

GRAFIKA KOMPUTEROWA

Wykład 2: postrzeganie barw

Tymon Rubel

Zakład Elektroniki Jądrowej i Medycznej
Instytut Radioelektroniki i Techniki Multimedialnych PW

Materiały opracowane w ramach zadania 15 „Modyfikacja międzywydziałowych studiów I stopnia na kierunku Inżynieria Biomedyczna” projektu „NERW PW. Nauka - Edukacja - Rozwój - Współpraca”, współfinansowanego jest ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego



Fundusze Europejskie
Wiedza Edukacja Rozwój

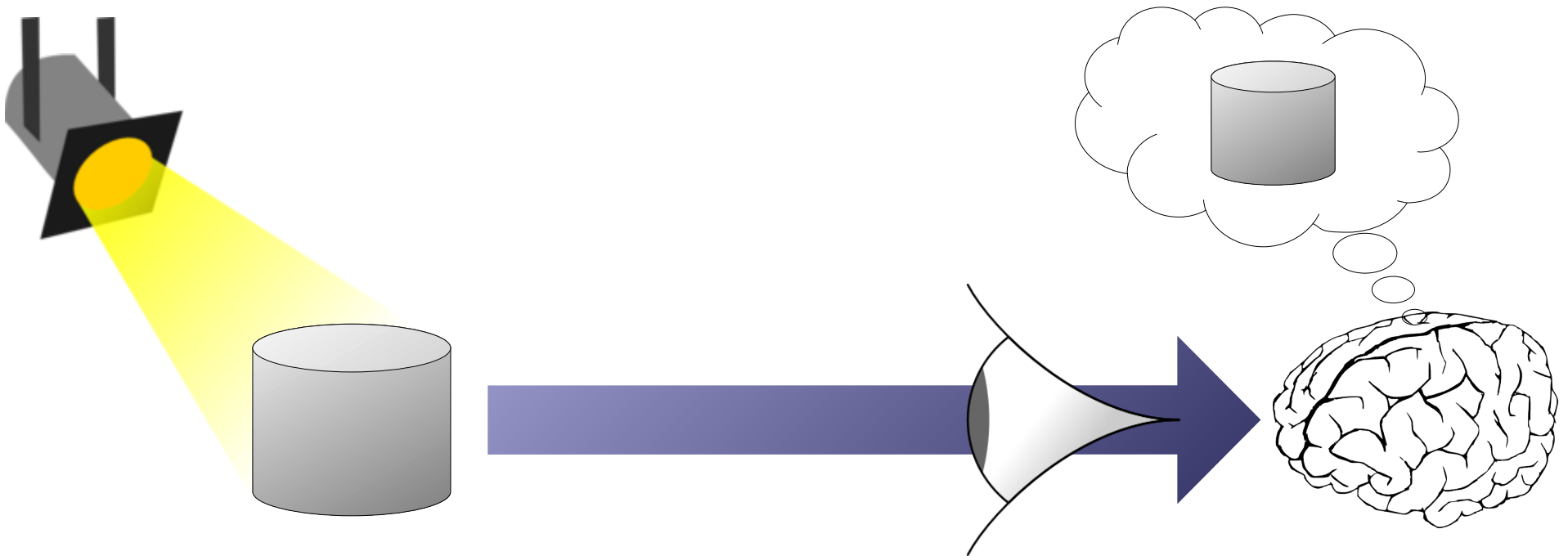
**Politechnika
Warszawska**

Unia Europejska
Europejski Fundusz Społeczny



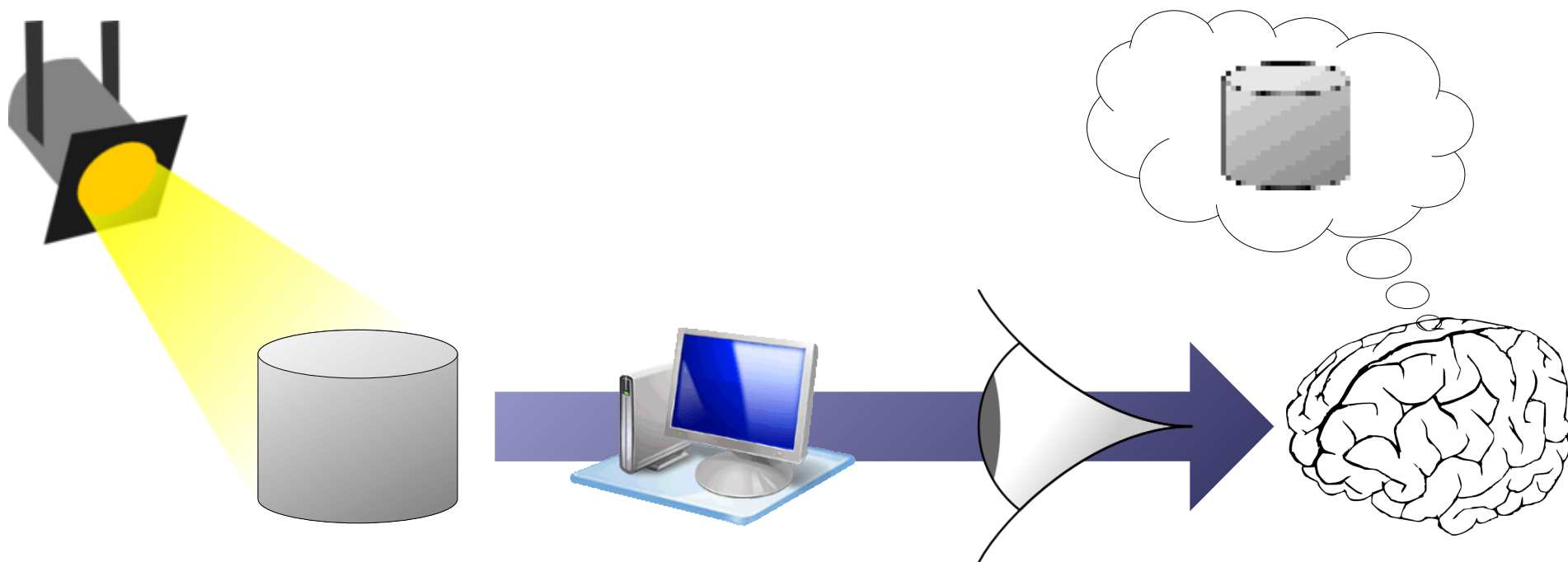
Postrzeganie barw

Barwa nie jest cechą jednoznacznie przypisaną obiektom, a jedynie wrażeniem percepcyjnym powstającym na skutek pobudzenia narządu wzroku przez światło widzialne. Stąd na postrzeganie barw wpływają zarówno **źródło światła** i **właściwości obiektu**, jak i **charakterystyka systemu wzrokowego** oraz **sposób interpretacji wrażeń wzrokowych przez mózg**.



