

## Ćw. 5. Pomiar podstawowych właściwości refleksyjno-transmisyjnych materiałów

Opracował: dr inż. Andrzej Wiśniewski



ZAKŁAD TECHNIKI  
ŚWIETLNEJ

### 1. Wprowadzenie teoretyczne

Światło padające na powierzchnię materiału jest odbijane, pochłaniane lub przepuszczane. W celu opisu tych zjawisk definiuje się trzy podstawowe parametry, które nazywane są: współczynnikiem odbicia światła, współczynnikiem pochłaniania światła i współczynnikiem przepuszczania światła.

Odbiciem światła nazywamy zmianę kierunku padającego światła na powierzchnię, można te zjawisko określić jako zwrot promieniowania (światła) przez powierzchnię. Odbicie światła przez powierzchnię może następować bez zmiany rozkładu widmowego odbitego światła względem rozkładu widmowego światła padającego. Odbicie światła przez powierzchnię może również zmienić rozkład widmowy (tym samym barwę światła) odbitego względem światła padającego na daną powierzchnię. Takie zjawisko następuje również wtedy gdy część widma światła padającego na powierzchnię jest przez nią pochłaniane lub/i przepuszczane. Taki przypadek ma miejsce w przypadku oświetlania przedmiotów o różnych barwach. Oświetlane przedmioty część widma padającego światła przepuszczają, pochłaniają a część odbijają. Z tego powodu jesteśmy w stanie zauważyć różnice w barwie różnych przedmiotów. W przypadku zmiany rozkładu widmowego światła odbitego od powierzchni w stosunku do światła padającego na tę powierzchnię definiuje się tak zwany widmowy współczynnik odbicia światła. W tym przypadku możliwe jest analizowanie współczynnika odbicia światła w zależności od długości fali promieniowania w zakresie widzialnym (światła). Natomiast całkowity współczynnik odbicia światła  $\rho$  jest to stosunek strumienia świetlnego odbitego  $\Phi_p$  do strumienia świetlnego padającego na powierzchnię  $\Phi_0$  (1).

$$\rho = \frac{\Phi_p}{\Phi_0} [-] \quad (1)$$

Charakter odbicia światła (bryła fotometryczna odbitego światła) zależy od rodzaju powierzchni, na którą pada światło. W zależności od tego czy powierzchnia jest lustrzana (np. odbłyśnik) czy matowa (np. ściana pomalowana matową farbą) lub chropowata (np. ściana pomalowana połyskliwą farbą) można wyróżnić trzy główne charaktery odbicia światła : kierunkowy, rozproszony i kierunkowo – rozproszony.

Pochłanianie światła przez materię jest ogólnie rzecz ujmując przemianą energii promienistej (światła) w inną formę energii. Pochłaniana energia może być zamieniana na przykład w ciepło lub energię elektryczną. W celu określenia wartości pochłanianej energii (światła) definiuje się ogólny współczynnik pochłaniania  $\alpha$ , który jest stosunkiem strumienia

światelnego pochłoniętego  $\Phi_\alpha$  do strumienia światelnego padającego  $\Phi_0$  (2). Warto pamiętać, że materia może pochłaniać tylko część widma padającego na nie światła. W takim przypadku pochłanianie światła charakteryzuje się również widmowym współczynnikiem pochłaniania.

$$\alpha = \frac{\Phi_\alpha}{\Phi_0} [-] \quad (2)$$

Przepuszczaniem światła nazywa się przenikanie promieniowania przez materię. Przepuszczanie światła, podobnie jak odbicie światła może zachodzić bez zmiany rozkładu widmowego przepuszczonego światła (barwy) względem rozkładu widmowego światła padającego. Przykładem takiego zjawiska może być przepuszczanie światła przez przezroczystą szybę. Zjawisko przepuszczania światła może zachodzić również ze zmianą rozkładu widmowego światła przepuszczanego względem światła padającego na daną powierzchnię, przykładem tego zjawiska może być przepuszczanie światła przez filtr barwny (na przykład kolorową szybę). Współczynnik przepuszczania światła  $\tau$  jest definiowany jako stosunek strumienia światelnego przepuszczonego  $\Phi_\tau$  do strumienia światelnego padającego  $\Phi_0$  (3).

