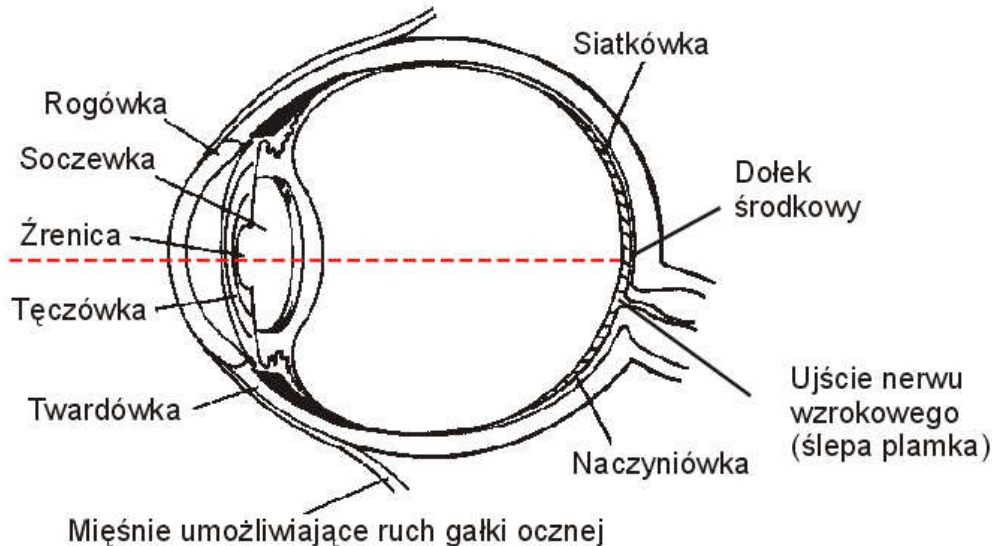


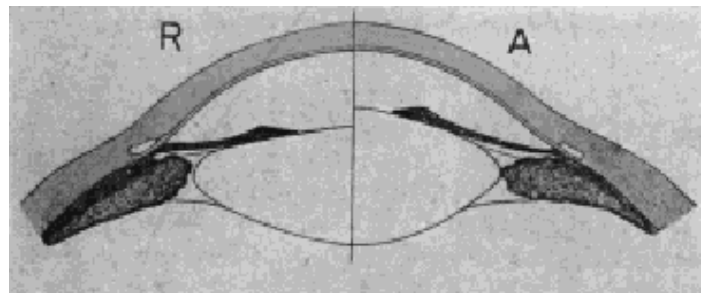


## KOLORYMETRIA



Rys. 1. Układ optyczny oka z zaznaczoną osią optyczną.

<b>Rogówka</b>	Jest soczewką wypukło-wklęsłą i ma kształt czaszy sferycznej. Jest elementem najsilniej załamującym światło w układzie optycznym oka. Ma siłę około 43 dioptrii (całe oko ma 60 dioptrii).
<b>Żrenica</b>	Jest otworem w silnie zabarwionej błonie zwanej tęczówką. Pod wpływem bodźca żrenica zmienia swoją wielkość.
<b>Soczewka</b>	Przy obserwacji przedmiotów dalekich soczewka ulega spłaszczeniu, przy obserwacji przedmiotów bliskich soczewka staje się bardziej wypukła. Zmiana formy soczewki z płaskiej na bardziej wypukłą nazywa się akomodacją, dzięki niej można uzyskać ostry obraz na siatkówce przy różnych odległościach obserwacji. Wraz z wiekiem soczewka traci elastyczność, więc zanika zdolność tworzenia ostrych obrazów przedmiotów bliskich – jest to starczowzroczność.

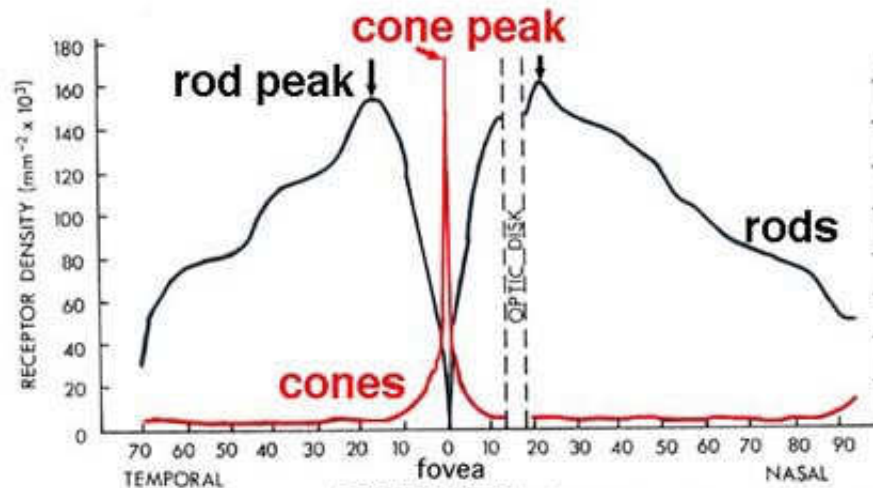
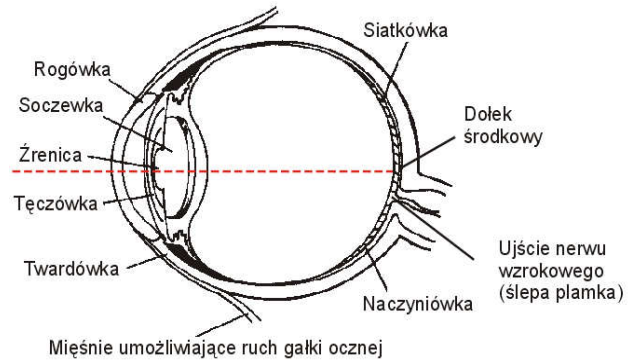


Rys. 2. Soczewka, oko w spoczynku (R), oko akomoduje (A).