Postrzeganie barw

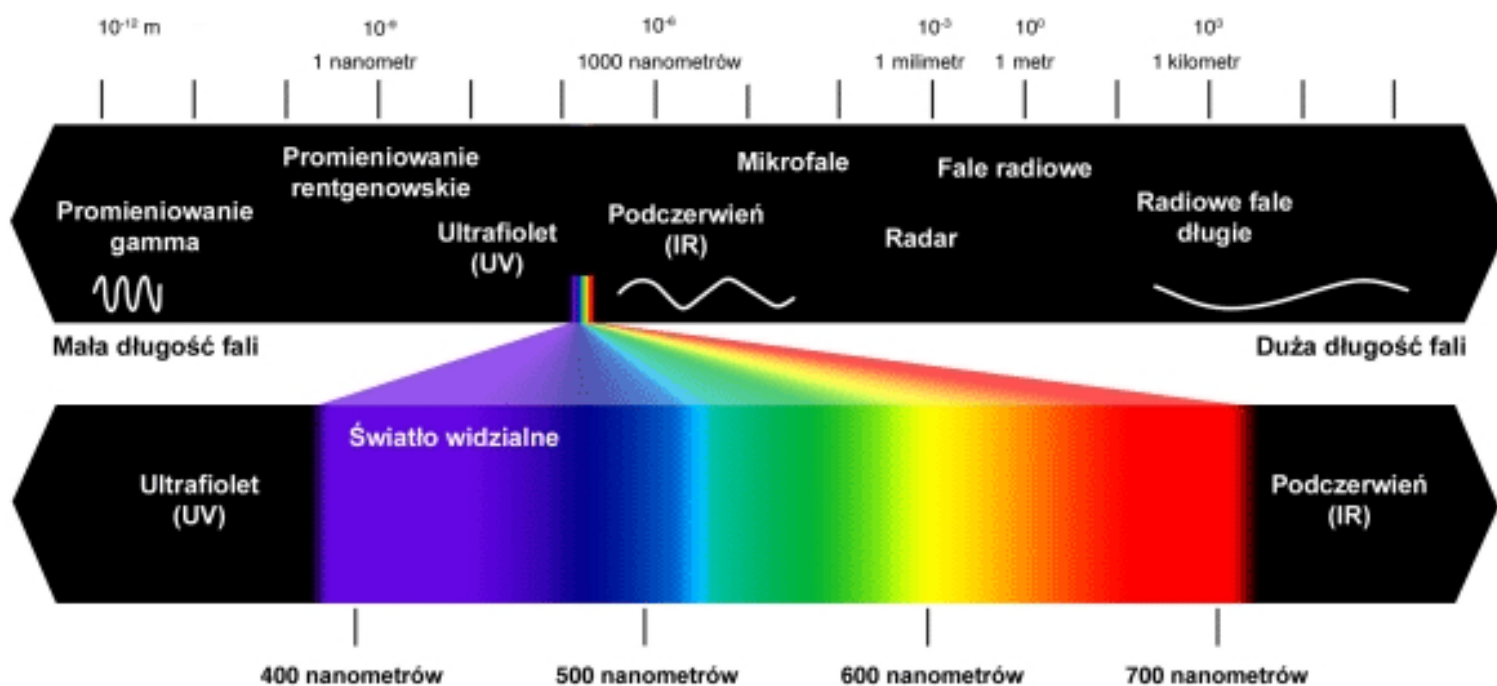
Barwa nie jest cechą jednoznacznie przypisaną obiektom, a jedynie wrażeniem percepcyjnym powstającym na skutek pobudzenia narządu wzroku przez światło widzialne. Stąd na postrzeganie barw wpływają zarówno **źródło światła** i **właściwości obiektu**, jak i **charakterystyka systemu wzrokowego** oraz **sposób interpretacji wrażeń wzrokowych przez mózg**.



W przypadku grafiki komputerowej dodatkowym czynnikiem wpływającym na odbiór barw jest **specyfika cyfrowej reprezentacji sygnałów** oraz **ograniczenia urządzeń wyświetlających lub utrwalających obraz**.

Postrzeganie barw: światło widzialne

Światło widzialne to promieniowanie elektromagnetyczne o długości fali z zakresu, na który reaguje narząd wzroku człowieka (typowo 380 - 740 nm, co odpowiada zakresowi częstotliwości 405 - 790 THz).



