

STUDIA NIESTACJONARNE
ELEKTROTECHNIKA
 Laboratorium PODSTAW TECHNIKI ŚWIETLNEJ

**Temat: POMIAR STRUMIENIA ŚWIETLNEGO I WYZNACZANIE CHARAKTERYSTYK
 NAPIĘCIOWYCH ŻARÓWEK**

Opracowanie wykonano na podstawie następującej literatury:

- 1). Laboratorium z techniki świetlnej (praca zbiorowa pod redakcją Władysława Golika). Skrypt nr 1792. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 1994.
- 2). Bąk J., Pabiańczyk W.: Podstawy techniki świetlnej. Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź 1994.

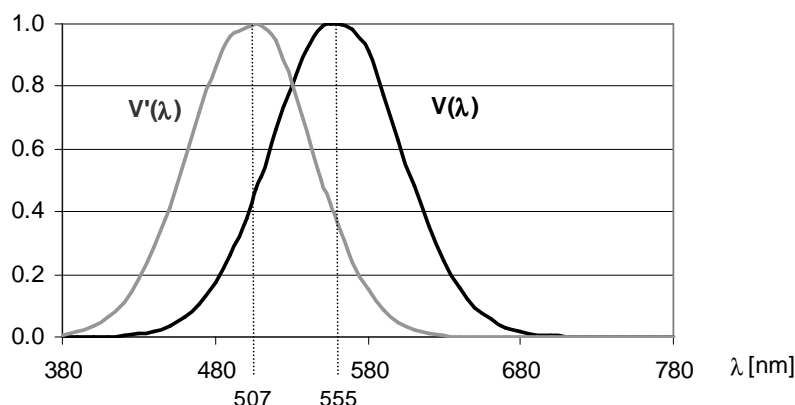
1. STRUMIEŃ ŚWIETLNY

Strumień świetlny (Φ ; jednostka: lumen [lm]) to wielkość wyprowadzona ze **strumienia energetycznego** przez ocenę działania promieniowania na **normalnego obserwatora fotometrycznego CIE**^A.

Strumień energetyczny (strumień promienisty; Φ_e , P; jednostka: wat [W]) to moc wysyłana, przenoszona lub przyjmowana w postaci promieniowania elektromagnetycznego.

Obserwator fotometryczny CIE normalny to idealny obserwator, którego krzywa względnej czułości widmowej jest zgodna z funkcją **$V(\lambda)$** dla widzenia fotonowego (dziennego) lub funkcją **$V'(\lambda)$** dla widzenia skotopowego (nocnego).

Względna widmowa skuteczność świetlna $V(\lambda)$ odpowiada przyjętej przez CIE względnej widmowej skuteczności świetlnej przeciętnego oka ludzkiego.



Rys. 1. Względna widmowa skuteczność świetlna.

Strumień świetlny może być obliczony z następującej zależności:

$$\Phi = K_m \cdot \int_{380\text{nm}}^{780\text{nm}} d\Phi_e(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda \quad (1)$$

gdzie:

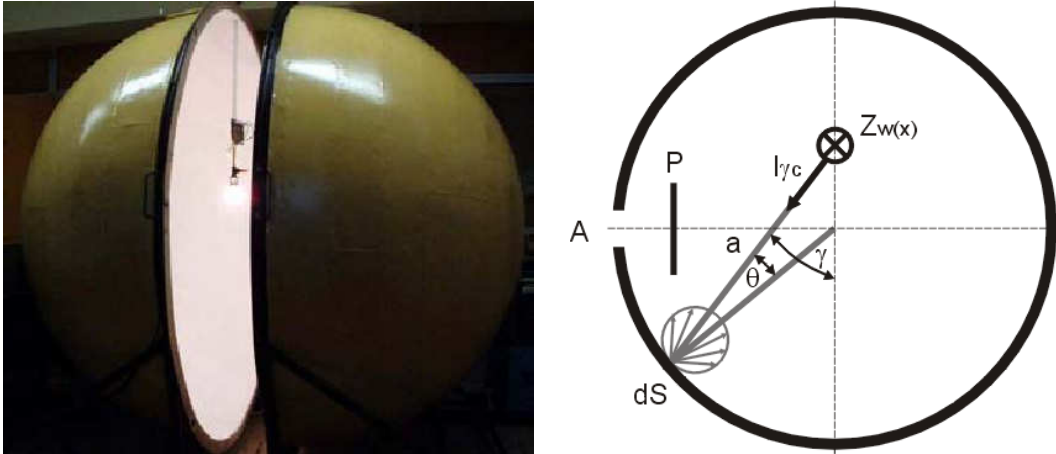
- 380nm ÷ 780nm - zakres widzialny promieniowania elektromagnetycznego
 K_m - największa wartość skuteczności świetlnej, $K_m=683$ [lm/W]
 $d\Phi_e(\lambda)$ [W] - rozkład widmowy strumienia energetycznego, moc promienista widmowa z zakresu długości fali pomiędzy λ a $\lambda + d\lambda$

^A CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) Międzynarodowa Komisja Oświetleniowa



2. POMIAR STRUMIENIA ŚWIETLNEGO W LUMENOMIERZU

Pomiar strumienia świetlnego przez porównanie z wzorcem strumienia wykonuje się za pomocą lumenomierza. Najczęściej używa się lumenomierzy kulistych (rys. 2). Kula fotometryczna lumenomierza jest światłoszczelnie zamkniętą przestrzenią, pokrytą wewnątrz białą rozpraszającą farbą o nieselektywnym i możliwie dużym współczynniku odbicia ρ^B .



Rys. 2. Lumenomierz kulisty (tzw. kula Ulbrichta), schemat ideowy lumenomierza kulistego: Z_w – wzorcowe źródło światła, Z_x – badane źródło światła, P – przesłona, A – okno pomiarowe, $I_{\gamma,C}$ – światłość źródła światła w kierunku γ, C .

Źródło światła o bryle fotometrycznej $I_{\gamma,C}$ umieszczone w środku lumenomierza o promieniu R (rys. 2) w odległości a wytwarza na elemencie powierzchni dS natężenie oświetlenia E_1 :

$$E_1 = \frac{I_{\gamma,C}}{a^2} \cdot \cos \theta \quad (2)$$

Suma po powierzchni kuli tych natężeń oświetlenia jest strumieniem całoprzestrzennym Φ_0 źródła światła. Padający na powierzchnię kuli strumień Φ_0 zostaje w ilości $\alpha \cdot \Phi_0^D$ pochłonięty i w ilości $\rho \cdot \Phi_0$ odbity. Strumień odbity, przy założeniu odbicia lambertowskiego (idealnie rozproszonego), pada równomiernie na całą powierzchnię kuli i ponownie zostaje odbity w ilości $\rho^2 \cdot \Phi_0$. Wskutek wielokrotnie występujących odbić cały odbity strumień Φ_p ma wartość:

$$\Phi_p = \rho \cdot \Phi_0 + \rho^2 \cdot \Phi_0 + \rho^3 \cdot \Phi_0 + \dots = \Phi_0 \cdot \frac{\rho}{1-\rho} \quad (3)$$

Natężenie oświetlenia E_2 wytworzone przez strumień odbity Φ_p obliczane jest z zależności:

$$E_2 = \frac{\Phi_0}{4 \cdot \pi \cdot R} \cdot \frac{\rho}{1-\rho} \quad (4)$$

Sumaryczne natężenie oświetlenia E na poszczególnych elementach powierzchni kuli jest sumą składowej bezpośredniej E_1 i odbitej E_2 :

$$E = \frac{I_{\gamma,C}}{a^2} \cdot \cos \theta + \frac{\Phi_0}{4 \cdot \pi \cdot R} \cdot \frac{\rho}{1-\rho} \quad (5)$$

^B ρ - współczynnik odbicia strumienia świetlnego to stosunek strumienia świetlnego odbitego do strumienia świetlnego padającego na daną powierzchnię.