$$\tau = \frac{\Phi_\tau}{\Phi_0} [-] \quad (3)$$

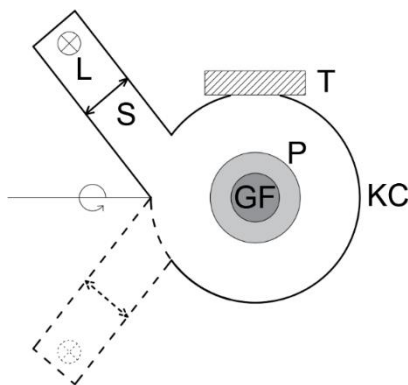
W przypadku przepuszczania światła, podobnie jak w przypadku odbicia światła rozróżnia się trzy podstawowe charakterystyczne rozkłady przestrzenne przepuszczania światła (bryła fotometryczna światła przepuszczonego): przepuszczanie kierunkowe (szyba przezroczysta), przepuszczanie rozproszone (szyba mleczna), przepuszczanie kierunkowo rozproszone (szyba przeświecalna).

## 2. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest wykonanie pomiarów wartości współczynników odbicia i przepuszczania wybranych typów próbek materiałów. Pomiar wartości współczynnika odbicia wykonywany jest za pomocą reflektometru Taylora. Pomiar wartości współczynnika przepuszczania światła wykonywany jest za pomocą przepuszczalnościomierza.

### 2.1. Pomiar wartości współczynnika odbicia światła

Na rysunku 1 przedstawiony jest widok reflektometru Taylora. Reflektometr Taylora służy do pomiaru całkowitego współczynnika odbicia światła.



Rys. 1. Reflektometr Taylora: L – ramię reflektometru (tubus) i źródło światła, S – średnica tubusu, T – okno próbki materiału, P – przesłona w kuli całkowującej (KC), GF – okno pomiarowe

Konstrukcja reflektometru Taylora umożliwia pomiar ogólnego współczynnika odbicia światła od badanej próbki materiału bez użycia wzorca. Reflektometr Taylora wyposażony jest w okno pomiarowe „GF”, w którym umieszcza się ogniwo fotoelektryczne (pomiar natężenia oświetlenia), oraz okno „T” w którym umieszczana jest próbka materiału, którego mierzymy ogólny współczynnik odbicia światła. Ramię reflektometru wyposażone jest w źródło światła (żarówkę, illuminant A) wraz z układem optycznym, które skupia wiązkę emitowanego światła, tak aby strumień świetlny skupiony był tylko na oknie pomiarowym „T”. Zasada pomiaru ogólnego współczynnika odbicia światła za pomocą reflektometru Taylora opiera się na pomiarze strumienia świetlnego odbitego od próbki materiału badanego, który jest umieszczony w oknie „T” i pomiarze strumienia świetlnego odbitego przez próbkę. W celu zrealizowania pomiaru strumienia świetlnego padającego na próbkę ramię reflektometru Taylora powinno być skierowane w kierunku okna T. Skupione światło na oknie „T” spowoduje jego odbicie od badanej próbki (ważne aby skupione światło padało tylko na powierzchnię badanej próbki, powierzchnię okna „T”) i skierowanie światła do wnętrza kuli umożliwiając pomiar strumienia świetlnego odbitego od próbki. Zmiana pozycji ramienia reflektometru Taylora „L” spowoduje skierowanie strumienia świetlnego do środka kuli umożliwiając pomiar strumienia świetlnego padającego na próbkę. W wyniku zmiany położenia ramienia reflektometru Taylora, możliwy jest pomiar wartości strumienia świetlnego padającego na badaną próbkę materiału i pomiar wartości strumienia świetlnego odbitego od próbki badanego materiału. Zmierzona wartość strumienia świetlnego padającego na próbkę materiału i wartość strumienia świetlnego odbitego od próbki materiału pozwala na wyznaczenie wartości ogólnego współczynnika odbicia światła.

W celu wyznaczenia wartości ogólnego współczynnika odbicia światła za pomocą reflektometru Taylora należy wykonać następujące pomiary:

1. Pomiar natężenia oświetlenia w oknie pomiarowym „GF”, podczas gdy ramię reflektometru skierowane jest w kierunku okna pomiarowego „T”. Otrzymujemy wartość natężenia oświetlenia  $E_p$ . Proporcjonalną do wartości strumienia świetlnego odbitego przez badaną próbkę materiału.
2. Pomiar natężenia oświetlenia w oknie pomiarowym „GF”, podczas gdy ramię reflektometru skierowane jest w kierunku okna pomiarowego „T” przy przykryciu okna pomiarowego elementem symulującym ciało czarne (idealne pochłanianie światła), może to być np. pokryta od wewnątrz czarna tuba. Otrzymujemy wartość  $E_r$  proporcjonalną do wartości strumienia świetlnego odbitego od kuli całkującej, wynikającego z niedokładnego skupienia światła przez układ optyczny tubusu.
3. Pomiar natężenia oświetlenia w oknie pomiarowym „GF”, podczas gdy ramię reflektometru skierowane jest w kierunku kuli całkującej. Otrzymujemy wartość natężenia oświetlenia  $E_0$ . Proporcjonalną do wartości strumienia świetlnego padającego na badaną próbkę.
4. Wartość współczynnika odbicia światła oblicza się ze wzoru (4):

$$\rho_x = \frac{E_p - E_r}{E_0} [-] \quad (4)$$

gdzie:

$E_0$  – natężenie oświetlenia proporcjonalne do strumienia świetlnego odbitego od próbki,

$E_r$  - natężenie oświetlenia proporcjonalne do strumienia świetlnego odbitego od powierzchni kuli całkującej (strumienia rozproszonego),

$E_p$  - natężenie oświetlenia proporcjonalne do strumienia świetlnego padającego na próbkę.

W pomiarze współczynnika odbicia ważne jest aby strumień świetlny padający na okno pomiarowe „T” był skupiony tak, aby nie był kierowany na wewnętrzną część kuli całkującej. Czyli wartość natężenia oświetlenia zmierzonego w oknie pomiarowym „GF” w pozycji ramienia skierowanym w kierunku okna „T” , bez próbki, był równy zero. W takim przypadku nie trzeba wykonywać pomiaru natężenia oświetlenia  $E_r$  ( $E_r = 0$ )

Przy użyciu reflektometru Taylora można wykonać pomiar współczynnika odbicia światła metodą klasyczną, przy zastosowaniu wzorca współczynnika odbicia światła. W takim przypadku pomiar wykonywany jest przy skierowaniu ramienia reflektometru na okno pomiarowe „T”. Pomiar polega na porównaniu wartości strumienia świetlnego odbitego od próbki wzorcowej (o znanym współczynniku odbicia światła  $\rho_w$ ) i strumienia świetlnego odbitego od próbki badanej  $\rho_x$ . W tym celu należy zmierzyć poziom natężenia oświetlenia (okno GF), który jest proporcjonalny do strumienia świetlnego odbitego od próbki wzorcowej  $E_w$  i poziom natężenia (przy próbce badanej)  $E_x$ . Pomiar współczynnika odbicia światła należy skorygować, pod względem niedokładnego skupienia światła w oknie pomiarowym. Część strumienia świetlnego kierowanego w kierunku okna pomiarowego „T” może odbijać się od powierzchni kuli. W takim przypadku, okno pomiarowe należy zasłonić elementem symulującym ciało czarne. Wartość strumienia świetlnego (rozproszonego) odbitego od wewnętrznej części kuli jest proporcjonalna do wartości zmierzonego natężenia oświetlenia  $E_r$ . Wartość współczynnika odbicia światła należy obliczyć z następującego wzoru (5).

$$\rho_x = \rho_w \frac{E_x - E_r}{E_w - E_r} [-] \quad (5)$$

gdzie:

$E_x$  – natężenie oświetlenia proporcjonalne do strumienia świetlnego odbitego od próbki

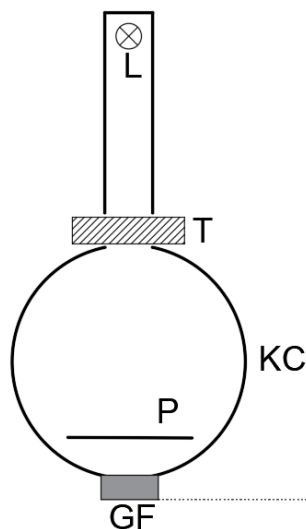
$E_0$  - natężenie oświetlenia proporcjonalne do strumienia świetlnego odbitego od powierzchni kuli całkującej (strumień rozproszony)

$E_w$  - natężenie oświetlenia proporcjonalne do strumienia świetlnego odbitego od próbki wzorcowej

$\rho_w$  – współczynnik odbicia próbki wzorcowej

## 2.2 Pomiar współczynnika przepuszczania światła

Na rysunku 2 przedstawiony jest przepuszczalnościomierz, który służy do pomiaru ogólnego współczynnika przepuszczania światła.