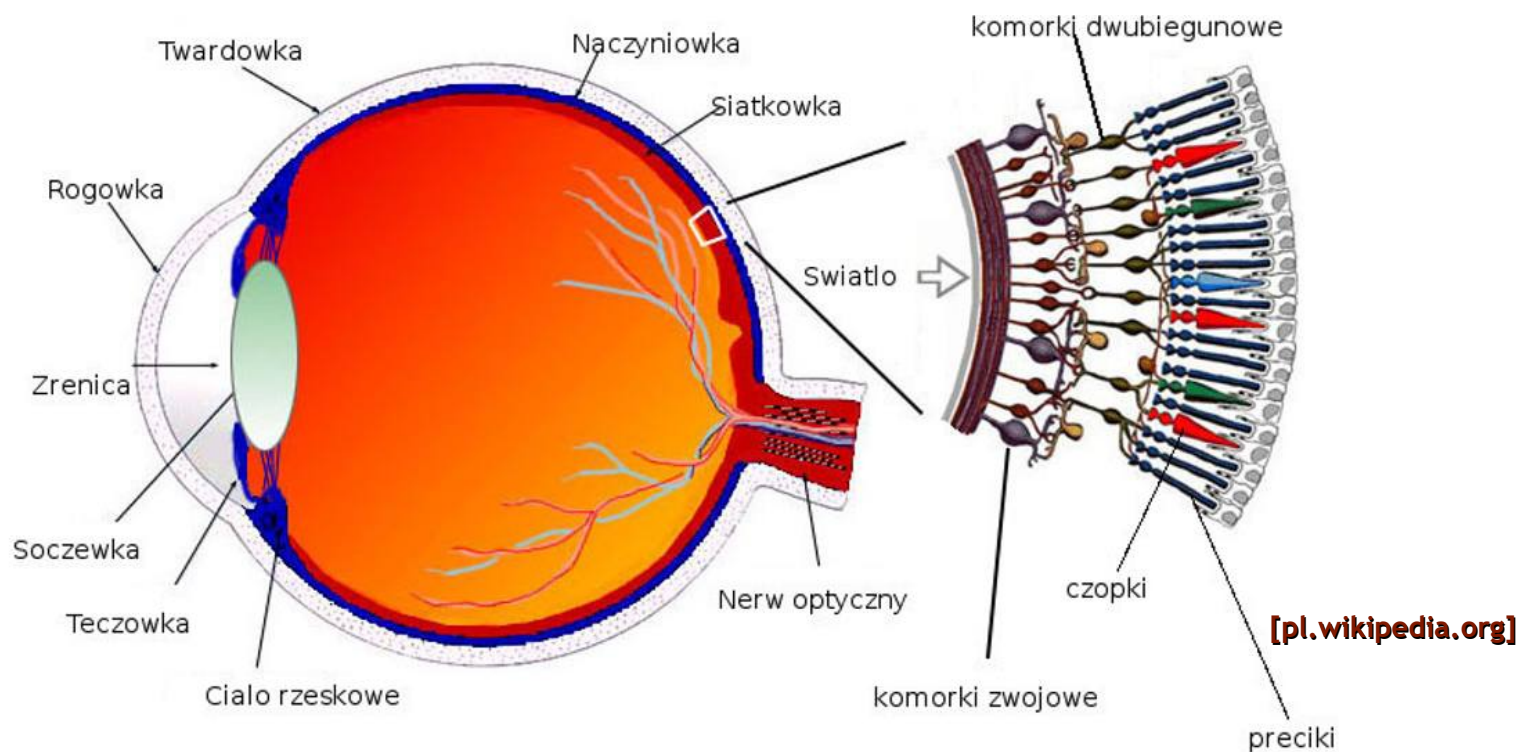
[www.lenalighting.pl]

Postrzeganie barw możliwe jest dzięki zdolności narządu wzroku do rozróżniania długość fali światła, które obiekty emitują, odbijają lub przepuszczają.

Postrzeganie barw: właściwości wzroku

Wrażenia wzrokowe powstają w mózgu w odpowiedzi na pobudzenie receptorów na siatkówce oka. Wyróżniamy dwa rodzaje receptorów:

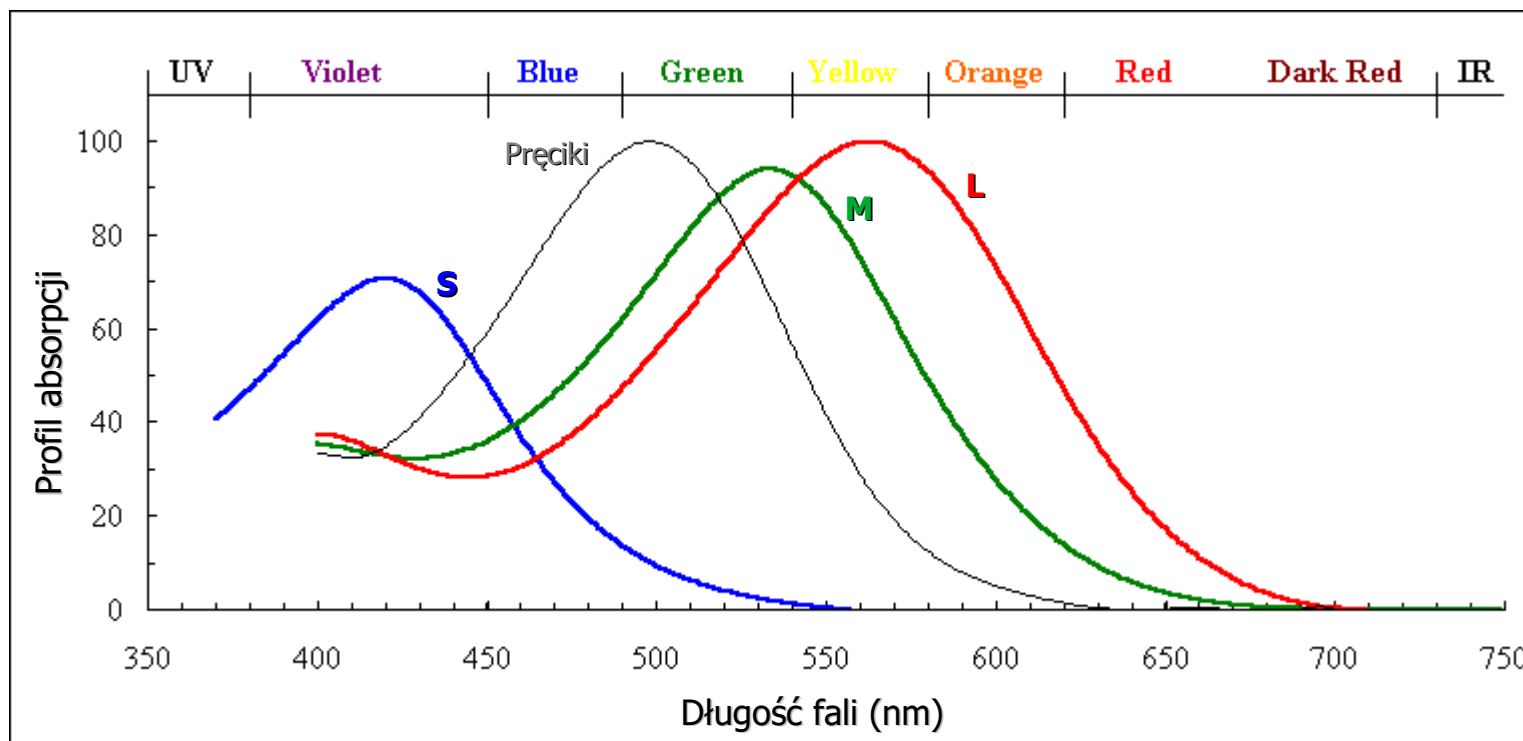
- **pręciki** odpowiadają za widzenie nocne (skotopowe, bez barw), ponad 100 mln na całej siatkówce, charakteryzują się dużą czułością;
- **czopki** związane są z widzeniem dziennym (fotopowym, barwnym), około 6 mln, głównie w obrębie plamki żółtej, mają do stu razy mniejszą czułość od pręcików, występują w trzech odmianach.



Postrzeganie barw: właściwości wzroku