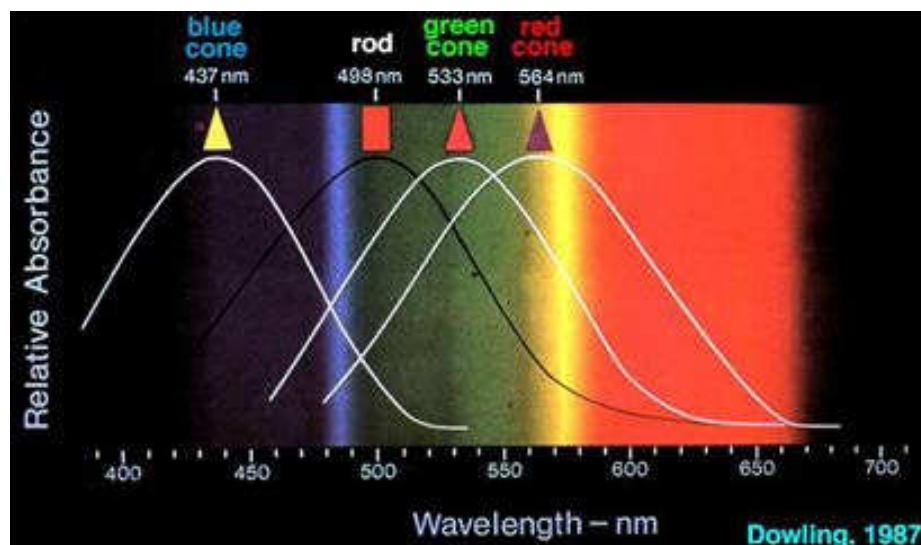


## Siatkówka

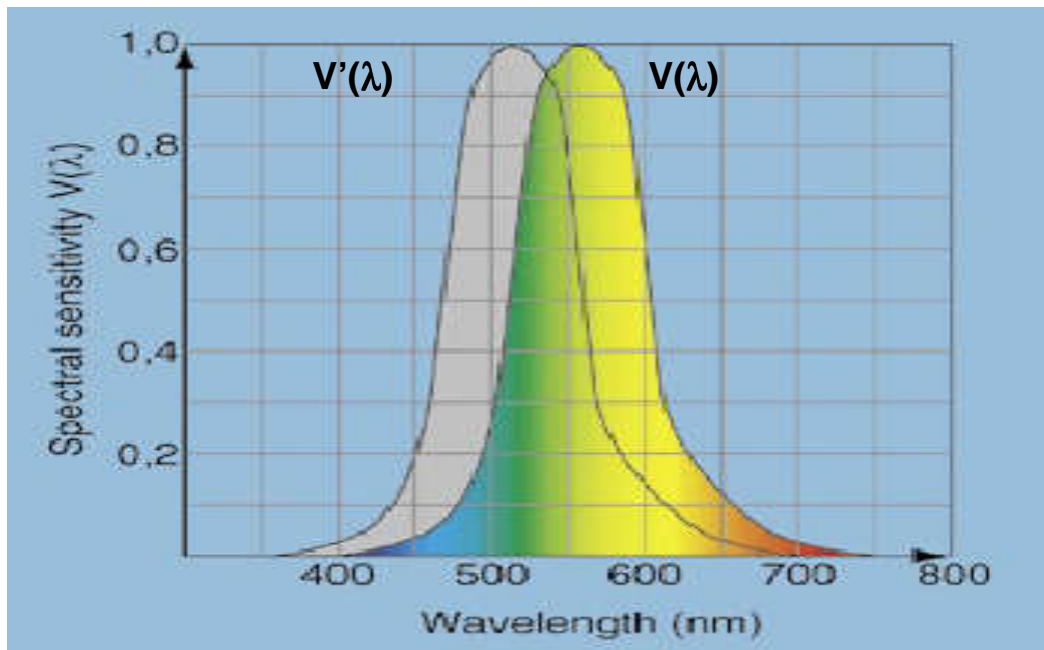
Jest silnie unerwioną błoną, w której występują zakończenia nerwowe dwóch rodzajów receptorów: czopków (7 mln) i pręcików (120 mln). Zakończenia nerwowe łączą się w wiązki a te w nerw wzrokowy, który prowadzi do mózgowych centrów wzrokowych. Wyjście nerwu wzrokowego na dnie oka jest pozbawione receptorów i nazywa się ślepą plamką.



Rys. 3. Rozmieszczenie czopków (cone) i pręcików (rod) na siatkówce jest nierównomierne. Najwięcej czopków znajduje się w dołku środkowym (fovea).



Rys. 4. Czulość widmowa receptorów. Występują trzy rodzaje czopków, które są czułe w różnych zakresach długości fali: niebieskim (blue), zielonym (green) i czerwonym (red). Różny stopień pobudzenia trzech rodzajów czopków daje wypadkowe wrażenie barwy.



Rys. 5. Wypadkowa czułość widmowa receptorów tworzy krzywą:  
 $V(\lambda)$  – dla czopków  
 $V'(\lambda)$  – dla pręcików.

Cechy	CZOPKI	PRĘCIKI
Widzenie	Widzenie barwne	Widzenie w odcieniach szarości
Działanie	Przy wysokich poziomach oświetlenia $L > 10 \text{ cd/m}^2$	Przy niskich poziomach oświetlenia $L < 0.01 \text{ cd/m}^2$
Rozmieszczenie	Nierównomierne najliczniej w środkowej części siatkówki (żółta plamka, dołek środkowy)	Nierównomierne najliczniej na obwodzie siatkówki
Połączenia nerwowe	Niezależne połączenia nerwowe z ośrodkami mózgowymi - umożliwia ostre widzenie	Połączone są grupowo - brak możliwości rozróżniania szczegółów

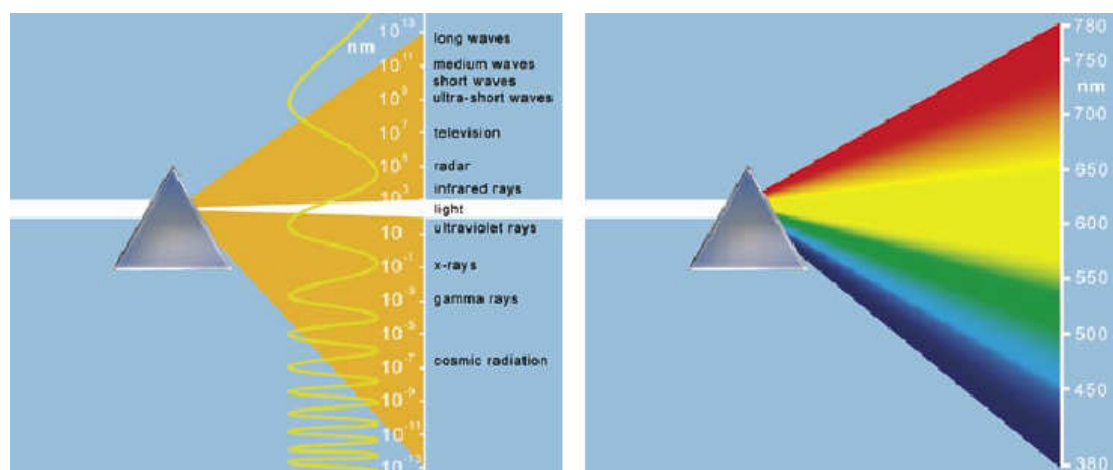
## KOLORYMETRIA – nauka o barwie

Barwa należy do subiektywnych wrażeń zmysłowych, podobnie jak dźwięk, zapach, smak i dotyk.

Wrażenie barwy powstaje pod wpływem bodźców działających na narząd wzroku i podrażniających znajdujące się w nim receptory.

W receptorach powstają impulsy nerwowe, wywołujące w mózgu odczucie odpowiednich wrażeń.