^C $I_{\gamma,C}$ - światłość kierunkowa wyrażona w kandelach [cd] to stosunek strumienia $d\Phi$ rozchodzącego się w elementarnym kącie bryłowym $d\omega$ do wartości tego kąta, charakteryzuje sposób rozchodzenia się strumienia źródła światła w przestrzeni.

^D α - współczynnik pochłaniania strumienia świetlnego.

Jeżeli w lumenomierzu przed oknem pomiarowym A wstawić przesłonę P, to dla elementu A powierzchni kuli eliminuje się składową bezpośrednią E_1 , zależną od kształtu bryły fotometrycznej źródła światła oraz od jej położenia w kuli. Wtedy natężenie oświetlenia E_A w oknie pomiarowym A będzie równe składowej odbitej E_2 , której wartość jest proporcjonalna do strumienia Φ_0 źródła światła:

$$E_A = k \cdot \Phi_0 \quad (6)$$

Jeżeli zawiesi się w tym samym miejscu w lumenomierzu kolejno źródło mierzone Z_X o strumieniu Φ_{0X} i wzorcowe Z_W o strumieniu Φ_{0W} , to ze stosunku natężeń oświetlenia E_X i E_W na oknie pomiarowym A otrzymuje się:

$$\Phi_{0X} = \Phi_{0W} \cdot \frac{E_X}{E_W} \quad (7)$$

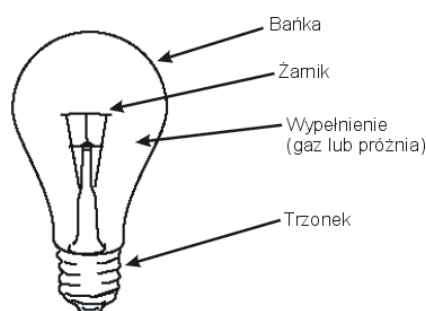
Bezwzględne wartości natężenia oświetlenia E_X i E_W nie muszą być znane, wystarczy znać tylko ich stosunek. Przy pomiarach strumienia świetlnego w okienku pomiarowym umieszcza się przetwornik fotoelektryczny. Natężenie prądu tego przetwornika jest proporcjonalne do natężenia oświetlenia, a zatem stosunek natężeń oświetlenia E_X / E_W można zastąpić stosunkiem wskazań miernika natężenia prądu fotoelektrycznego Δ_X / Δ_W . Ostatecznie szukana wartość strumienia badanego źródła światła Φ_{0X} wyznaczana jest z następującej zależności:

$$\Phi_{0X} = \Phi_{0W} \cdot \frac{\Delta_X}{\Delta_W} \quad (8)$$

Jeżeli źródło mierzone Z_X i źródło wzorcowe Z_W wraz ze stosowanym osprzętem (oprawki, mocowania) znacznie różnią się pomiędzy sobą gabarytami i własnościami fotometrycznymi użytych materiałów to oznacza, że w różnym stopniu wpływają na rozchodzenie się strumienia wewnątrz lumenomierza. Wpływ źródeł światła i ich zamocowania na wynik pomiaru w znacznym stopniu eliminuje się przez wprowadzenie dodatkowych pomiarów ze źródłem pomocniczym. Ponieważ w niniejszym ćwiczeniu żarówka badana jak i żarówka wzorcowa są do siebie bardzo podobne i w porównywalny sposób wpływają na rozchodzenie się strumienia wewnątrz lumenomierza to pomiar z żarówką pomocniczą nie będzie wykonywany.