Widzenie barwne jest możliwe dzięki odmiennym charakterystykom absorpcji światła trzech rodzajów czopków:

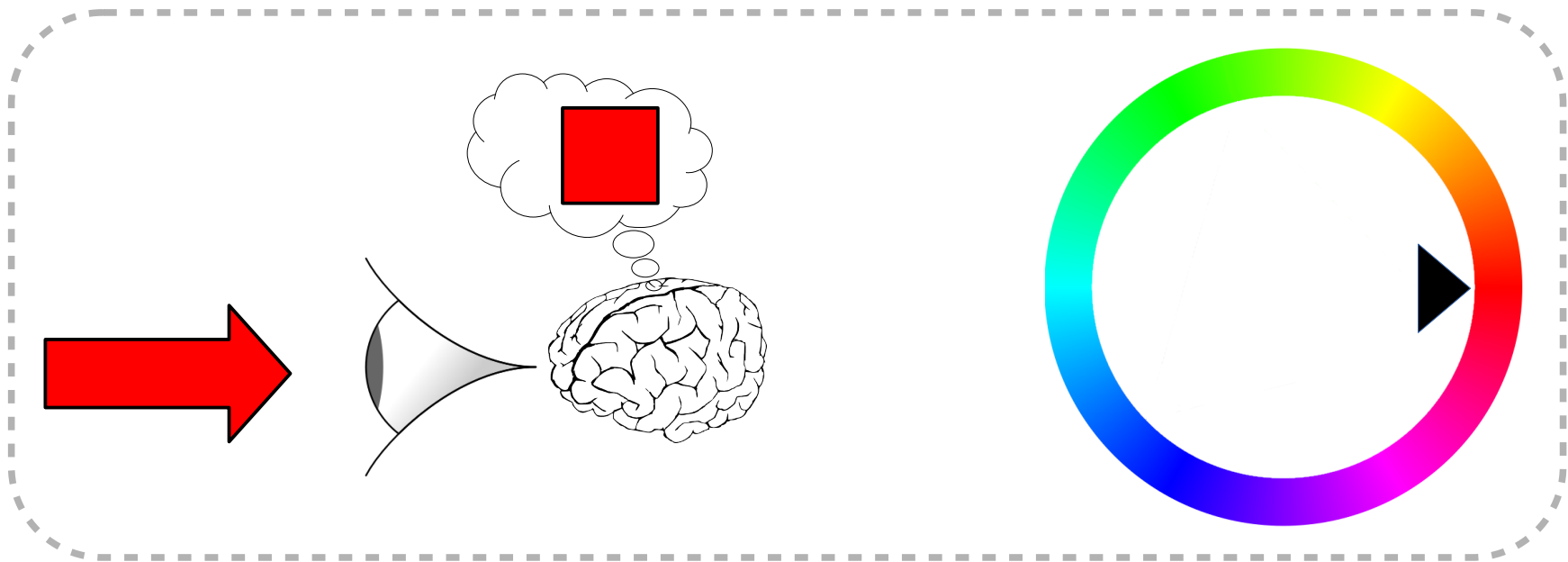
- **S (short-wavelength)** - maksimum absorpcji dla fal o długości 420 nm;
- **M (medium-wavelength)** - maksimum absorpcji dla fal o długości 534 nm;
- **L (long-wavelength)** - maksimum absorpcji dla fal o długości 564 nm.