Wrażenia barw są postrzegane dzięki podrażnieniu fotoreceptorów przez promieniowanie elektromagnetyczne z zakresu widzialnego  
380 nm – 780 nm



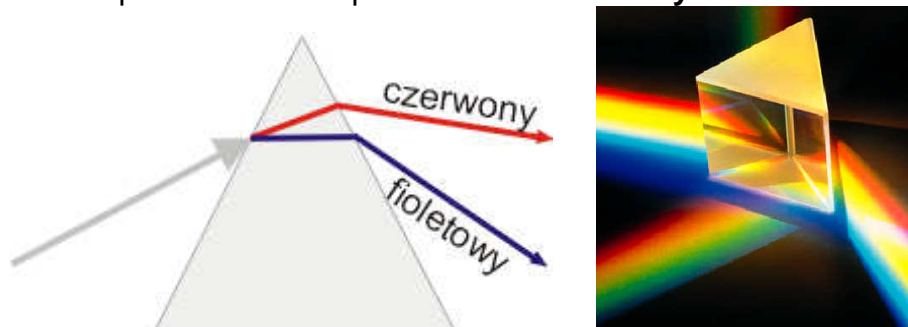
Światło słoneczne stanowi mieszaninę fal elektromagnetycznych o różnej długości fali. Jest to **promieniowanie złożone** (złożone z różnych promieniowań monochromatycznych).

**Promieniowanie monochromatyczne** to promieniowanie o jednej tylko częstotliwości (długości fali).

Po przejściu światła białego przez pryzmat nastąpi jego **rozszczerzenie** ponieważ promieniowanie o różnych długościach fali ulegnie innemu załamaniu i odchyleniu.

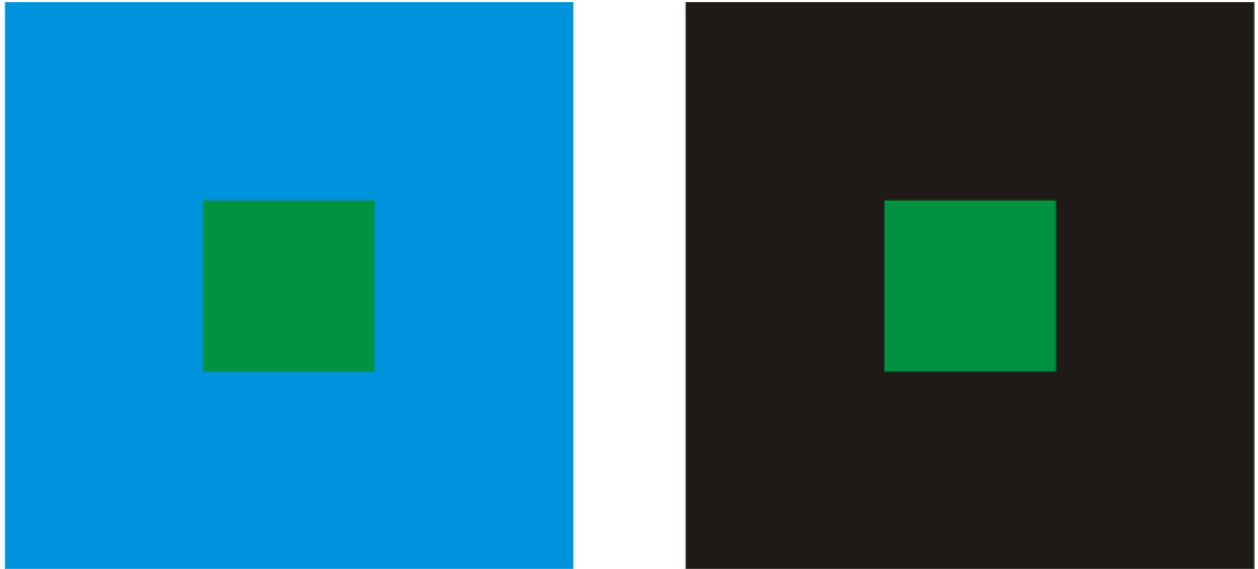
Obraz powstały wskutek rozłożenia promieniowania złożonego na promieniowania monochromatyczne to **widmo promieniowania**.

Widmo promieniowania przedstawia tzw. **barwy widmowe**.

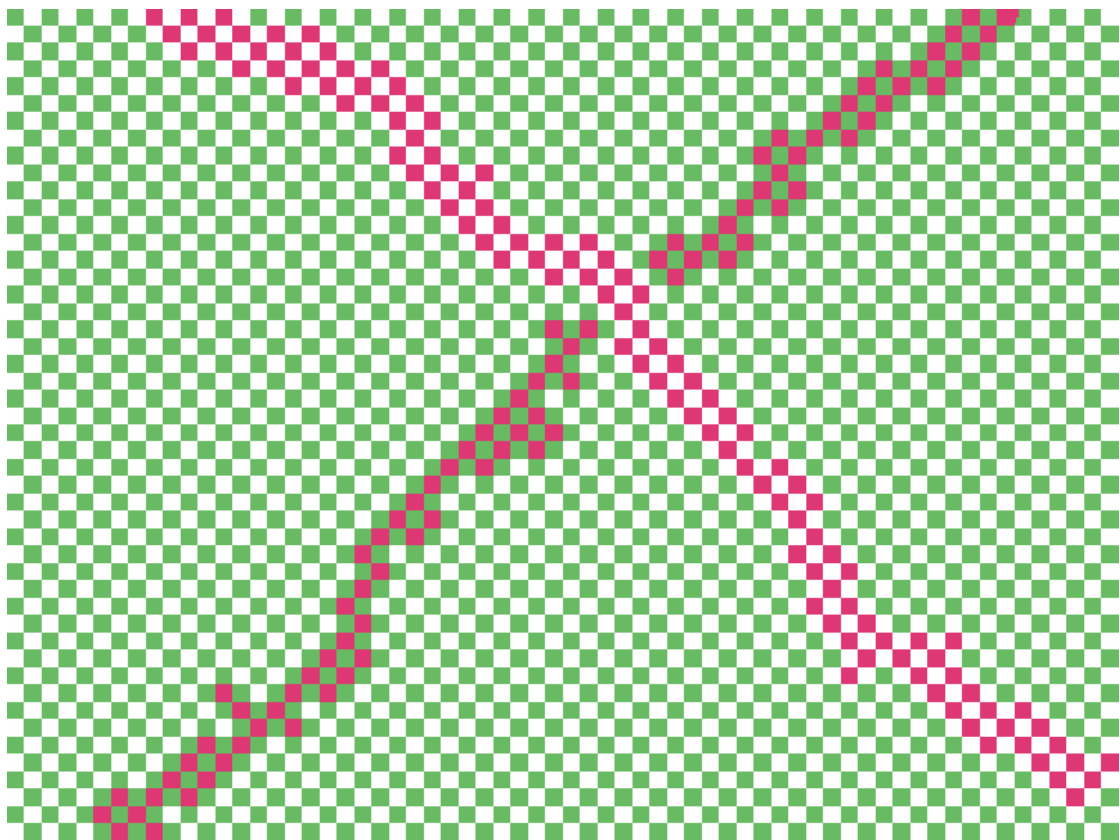




**Barwa swobodna** – to barwa, obserwowana przez otwór w przesłonie. Barwa taka nie jest zlokalizowana pod względem głębokości i nie postrzega się jej w związku z żadnym przedmiotem.



