

Mierzymy natężenie oświetlenia
Krzysztof Rochowicz, KPCEN/UMK Toruń

Proponujemy przypomnienie podstawowych pojęć i wielkości fizycznych opisujących ilość emitowanego i docierającego do nas światła oraz kilka prostych pomiarów natężenia oświetlenia z użyciem czujnika światła.

1. Wprowadzenie – podstawy fotometrii.

Fotometria jest działem optyki, zajmującym się badaniem energii promieniowania elektromagnetycznego i innych wielkości z nim związanych. Fotometrię dzieli się na fotometrię obiektywną (zwaną również fizyczną lub energetyczną) i na fotometrię subiektywną (która jest ograniczona do fal świetlnych w zakresie od około 380 nm do około 780 nm). Obiektywne pomiary fotoelektryczne oparte są przede wszystkim na wykorzystaniu receptorów fotoelektrycznych. Najczęściej spotykanym ogniwem fotoelektrycznym jest ogniwo selenowe. W fotometrii subiektywnej detektorem promieniowania jest oko ludzkie, gdyż może ono w miarę dokładnie ocenić równość oświetlenia powierzchni.

Podstawowe pojęcia fotometryczne:

Kąt bryłowy. Wyobraźmy sobie kulę otaczającą dany punkt. Wtedy stożek o wierzchołku w tym punkcie wycina część z powierzchni kuli. Kąt bryłowy jest kątem przestrzennym w stożku. Miarą tego kąta jest stosunek pola powierzchni czaszy wycinanej przez ten stożek do kwadratu promienia kuli.

$$\omega = \frac{S}{r^2} \quad \text{Kąt bryłowy mierzymy w steradianach (sr); } \omega=1\text{sr, gdy } \frac{S}{r^2}=1.$$

Pełny kąt bryłowy ma 4π steradianów.

Natężenie źródła światła (światłość) **I** jest miarą energii świetlnej źródła, wysyłanej w jednostce czasu w określonym kierunku w obręb jednostkowego kąta bryłowego. Jednostką natężenia źródła światła jest *1 kandela* (*1 cd*).

Strumień świetlny **F** jest miarą ilości energii świetlnej wysyłanej w jednostce czasu. Źródło światła o światłości *I* wysyła w elementarny kąt bryłowy $d\omega$ strumień świetlny:

$$dF=Id\omega$$

Jeżeli źródło promieniuje jednakowo we wszystkich kierunkach (źródło izotropowe), to:

$$F=I\omega$$

Jednostką strumienia świetlnego jest *1 lumen* (*1 lm*): jest to strumień świetlny punktowego źródła światła o natężeniu $I=1$ cd, wysyłany w obręb kąta bryłowego $\omega=1$ sr.

Natężenie oświetlenia **E** jest miarą mocy energii świetlnej przypadającej na jednostkę oświetlonej powierzchni:

$$E = \frac{d\Phi}{dS},$$

gdzie dS jest elementem powierzchni prostopadłym do padającego strumienia świetlnego.

Przy równomiernym oświetleniu rozpatrywanej powierzchni, prostopadłej do strumienia świetlnego, można zapisać:

$$E = \frac{\Phi}{S}.$$

Jednostką natężenia oświetlenia jest *1 luks (1 lx)*: jest to natężenie oświetlenia spowodowane przez strumień świetlny o wartości 1 lm, padający prostopadle na powierzchnię 1m².

2. Jakie mogą być typowe wartości natężenia oświetlenia?

Za podstawę stopniowania poziomu natężenia oświetlenia przyjmuje się obecnie cztery charakterystyczne poziomy: 20 – 200 – 2000 – 20000 lx. Poziom 20 lx umożliwia zgrubne rozróżnianie cech twarzy ludzkiej i został przyjęty jako pożądany minimalny poziom we wnętrzach. Poziom 200 lx umożliwia rozróżnianie cech twarzy ludzkiej bez nadmiernego wysiłku i został przyjęty za pożądany minimalny poziom we wnętrzach, w których ludzie przebywają dłużej i wykonują pracę. Poziom 2000 lx został uznany za optymalny ze względu na odczucie przyjemności. Stąd w przeciętnych pomieszczeniach należałoby stosować poziom 200 – 2000 lx. Poziom 20000 lx wyznacza górną granicę natężenia oświetlenia, przy której można oczekiwać, że w warunkach praktycznych wystąpi maksymalna czułość kontrastowa oka. Stąd przy szczególnie trudnej pracy wzrokowej należałoby stosować poziom powyżej 2000 lx, ale nie przekraczać 20000 lx.

3. Pomiar natężenia oświetlenia w oparciu o czujnik światła Pasco.



Ryc. 1. Czujnik światła PS-2106A firmy Pasco, wykorzystany w doświadczeniach.