Postrzeganie barw: barwy proste

Barwy proste (monochromatyczne, widmowe) odpowiadają wrażeniom wzrokowym wywoływanym u obserwatora przez światło o pojedynczej długości fali.

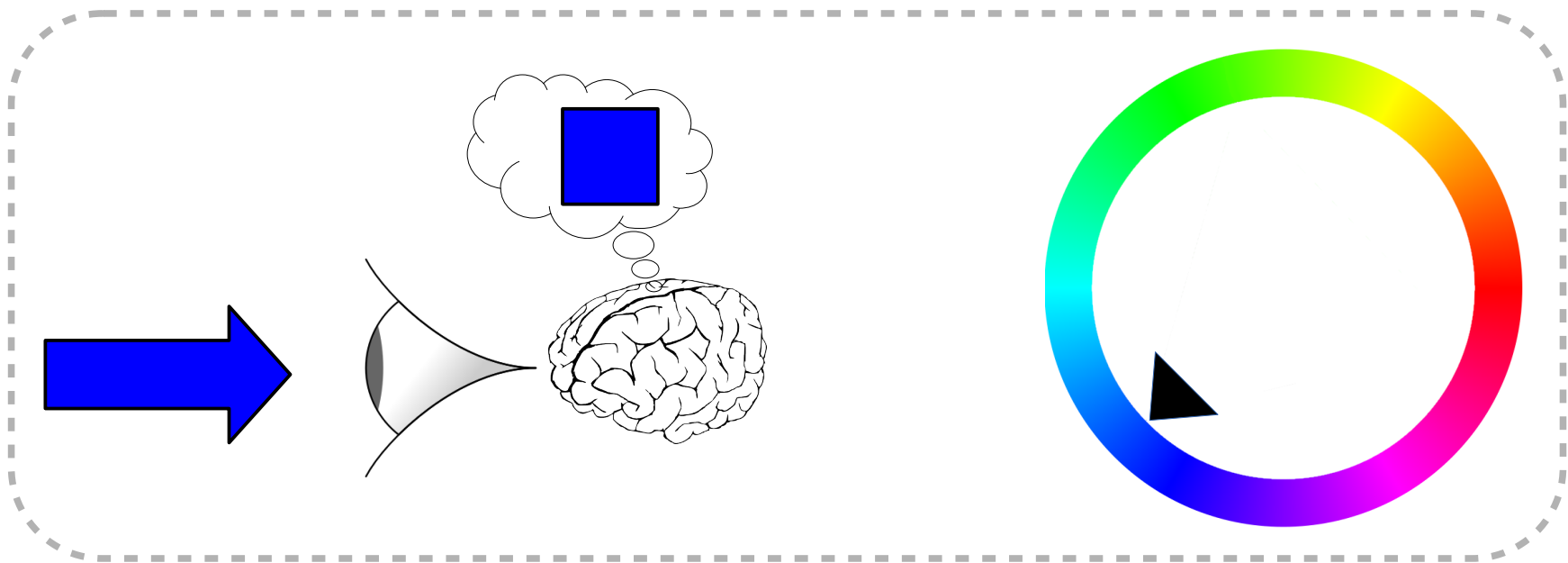
Pełen zakres barw prostych często przedstawiany jest jako **koło barw**. Ciągłe widmo światła widzialnego jest w nie wrysowywane w taki sposób, że dwie skraje barwy (fioletowa i czerwona) płynnie w siebie przechodzą. Barwom **czerwonej**, **zielonej** i **niebieskiej** odpowiadają w kole kąty 0° , 120° i 240°