Rys. 6. Barwa swobodna (z prawej).

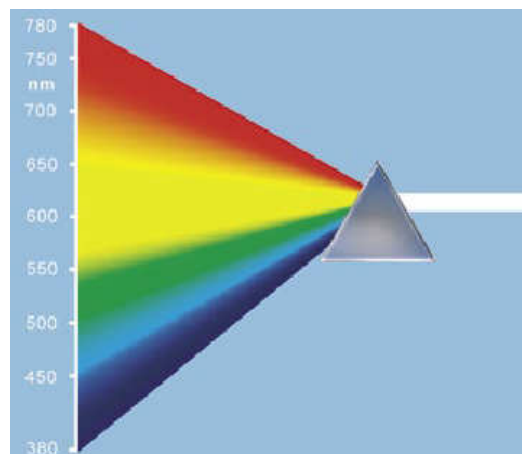


Rys. 7. Barwa niesamoistna.

Dla **barw swobodnych** zmiana trzech czynników: **odcienia, nasycenia i jaskrawości** wyczerpuje wszystkie możliwe sposoby zmiany wrażenia barwy.

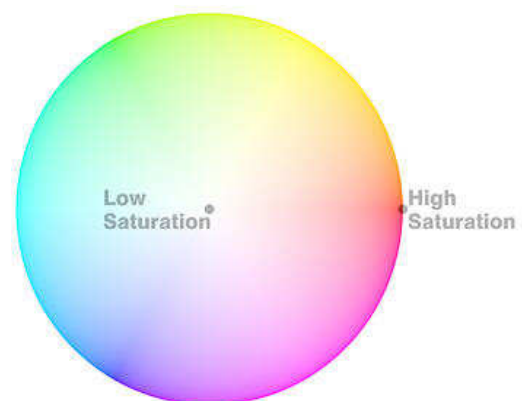
### Odcień

Białe światło po przejściu przez pryzmat szklany ulega rozszczepieniu. Obserwując rozszczepione światło w różnych przedziałach długości fali stwierdzamy, że istnieje różnica pomiędzy każdym z tych wrażeń. Doznawane wrażenia określa się nazywając promieniowania kolejno fioletowym, niebieskim, zielonym, żółtym, pomarańczowym, czerwonym. Tę cechę wrażenia wzrokowego nazywa się odcieniem.



### Nasycenie (saturation)

Dodając do promieniowania barw widmowych coraz więcej światła białego otrzyma się promieniowanie postrzegane jako nie zmienione w odcieniu ale coraz bardziej blade. Tę cechę wrażenia wzrokowego nazywa się nasyceniem.



### Jaskrawość

Aby wywołać zmianę wrażenia barwy można także zmniejszyć strumień świetlny np. odsuwając źródło światła od obserwowanej powierzchni. Nie stwierdzi się wtedy zmiany odcienia, ani zmiany nasycenia, ale odbierać się będzie wrażenie coraz słabszego światła. Tę cechę wrażenia wzrokowego nazywa się jaskrawością.

Barwy widzimy i rozróżniamy tylko przy dostatecznym poziomie oświetlenia

Widzenie	Zakres luminancji	Opis
widzenie nocne (skotopowe)	$L < 0,01 \text{ cd/m}^2$	działają tylko pręciki widzenie w skali szarości
widzenie zmierzchowe (mezopowe)	$0,01 \text{ cd/m}^2 < L < 10 \text{ cd/m}^2$	działają pręciki i czopki upośledzone widzenie barwne
widzenie dzienne (fotopowe)	$L > 10 \text{ cd/m}^2$	działają tylko czopki widzenie barwne

### Sprawdzenie warunku na widzenie dzienne

Luminancja w polu widzenia  $L$  dla materiału idealnie rozpraszającego światło:

$$L = \frac{\rho}{\pi} E$$

Dla rzeczywistego materiału, dla którego współczynnik odbicia  $\rho=0,5$  najmniejsze wymagane natężenie oświetlenia  $E$  dla warunku  $L > 10 \text{ cd/m}^2$  wyniesie:

$$E = \frac{\pi}{\rho} \cdot L = \frac{\pi}{0,5} \cdot 10 \approx 63 [\text{lx}]$$

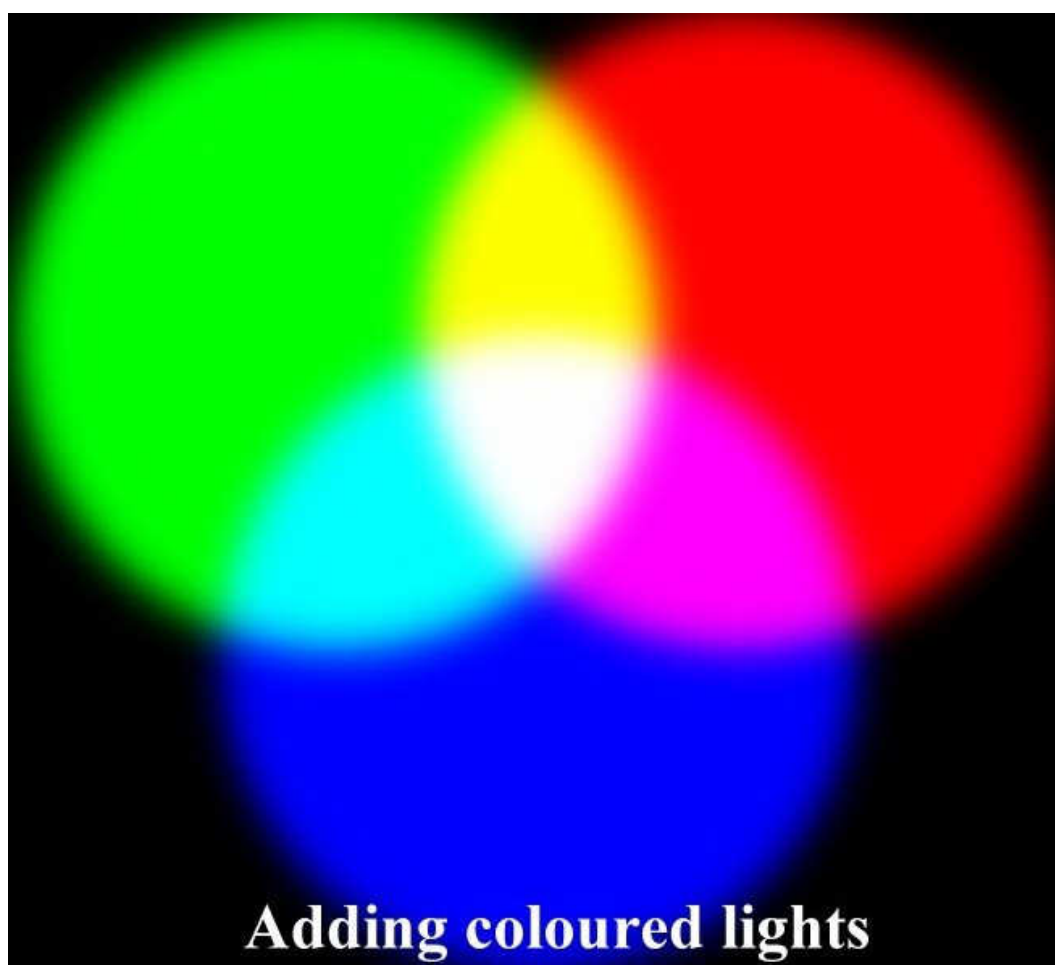
### Addytywne mieszanie barw

Tworzenie wrażeń barwnych przez mieszanie w oku promieniowań odpowiadających różnym barwom.