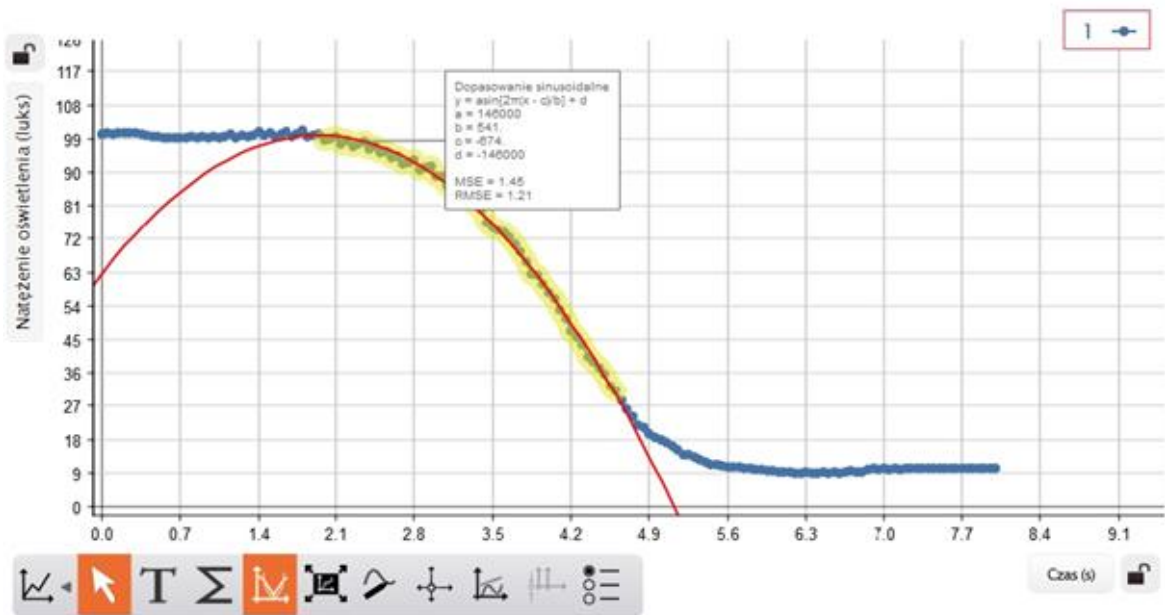
Czujnik Światła PS-2106A (ryc. 1) mierzy oświetlenie w luksach. Oświetlenie to miara tego, ile światła pada na powierzchnię oraz strumienia świetlnego padającego na dany obszar.

Czujnik Światła pracuje w trzech zakresach przedstawianych przez ikonki obok przycisków wyboru zakresu. Świeca to zakres 0 do 2,6 luksa, żarówka: 0 do 260 luksów, a słońce: 0 do 26000 luksów.

Typowe możliwe zastosowania:

- Badanie intensywności światła w określonych dystansach
- Zgłębianie zakłóceń, dyfrakcji, polaryzacji
- Pomiar względnych intensywności światła dziennego
- Pomiar względnego natężenia światła odbitego z różnych powierzchni

Proponujemy przeprowadzenie kilku prostych pomiarów z wykorzystaniem używanych na co dzień źródeł światła. Na początek dokonamy pomiaru zależności natężenia oświetlenia powierzchni od kąta jej nachylenia do wiązki promieni biegnących od źródła (ryc. 2).



Ryc. 2. Wynik badania natężenia oświetlenia powierzchni w zależności od kąta jej nachylenia (ściślej: czasu, dla równomiernej zmiany kąta); kolorem niebieskim zaznaczono punkty pomiarowe, czerwonym – dopasowany wykres funkcji sinus.

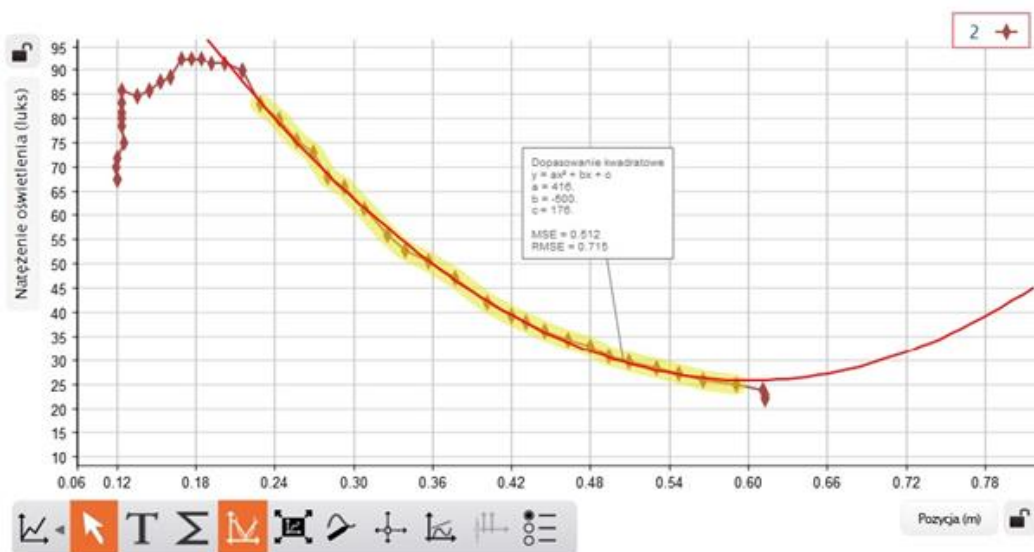
Przeprowadzimy też pomiar natężenia oświetlenia powierzchni w zależności od odległości źródła światła (ryc. 3, w tej części wykorzystamy dodatkowo czujnik ruchu).