Postrzeganie barw: barwy proste

Barwy proste (monochromatyczne, widmowe) odpowiadają wrażeniom wzrokowym wywoływanym u obserwatora przez światło o pojedynczej długości fali.

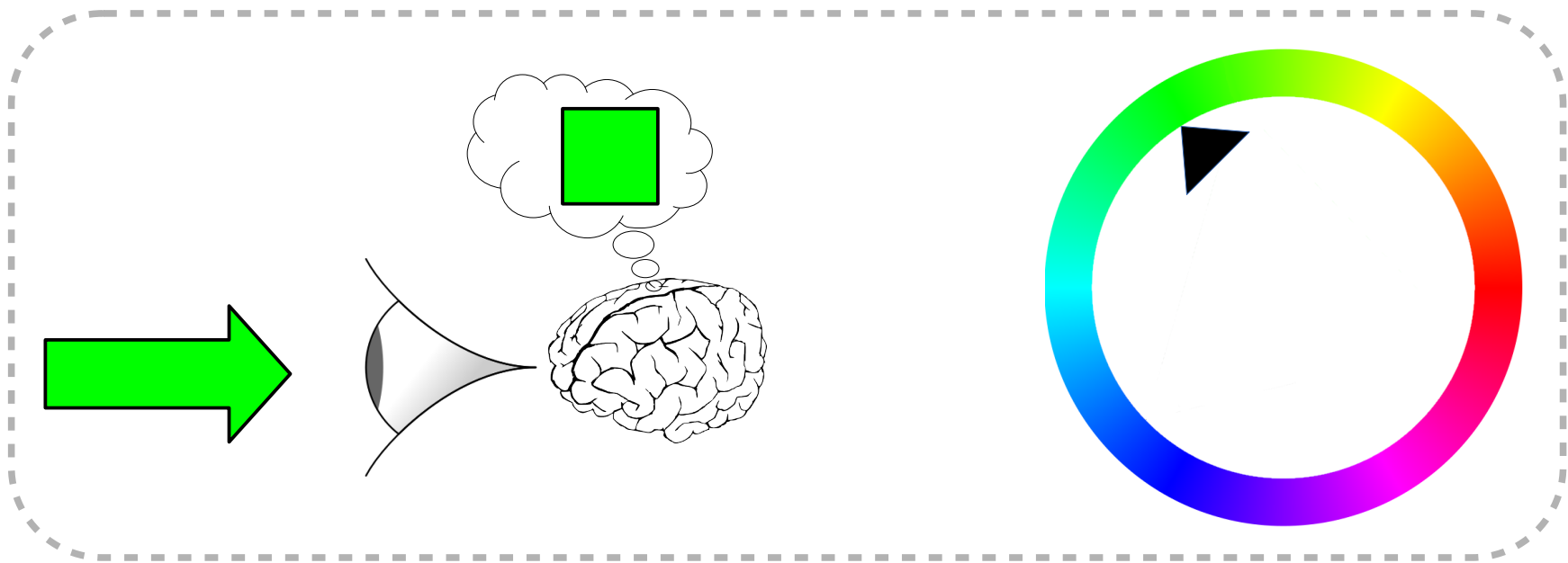
Pełen zakres barw prostych często przedstawiany jest jako **koło barw**. Ciągłe widmo światła widzialnego jest w nie wrysowywane w taki sposób, że dwie skraje barwy (fioletowa i czerwona) płynnie w siebie przechodzą. Barwom **czerwonej**, **zielonej** i **niebieskiej** odpowiadają w kole kąty 0° , 120° i 240°