Układ barw RGB związany z mieszaniem addytywnym stanowią trzy bodźce barwowe odniesienia (barwy główne): czerwona, zielona i niebieska.

Addytywne mieszanie barw wykorzystywane jest m.in. w:

- telewizorach,
- monitorach.





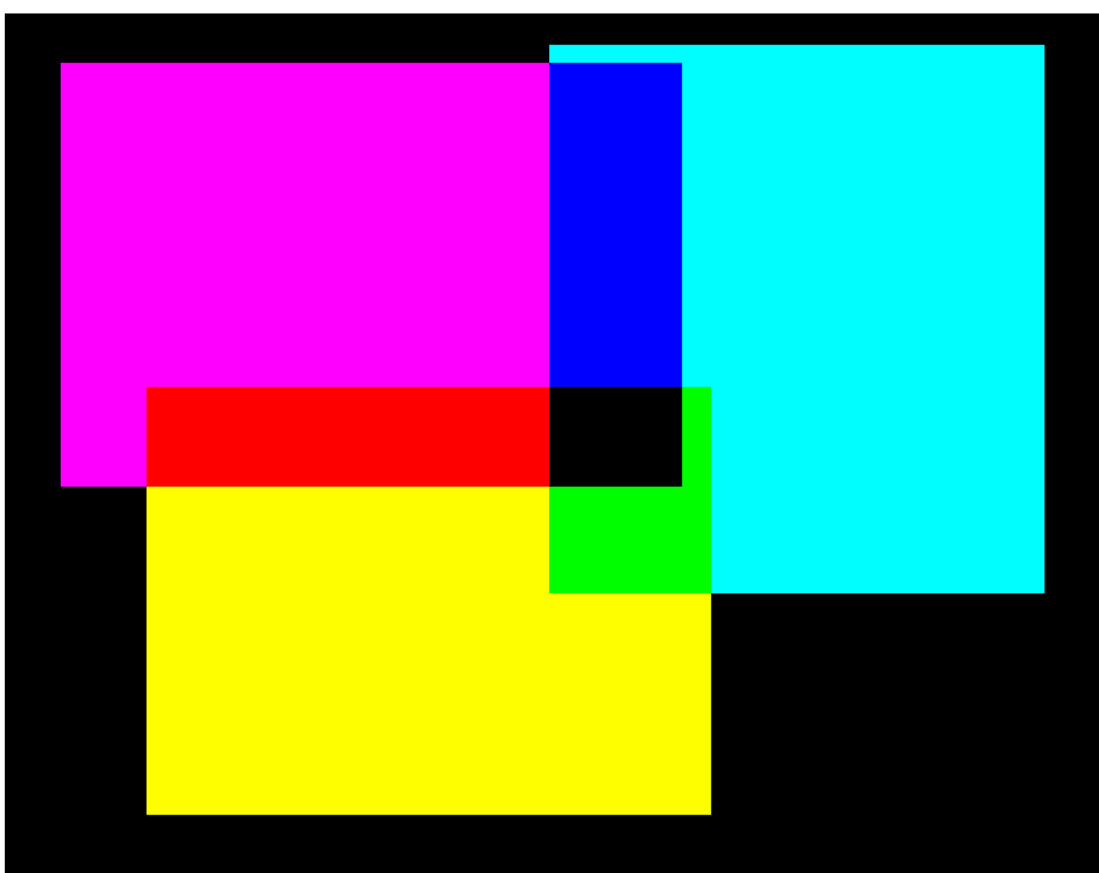
## Subtraktywne mieszanie barw

Uzyskiwanie wrażeń barwnych pod wpływem promieniowania białego, z którego pochłania się kolejno promieniowania różnych barw. Jest to mieszanie barwników.

Układ barw CMY związany z mieszaniem subtraktywnym stanowią trzy bodźce barwowe odniesienia (barwy główne): turkusowa (niebiesko-zielona), purpurowa i żółta. W układach CMYK dodaje się czwarty barwnik – czarny.

Subtraktywne mieszanie barw wykorzystywane jest w:

- drukarkach,
- przez malarzy.



### Mieszanie barw – barwy dopełniające

Bodźce barwowe mają swoje barwy dopełniające.

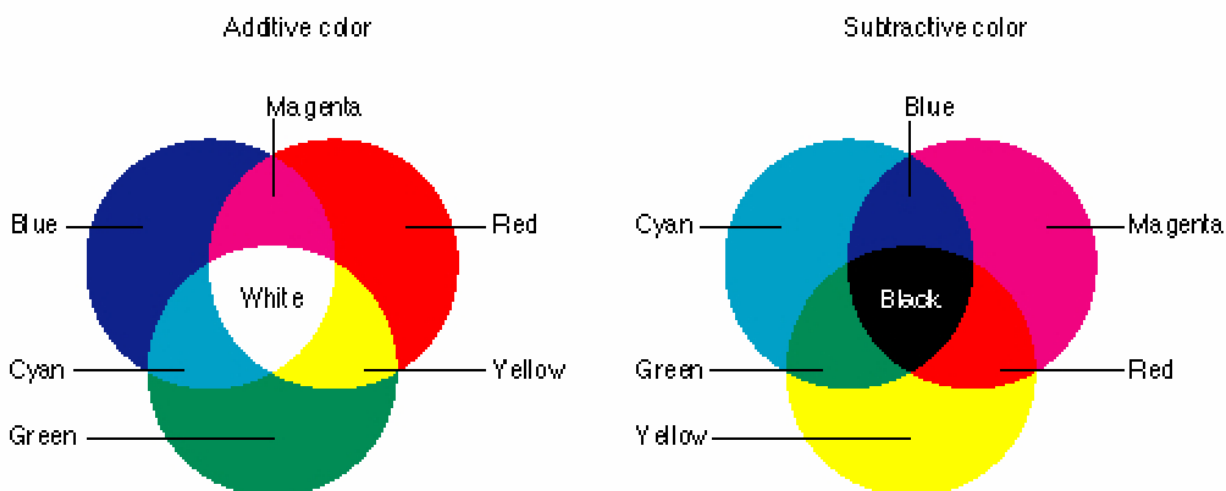
W mieszaninie addytywnej dwóch barw powstaje wtedy barwa biała, a w mieszaninie subtraktywnej – barwa czarna.