3. ŻARÓWKI – WIADOMOŚCI OGÓLNE

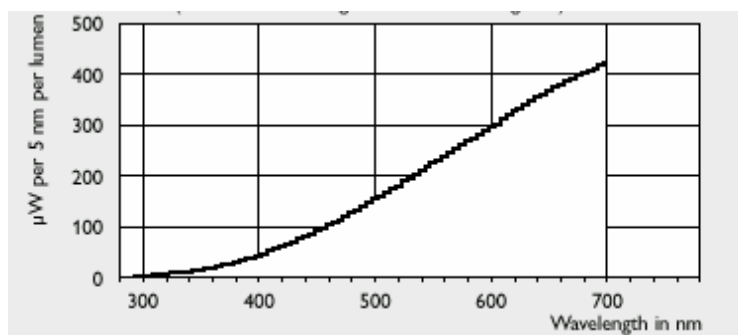
Elementem żarówki, w którym następuje przemiana energii elektrycznej w energię świetlną jest żarnik, rozgrzewany do stanu żarzenia poprzez przepływ prądu elektrycznego. Budowę typowej żarówki (tzw. żarówki do ogólnych celów oświetleniowych) pokazano na rys. 3.



Rys. 3. Budowa typowej żarówki.

Żarniki współczesnych żarówek, wykonane są z wolframu w postaci jednoskrętek lub dwuskrętek i umieszczone w bańkach szklanych. Wykorzystanie wolframu na materiał żarnika wynika z jego wysokiej temperatury topnienia (około 3350°C), małej prędkości parowania w wysokich temperaturach oraz korzystnego rozkładu widmowej egzytancji energetycznej.

Przykładowy rozkład widmowy żarówki przedstawiony jest na rys. 4..



Rys. 4. Rozkład widmowy żarówki.

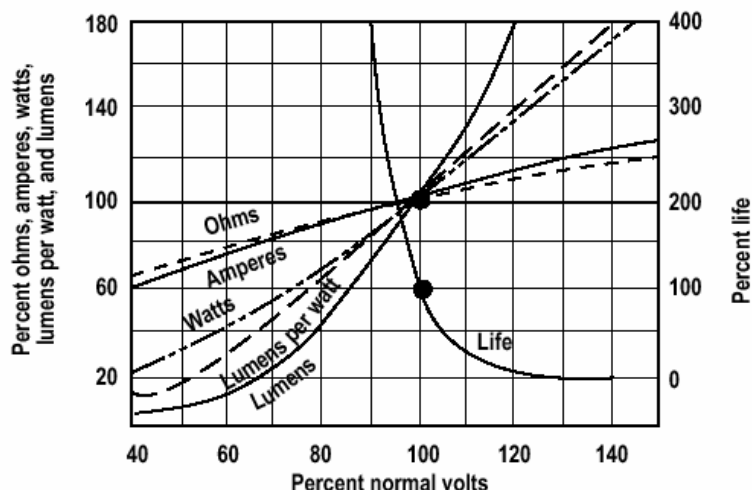
Głównym problemem technicznym związanym z pracą żarówek jest parowanie wolframu, powodujące w konsekwencji przepalenie się żarnika. Z tych względów żarniki żarówek umieszcza się w próżni (żarówki próżniowe) lub w atmosferze gazu obojętnego (żarówki gazowane).

W żarówkach próżniowych temperatury robocze żarników nie przekraczają 2500 K, gdyż w wyższych temperaturach wolfram zaczyna intensywnie parować, osadzając się na bańkach w postaci ciemnego nalotu.

W żarówkach gazowanych stosuje się wyższe temperatury robocze żarników (2600 K - 2700 K), bowiem obecność gazu znacznie ogranicza intensywność parowania wolframu. Żarówki gazowane mają większą skuteczność świetlną η^E i barwę światła bardziej zbliżoną do białej niż żarówki próżniowe. Zazwyczaj żarówki o mocy 40W i większej są wykonywane jako gazowane.

Jako wypełnienie baniek żarówek stosuje się azot, argon, krypton i ksenon. Stosowanie gazów o większym ciężarze atomowym (krypton, ksenon) poprawia skuteczność świetlną i trwałość żarówek. Ze względu na koszty powszechnie stosuje się jednak mieszaninę techniczną azotu i argonu.

Żarówki są bardzo wrażliwe na zmiany napięcia zasilania (rys. 5).