Rys. 2. Przepuszczalnościomierz: L – ramię reflektometru (tubus) i źródło światła, T – okno próbki materiału, P – przesłona w kuli całkowitej (KC), GF – okno pomiarowe

Pomiar całkowitego współczynnika przepuszczania światła realizowany jest w przepuszczalnościomierzu. Pomiar wykonuje się w dwóch etapach. W pierwszym etapie wykonuje się pomiar natężenia oświetlenia proporcjonalnego do wartości strumienia świetlnego padającego na próbkę  $E_0$ . W tym celu tubus przepuszczalnościomierza umieszcza się bezpośrednio w oknie pomiarowym „T”. W drugim etapie, wykonuje się pomiar natężenia oświetlenia proporcjonalny do strumienia świetlnego przepuszczonego przez badaną próbkę  $E_x$ . W tym celu w oknie pomiarowym „T” umieszcza się próbkę badaną i zamyka się okno tubusem. Wartość współczynnika przepuszczania światła  $\tau$  oblicza się z następującego wzoru (6).

$$\tau = \frac{E_x}{E_0} [-] \quad (6)$$

gdzie:

$E_x$  – natężenie oświetlenia proporcjonalne do wartości strumienia świetlnego przepuszczonego przez próbkę,

$E_p$  - natężenie oświetlenia proporcjonalne do wartości strumienia świetlnego padającego na próbkę.

## 3. Sprowadzenie

W sprawozdaniu należy umieścić wyniki pomiarów współczynnika odbicia światła wykonanego za pomocą metody tradycyjnej i reflektometrem Taylora oraz wyniki pomiarów współczynnika przepuszczania światła wykonane za pomocą przepuszczalnościomierza. Pomiar należy wykonać dla iluminantu A. Można również sprawdzić jak widmowy rozkład promieniowania źródła światła wpływa na uzyskane wartości całkowitego współczynnika odbicia. W tym celu należy zastąpić żarówkę np. poprzez źródło LED.

#### 4. Pytania weryfikacyjne

- Proszę podać definicję współczynnika odbicia światła.

Współczynnik odbicia światła  $\rho$  jest to stosunek strumienia świetlnego odbitego  $\Phi_\rho$  do strumienia świetlnego padającego na powierzchnię  $\Phi_0$ .

$$\rho = \frac{\Phi_\rho}{\Phi_0} [-]$$

- Proszę podać definicję współczynnika przepuszczania światła

Współczynnik przepuszczania światła  $\tau$  jest definiowany jako stosunek strumienia świetlnego przepuszczonego  $\Phi_\tau$  do strumienia świetlnego padającego  $\Phi_0$ .

$$\tau = \frac{\Phi_\tau}{\Phi_0} [-]$$

- Proszę podać wzór obliczania wartości współczynnika odbicia światła przy wykonywaniu pomiarów reflektometrem Taylora

Wartość współczynnika odbicia światła należy obliczyć z następującego wzoru .

$$\rho_x = \rho_w \frac{E_x - E_r}{E_w - E_r} [-]$$

- gdzie:
- $E_x$  – natężenie oświetlenia proporcjonalne do strumienia świetlnego odbitego od próbki
- $E_0$  - natężenie oświetlenia proporcjonalne do strumienia świetlnego odbitego od powierzchni kuli całkującej (strumień rozproszony)
- $E_w$  - natężenie oświetlenia proporcjonalne do strumienia świetlnego odbitego od próbki wzorcowej
- $\rho_w$  – współczynnik odbicia próbki wzorcowej
- Proszę podać definicję współczynnika pochłaniania światła

W celu określenia wartości pochłanianej energii (światła) definiuje się ogólny współczynnik pochłaniania  $\alpha$ , który jest stosunkiem strumienia świetlnego pochłoniętego  $\Phi_\alpha$  do strumienia świetlnego padającego  $\Phi_0$ . Warto pamiętać, że materia może pochłaniać tylko część widma padającego na nie światła. W takim przypadku pochłanianie światła charakteryzuje się również widmowym współczynnikiem pochłaniania.

$$\alpha = \frac{\Phi_\alpha}{\Phi_0} [-]$$

- Proszę podać wzór obliczania wartości współczynnika przepuszczania światła przy zastosowaniu przepuszczalnościomierza.

Wartość współczynnika przepuszczania światła  $\tau$  oblicza się z następującego wzoru.

$$\tau = \frac{E_x}{E_0} [-]$$

gdzie:

$E_x$  – natężenie oświetlenia proporcjonalne do wartości strumienia świetlnego przepuszczonego przez próbkę,

$E_p$  - natężenie oświetlenia proporcjonalne do wartości strumienia świetlnego padającego na próbkę.

## 5. Literatura

- [1] Dariusz Czyżewski, Sławomir Zalewski "Laboratorium fotometrii i kolorymetrii, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2007r.