#### Przykłady barw dopełniających

czerwony (Red) – niebieskozielony (Cyan)

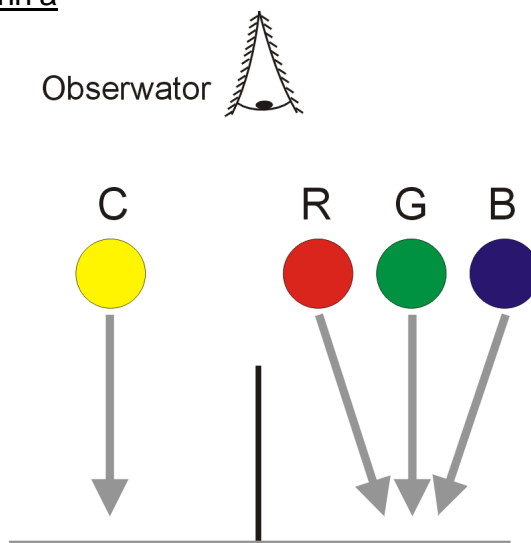
zielony (Green) – purpurowy (Magenta)

niebieski (Blue) – żółty (Yellow)



## Prawa Grassmann'a (1853r.), układ kolorymetryczny RGB

### Pierwsze prawo Grassmann'a



Rys. 8. Ilustracja doświadczenia potwierdzającego pierwsze prawo Grassmann'a. Powierzchnia podzielona jest za pomocą przesłony na dwie części. Jedną część oświetlona jest źródłem światła o barwie C. Drugą część oświetlona jest trzema źródłami światła R (czerwone), G (zielone) i B (niebieskie), dla których możemy regulować ilość światła. Regulując ilością światła wysyłanego przez źródła światła R, G i B obserwator ma za zadanie dokonać zrównania barwy dwóch części obserwowanych powierzchni.

Każdy bodziec barwny może być odtworzony przez addytywne mieszanie trzech bodźców niezależnych. Bodźce niezależne to takie, których nie da się odtworzyć poprzez zmieszanie dwóch pozostałych.

$$C = n_R \cdot R + n_G \cdot G + n_B \cdot B$$

Nie zawsze da się uzyskać równowagę barw. Niekiedy barwę czerwoną R należy przenieść na stronę barwy C.

$$C = -n_R \cdot R + n_G \cdot G + n_B \cdot B$$

W układzie kolorymetrycznym RGB CIE 1931 bodźce barwowe odniesienia stanowią barwy monochromatyczne o następujących długościach fali:

R:  $\lambda = 700 \text{ nm}$

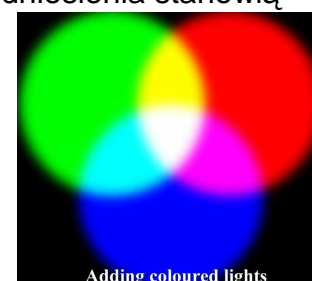
G:  $\lambda = 546,1 \text{ nm}$

B:  $\lambda = 435,8 \text{ nm}$

### **Metameryzm**

Bodźce barwowe o różnym składzie widmowym mają takie same składowe trójchromatyczne (taką samą barwę).

Np. barwa żółta monochromatyczna (575-590nm) jest metameryczna z żółtą wywołaną przez mieszaninę promieniowania zielonego (540-560nm) i czerwonego (600-700nm).



## Układ kolorymetryczny XYZ

Stworzono nowy układ kolorymetryczny **XYZ CIE 1931**, który nie posiada niektórych wad układu **RGB**. Jest to układ barw fikcyjnych, którego bodźce barwowe odniesienia nie można odtworzyć w laboratorium. Najważniejsze cechy układu:

- współrzędne wszystkich barw mają wartości dodatnie,
- jedna ze składowych jest proporcjonalna do luminancji,
- punkt odpowiadający barwie białej znajduje się w środku trójkąta barw.

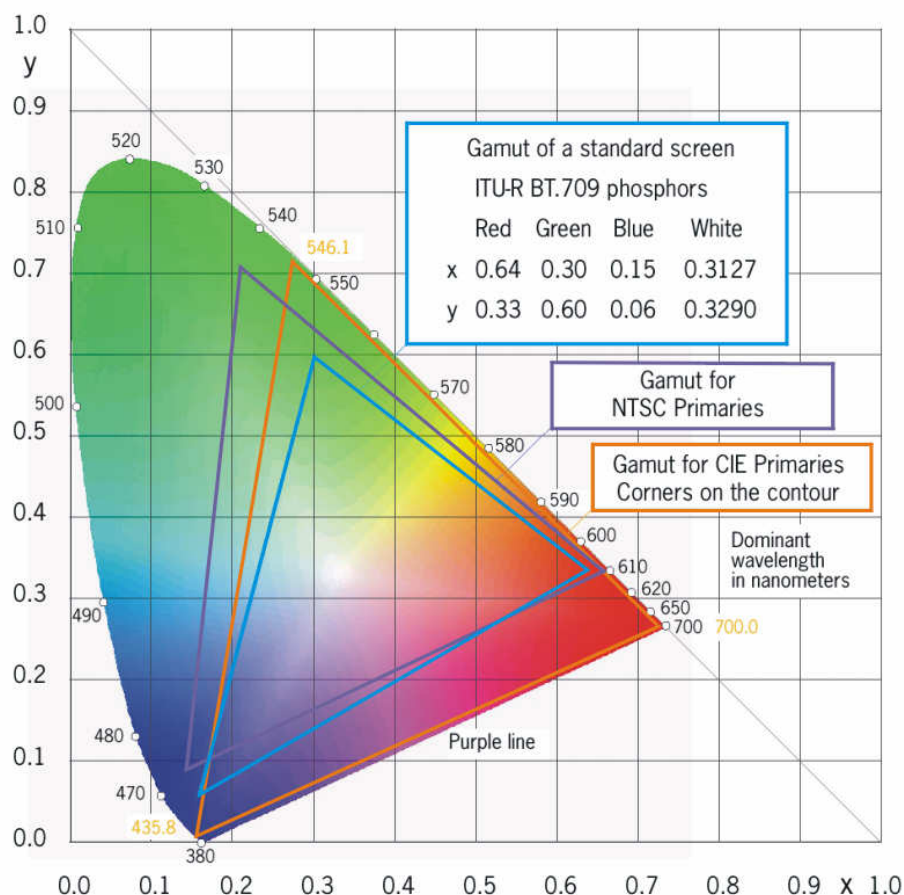
**Trójkąt barw** pokazuje wszystkie barwy jakie człowiek jest w stanie postrzegać. Położenie barwy na trójkącie barw przedstawia się w postaci **współrzędnych chromatyczności x, y**.

**Linia barw widmowych** stanowi obwiednię trójkąta barw. Na linii barw widmowych leżą barwy o największym nasyceniu. Barwy leżące bliżej środka trójkąta barw mają mniejsze nasycenie.

**Punkt bieli** pokazuje barwę o zerowym nasyceniu.

**Linia purpur i trójkąt purpur** przedstawiają barwy których nie można uzyskać przez rozszczepienie światła białego. Uzyskuje się je przez zmieszanie barwy czerwonej z niebieską.