Rys. 5. Zmiany podstawowych parametrów żarówki w zależności od napięcia zasilania.

Dla niewielkich zmian napięcia U (w zakresie $\pm 10\%$) odniesionych do znamionowego napięcia zasilającego U_n można zmiany podstawowych parametrów przedstawić za pomocą tzw. wykładników potęgowych n_H (tab. 1). Przy niewielkich zmianach napięcia zasilającego U zmiany parametrów lamp H mają charakter wykładniczy i mogą być opisane następującą zależnością:

$$\frac{H}{H_n} = \left(\frac{U}{U_n} \right)^{n_H} \quad (9)$$

^E η [lm/W] – skuteczność świetlna np. żarówki to stosunek strumienia świetlnego wypromieniowanego przez żarówkę do pobieranej mocy.

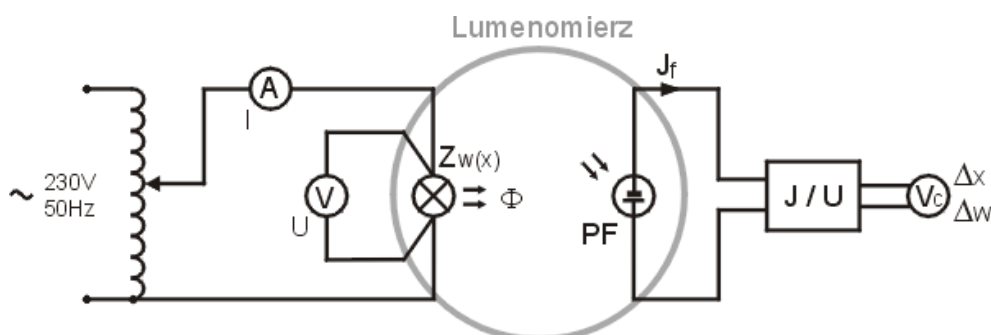
Tabela 1. Przykładowe wartości wykładników potęgowych charakteryzujących zmiany podstawowych parametrów żarówek w zależności od zmian napięcia zasilającego w zakresie +/- 10% w stosunku do napięcia znamionowego U_n .

L_p	Parametr	Symbol	Wykładnik potęgowy
1	Trwałość	τ	$\frac{\tau}{\tau_n} = \left(\frac{U}{U_n}\right)^{-13}$
2	Strumień świetlny	Φ	$\frac{\Phi}{\Phi_n} = \left(\frac{U}{U_n}\right)^{3,6}$
3	Moc	P	$\frac{P}{P_n} = \left(\frac{U}{U_n}\right)^{1,6}$
4	Skuteczność świetlna	η	$\frac{\eta}{\eta_n} = \left(\frac{U}{U_n}\right)^{1,9}$

4. POMIARY

W zakresie zmian napięcia zasilającego od 0 do 110% napięcia znamionowego pomierzyć następujące parametry żarówki badanej (rys. 6):

- Strumień świetlny Φ_{0X} ,
- Natężenie prądu I .



Rys. 6. Schemat układu pomiarowego, A – amperomierz, V – woltomierz, Z_w – żarówka wzorcowa, Z_x – żarówka badana, PF – przetwornik fotoelektryczny, J_f – prąd fotoelektryczny, J/U – konwerter prąd-napięcie, V_c – woltomierz cyfrowy.

Woltomierz mierzący napięcie na lampie przyłączyć do zacisków napięciowych (U) wyprowadzonych na tablicy lumenomierza. Napięcie zasilające doprowadzić do zacisków prądowych (J). Żarówkę badaną i wzorcową przyłączyć do zacisków prądowych (J) i napięciowych (U) znajdujących się wewnątrz lumenomierza.

Na podstawie wykonanych pomiarów obliczyć wartości mocy P , skuteczności świetlnej η i rezystancji żarnika R .

