wysyłany strumień świetlny przez element odbijający światło o natężeniu  $I$ , otrzymujemy luminancję elementu pobudzonego  $L_2$

$$L_2 = \frac{E_2}{\omega \cos(\theta)}$$

Stąd kontrast można wyrazić następująco:

$$K = \frac{L_1}{L_2} = \frac{\omega E_1 \cos(\theta)}{\omega E_2 \cos(\theta)} = \frac{E_1}{E_2}$$

gdzie:

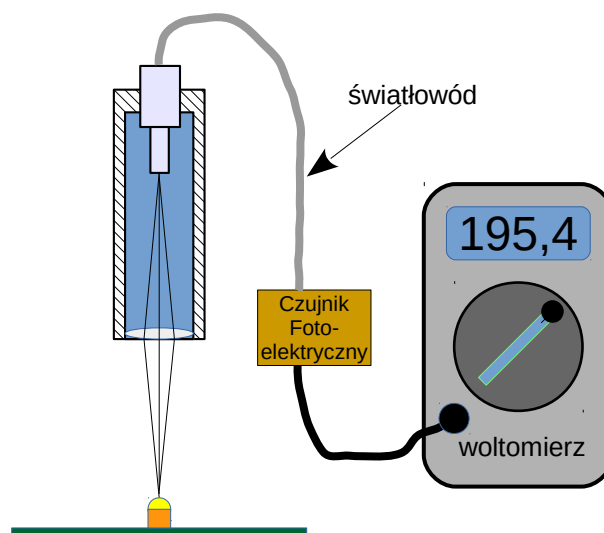
$E_1$  - natężenie oświetlenia światła odbitego przez element niepobudzony.

$E_2$  - natężenie oświetlenia światła odbitego przez element pobudzony.

### 3.3 Pomiar kontrastu wskaźników LED

Elektroluminescencyjne pola odczytowe stanowią źródła światła, stąd pomiar kontrastu należy wykonać w innych warunkach niż pól odczytowych LCD (wartość natężenia oświetlenia pobudzonego elementu jest związana z odległością czujnika pomiarowego od źródła światła), Wyznaczenie kontrastu sprowadza się do pomiaru natężenia oświetlenia emitowanego przez pobudzony element oraz tła, przy czym płaszczyzna pola odczytowego musi być odwzorowana na powierzchni elementu fotoczułego (głowicy czujnika fotoelektrycznego). Uzyskuje się to w układzie optycznym przedstawionym na rysunku 3.2





Rys. 3.2 układ do pomiaru kontrastu obiektów emitujących światło.

Przed przystąpieniem do pomiarów należy założyć układ optyczny na końcówkę światłowodu w oznaczonym miejscu, tak aby, zgodnie z rys. 3.2, powierzchnia czołowa światłowodu znalazła się w odległości  $2f$  (podwójna ogniskowa) od soczewki. Przesuwając badany obiekt obserwacji zarówno w płaszczyźnie poziomej (stolik kontrastomierza) jak i pionowej, należy ustalić maksymalną wartość napięcia wskazywanego przez woltomierz. Oznaczać ta będzie ostrość odwzorowanego obrazu na powierzchni czołowej światłowodu.

Kontrast, zgodnie z definicją, należy określić poprzez pomiar natężenia oświetlenia elementu pobudzonego i natężenia oświetlenia tła (element niepobudzony), oraz wyznaczyć zależność kontrastu od oświetlenia zewnętrznego  $K = f(E)$ .

Błędy układu optycznego takie jak: straty światła w soczewce, aberacja sferyczna, astygmatyzm występują w obu pomiarach tj.  $L_1$  i  $L_2$ , stąd też poza obniżeniem czułości układu pomiarowego nie wpływają w istotny sposób na wynik pomiaru.

Pomiary wykonać przy różnym natężeniu oświetlenia zewnętrznego. Regulacja oświetlenia to lampa ze ściemniaczem.

## 4 Literatura

- [1] Mc. Cormick E.I., Autropotechnika, WNT, Warszawa 1964.
- [2] Grotowski W., Leszczyński J., Zagadnienia metrologiczne i konstrukcyjne przyrządów pomiarowych z ciekłokrystalicznymi urządzeniami odczytowymi. Raport nr 7/79 IME Politechnika Wroclawska 1979
- [3] Miler G., Wybrane zagadnienia ergonomiczne, metrologiczne i konstrukcyjne dotyczące wskaźników odczytowych. Seria Monografie nr 2, IME Politechnika Wroclawska 1976.
- [4] Rosner J., Podstawy ergonomii, PWN, Warszawa 1982.