**Gamut** to zakres barw określający granice możliwości odwzorowania barw przez dane urządzenie (monitor, drukarka, skaner).



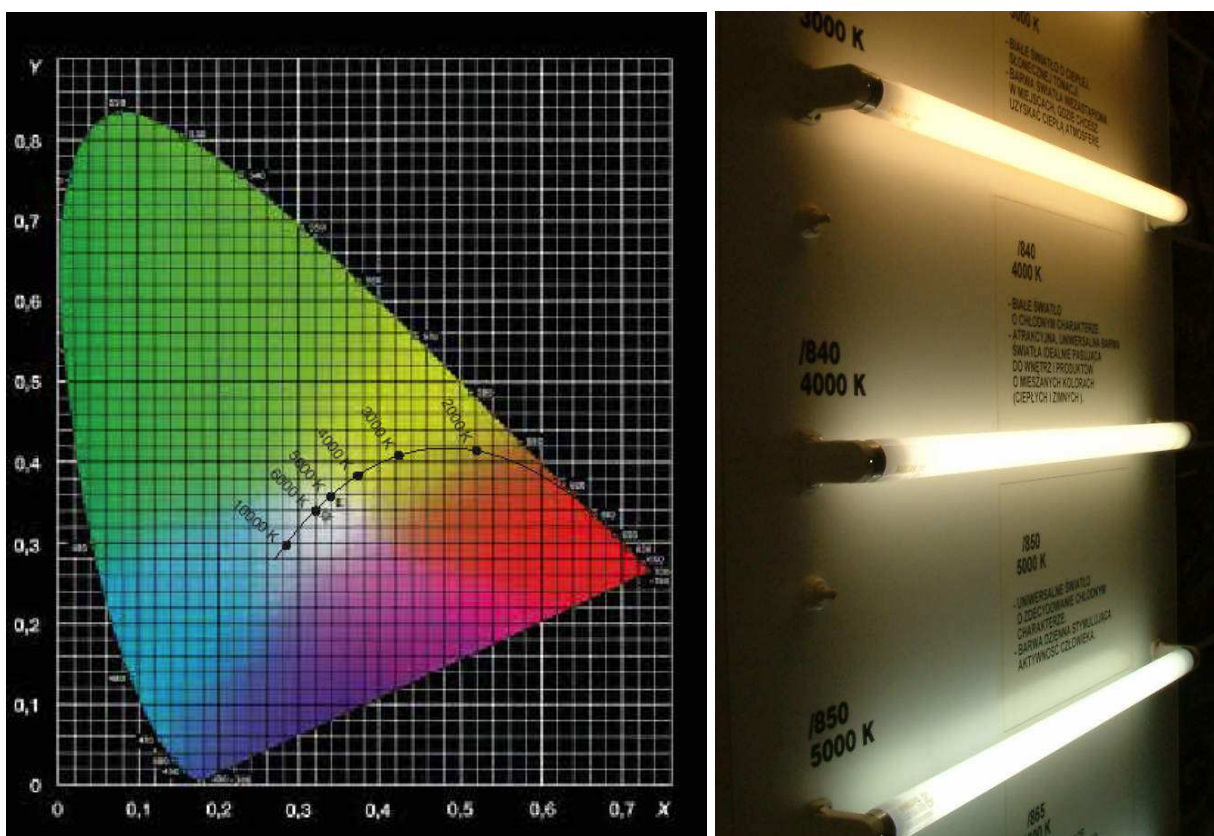
Rys. 9. Trójkąt barw układu kolorymetryczny XYZ CIE 1931.

## Temperatura barwowa.

**Ciało czarne** to idealne ciało emitujące promieniowanie termiczne. Pochłania ono cały zakres promieniowania elektromagnetycznego jakie na nie pada.

**Krzywa barwy ciała czarnego** to krzywa łącząca punkty barwy ciała czarnego, które podgrzewa się do temperatury  $T$ .

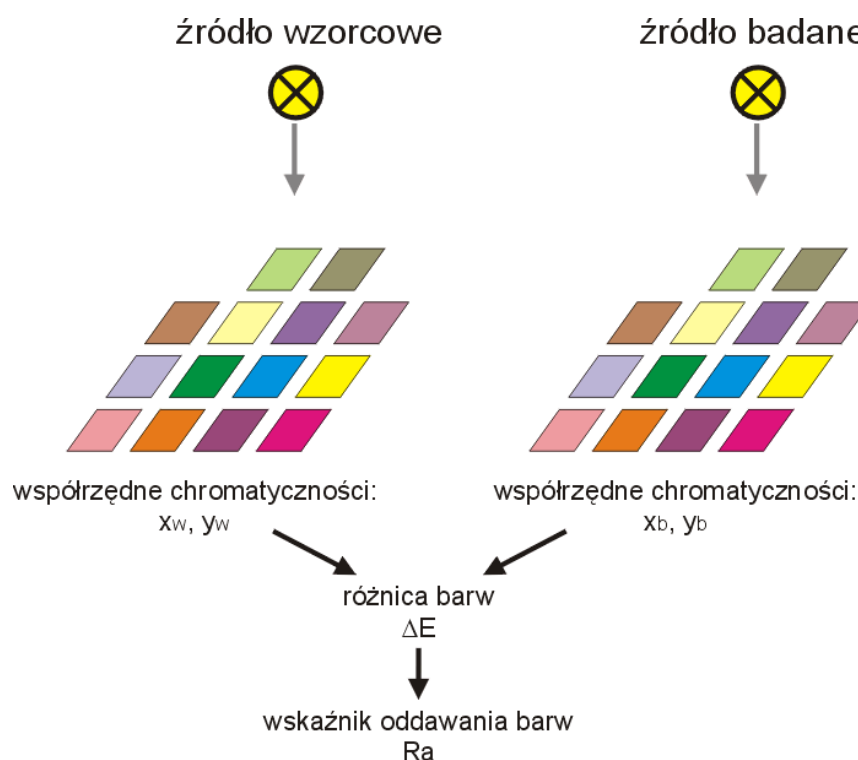
**Temperatura barwowa  $T_b$**  (podawana w Kelwinach) to temperatura ciała czarnego, w której ma ono taką samą barwę jak barwa badanego obiektu.



Rys. 10. Trójkąt barw układu kolorymetryczny XYZ CIE 1931 z zaznaczoną krzywą barwy ciała czarnego oraz zdjęcie trzech świetlówek, które posiadają różne temperatury barwowe.

### Wskaźnik oddawania barw Ra (CRI)

Określa stopień zniekształcenia kolorymetrycznego (różnice barw) czternastu próbek barwnych oświetlonych raz światłem pochodzącym od źródła wzorcowego i dwa pochodzącym o źródła badanego. Obliczana jest różnica barwy i na jej podstawie wskaźnik oddawania barw Ra. Maksymalna wartość wskaźnika oddawania barw wynosi 100.