Wykonać pomiar ze wzorcem o znanej wartości strumienia świetlnego Φ_{0W} . Pomiar należy wykonać trzykrotnie. Zanotować wskazania miernika natężenia prądu fotoelektrycznego Δ_w . Obliczyć średnią arytmetyczną.

Wykreślić względne charakterystyki napięciowe: na osi X nanieść względne zmiany napięcia zasilającego (U/U_n), na osi Y nanieść względne zmiany parametrów żarówki (np. P/P_n , przy czym P_n jest wartością mocy żarówki, która została zmierzona przy znamionowym napięciu zasilającym U_n).

W zakresie zmian napięcia zasilającego od $0.9U_n$ do $1.1U_n$ **obliczyć wykładniki potęgowe** n_H dla zmian strumienia świetlnego Φ_{0X} , natężenia prądu I , mocy P , skuteczności świetlnej η i rezystancji żarnika R .



Grupa:		Dzień:		Godzina:		
Pomiar strumienia świetlnego. WYNIKI POMIARÓW						
Typ badanej lampy	U	I	P	Δ_x	$\Phi (\Phi_{0x})$	η
-	[V]	[A]	[W]	[-]	[lm]	[lm/W]
Typ żarówki wzorcowej:						
Napięcie fotometrowania U_{fot} [V]:						
Strumień świetlny Φ_{0W} [lm]:						
Wskazanie miernika natężenia prądu fotoelektrycznego Δ_w [-], dla żarówki wzorcowej (wykonać trzy pomiary, obliczyć średnią arytmetyczną):	1.	2.	3.			



Grupa:		Dzień:		Godzina:	
--------	--	--------	--	----------	--

Pomiar względnych zmian strumienia świetlnego w czasie rozruchu lampy.

WYNIKI POMIARÓW $\Delta' = \frac{\Delta}{\Delta_{ust.}}$, gdzie: $\Delta_{ust.}$ wartość ustalona zmierzona po czasie t.

Typ badanej lampy						
	Δ	Δ'	Δ	Δ'	Δ	Δ'
t	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
[s]						
10						
20						
30						
40						
50						
60						
70						
80						
90						
100						
110						
120						
130						
140						
150						
160						
170						
180						
190						
200						
210						
220						
230						
240						



Grupa:		Dzień:		Godzina:			
Pomiar strumienia świetlnego i wyznaczenie charakterystyk napięciowych żarówek.							
WYNIKI POMIARÓW							
Typ żarówki badanej:							
Lp	U	Δ_x	I	$\Phi (\Phi_{0x})$	P	R	η
-	[V]	[-]	[A]	[lm]	[W]	[Ω]	[lm/W]
1	253						
2	242						
3	230						
4	218						
5	207						
6	190						
7	170						
8	150						
9	130						
10	110						
11	90						
12	70						
13	50						
14	30						
15	10						
Typ żarówki wzorcowej:							
Napięcie fotometrowania U_{fot} [V]:							
Strumień świetlny Φ_{0W} [lm]:							
Wskazanie miernika nat. prądu fotoelektr. Δ_w [-]:					1.	2.	3.
Zakres pomiarowy miernika natężenia prądu fotoelektrycznego:							



Pomiar strumienia świetlnego i wyznaczanie charakterystyk napięciowych żarówek.							
CHARAKTERYSTYKI NAPIĘCIOWE - OBLICZENIA							
Typ żarówki badanej:							
Lp	U	U/U _n	I/I _n	Φ/Φ _n	P/P _n	R/R _n	η/η _n
-	[V]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
1	253	1.10					
2	242	1.05					
3	230	1	1	1	1	1	1
4	218	0.95					
5	207	0.90					
6	190	0.83					
7	170	0.74					
8	150	0.65					
9	130	0.57					
10	110	0.48					
11	90	0.39					
12	70	0.30					
13	50	0.22					
14	30	0.13					
15	10	0.04					
Wykładniki potęgowe							
Strumień			n _Φ				
Moc			n _P				
Natężenie prądu			n _I				
Skuteczność świetlna			n _η				
Rezystancja żarnika			n _R				