Dla źródła punktowego zależność oświetlenia powierzchni E od kąta α , pod jakim pada na nią światło, oraz od odległości r powierzchni od źródła światła, wyraża prawo Lamberta:

$$E = \frac{I}{r^2} \cos \alpha.$$

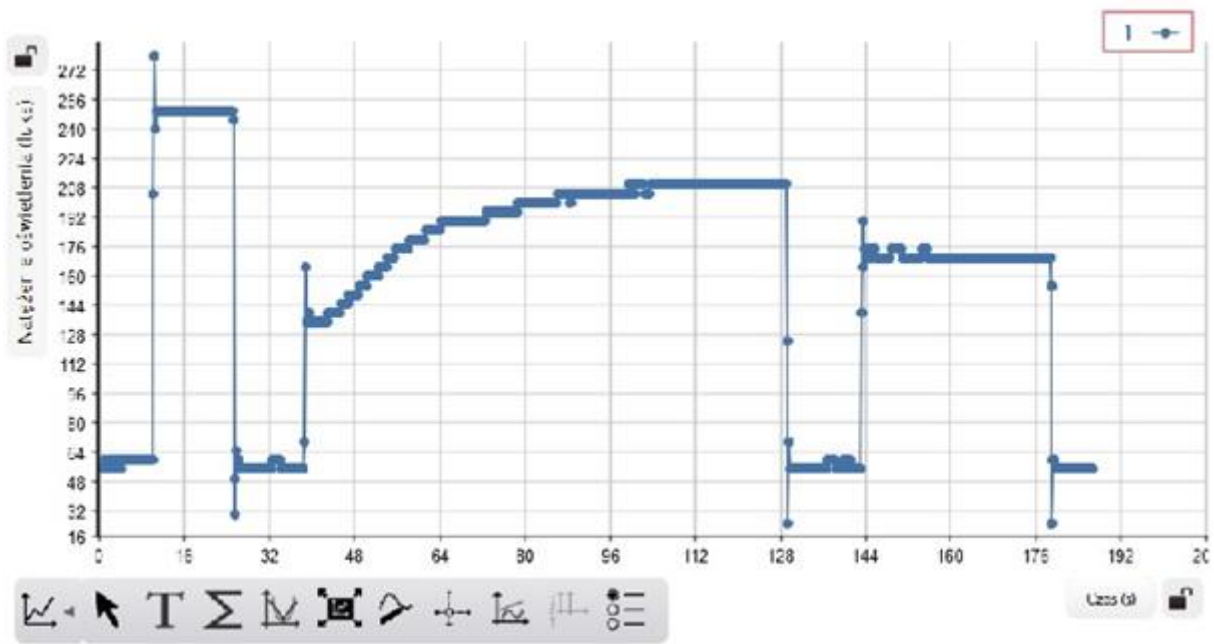
Jeżeli I wyrazimy w kandelach, r w metrach, to E będzie wyrażone w luksach.

Nasz wykres też można przybliżyć funkcją typu $1/r^2$.



Ryc.3. Wynik badania natężenia oświetlenia w zależności od odległości od źródła – czerwone romby to punkty pomiarowe, krzywa typu $1/r^2$ przedstawia najlepsze dopasowanie do danych.

Porównamy też pod względem oświetlenia źródła tradycyjne (żarówki) i nowoczesne (energooszczędne świetlówki i żarówki LED) o tej samej mocy znamionowej (60 W) – patrz ryc. 4.



Ryc. 4. Wyniki pomiaru natężenia oświetlenia w odległości 1m od żarówki klasycznej, świetlówki energooszczędnej i LED o tej samej mocy znamionowej 60 W. Poziom tła – ok. 50 luksów, żarówki – ok. 250 lx, świetlówki energooszczędnej – ok. 210 lx (osiągnięty po ok. 2 minutach od włączenia), lampy LED – ok. 170 lx.

Warto nadmienić, że mimo mniejszego poziomu natężenia oświetlenia, jakie dają nowoczesne źródła światła w porównaniu z tradycyjną żarówką, wydatek energii do ich zasilania jest o wiele mniejszy, a więc ich efektywność świecenia – zdecydowanie większa.