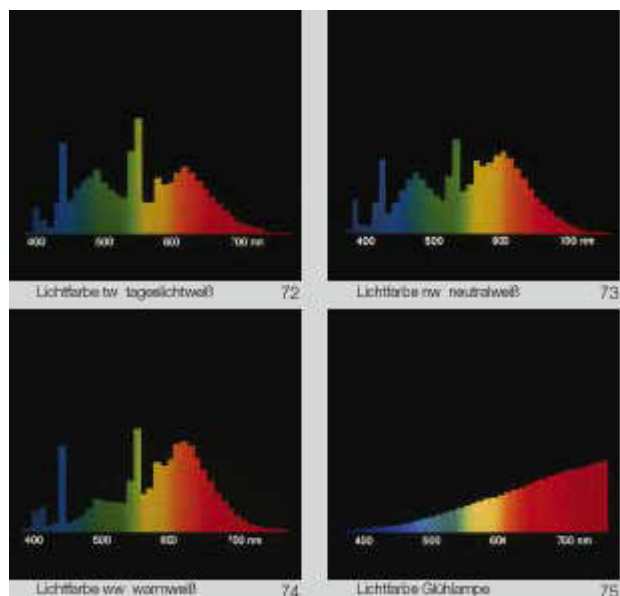


Rys. 11. Schemat wyznaczenia wskaźnika oddawania barw Ra.

Wskaźnik oddawania barw – grupy		
Grupa	Wartość wskaźnika Ra	Opis oddawania barw
1A	90 – 100	bardzo dobre oddawanie barw
1B	80 – 90	dobre oddawanie barw
2	60 – 80	średnie oddawanie barw
3	40 – 60	słabe oddawanie barw
4	20 - 40	bardzo słabe oddawanie barw

### Zniekształcenie barw przedmiotów oświetlonych przez różne źródła światła

Barwy przedmiotów oświetlonych źródłami światła o różnych rozkładach widmowych mogą być zniekształcone.



Rys. 12. Rozkłady widmowe trzech świetlówek i żarówki.



Rys. 13. Zniekształcenia barw przedmiotów oświetlonych różnymi źródłami światła.

## System oceny oddawania barw CRV (Colour Rendering Vector)

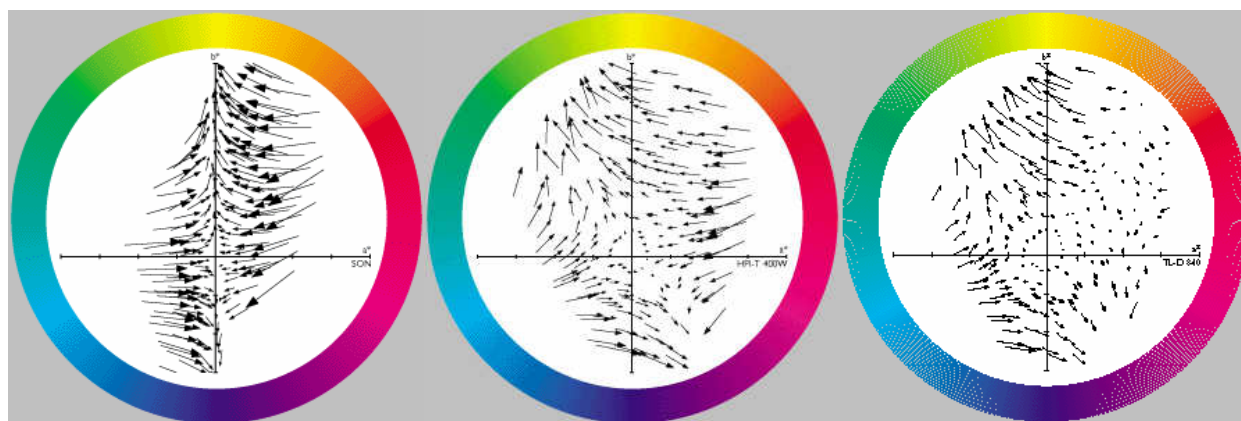
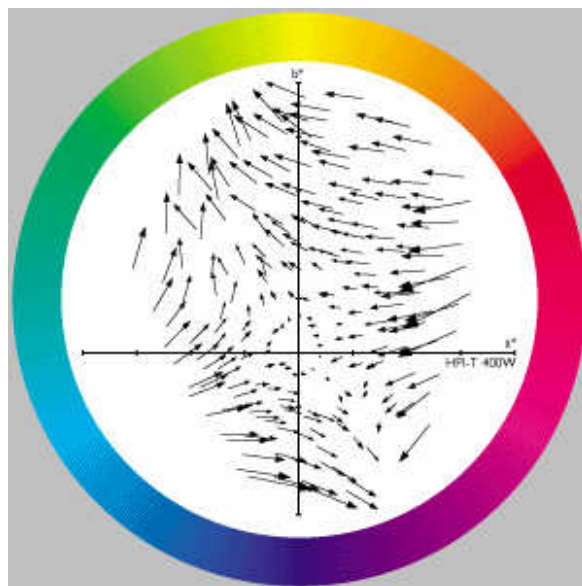
Zdolność oddawania barw źródła światła poddawanego testowi sprawdzana jest dla każdej z 215 barw i porównywana z wzorcowym źródłem światła.

Na diagramie **CRV** zniekształcenia barwne pokazano za pomocą wektora skierowanego od naturalnej barwy (obserwacja w świetle źródła wzorcowego) do postrzeganej barwy (obserwacja w świetle źródła badanego).

Kierunek wektora wskazuje kierunek odchylenia barwy. Wektor skierowany ku krawędzi okręgu oznacza wzrost nasycenia barwy, skierowany ku jego środkowi - spadek nasycenia.

Początek i koniec wektora wskazują odpowiednio rzeczywistą barwę (w świetle wzorcowego źródła światła) i barwę postrzeganą (w świetle badanego źródła światła).

Długość wektora ukazuje wielkość odchylenia barwy.



Rys. 14. Diagramy CRV dla lampy: sodowej (SON), metalohalogenkowej (HPI-T 400W) i świetlówki (TL-D 840).



## Inne układy kolorymetryczne

### Przemysłowy atlas barw RAL

ponad 70 lat temu powstał wzornik kolorów RAL opracowany przez niemiecką Komisję Rzeszy ds. Warunków Dostaw. Instytucja ta zajmowała się cechowaniem wyrobów, normalizacją, jakością i przeprowadzaniem badań. Właśnie od skrótu niemieckiej nazwy tej instytucji Reichsausschuss für Lieferbedingungen powstała nazwa palety barw RAL.

Po wojnie funkcje tej instytucji przejął Niemiecki Instytut ds. Zapewnienia Jakości i Cechowania (RAL Deutsches Institut für Gutensicherung und Kennzeichnung). Pełen system zawiera około 1,7 tys. kolorów. Każdy z kolorów RAL oznaczony jest czterocyfrowym symbolem, który określa położenie w kole barw systemu. Najczęściej używany jest podstawowy zestaw kolorów o nazwie RAL K-7.