Postrzeganie barw: barwy proste

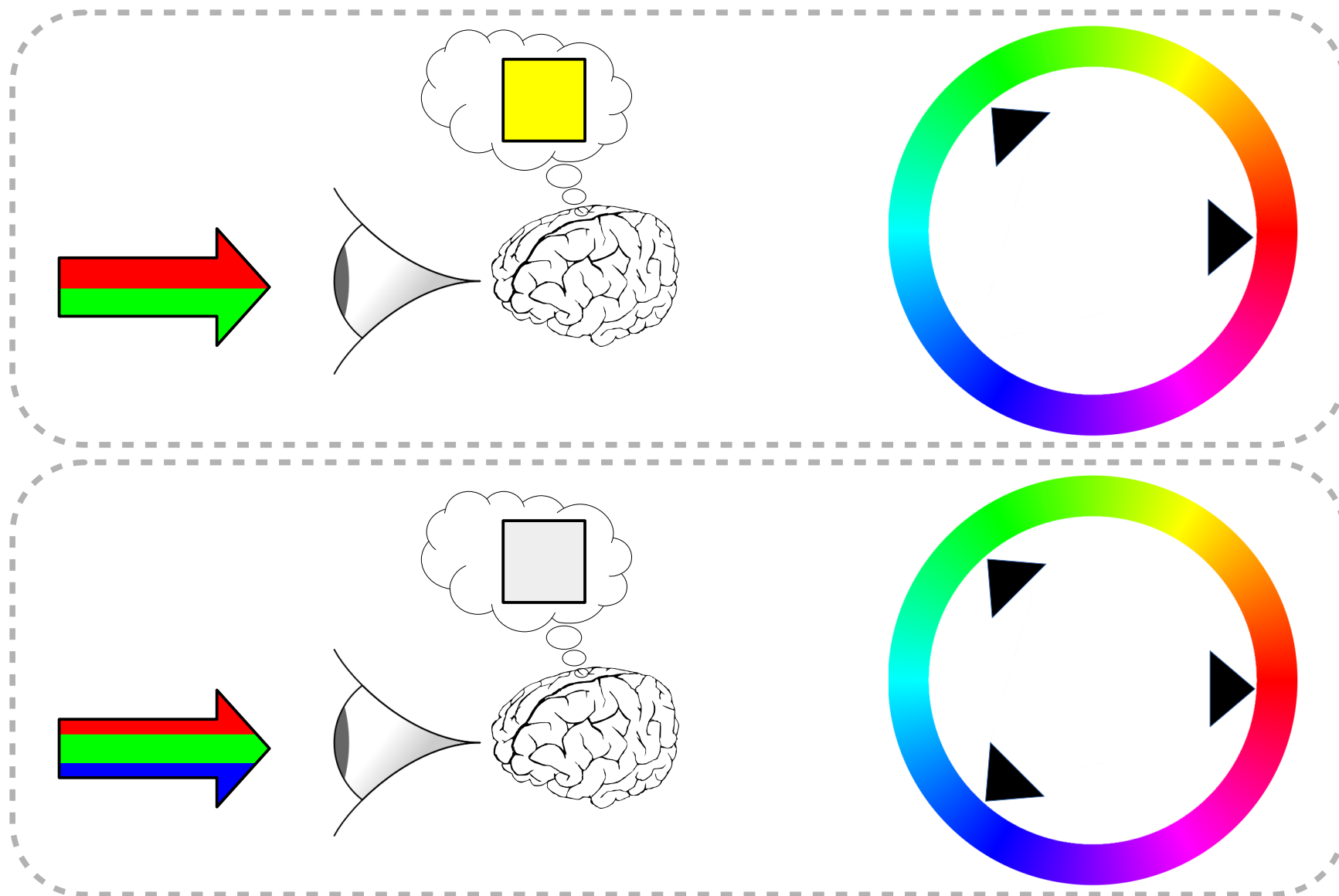
Barwy proste (monochromatyczne, widmowe) odpowiadają wrażeniom wzrokowym wywoływanym u obserwatora przez światło o pojedynczej długości fali.

Pełen zakres barw prostych często przedstawiany jest jako **koło barw**. Ciągłe widmo światła widzialnego jest w nie wrysowywane w taki sposób, że dwie skraje barwy (fioletowa i czerwona) płynnie w siebie przechodzą. Barwom **czerwonej**, **zielonej** i **niebieskiej** odpowiadają w kole kąty 0° , 120° i 240°



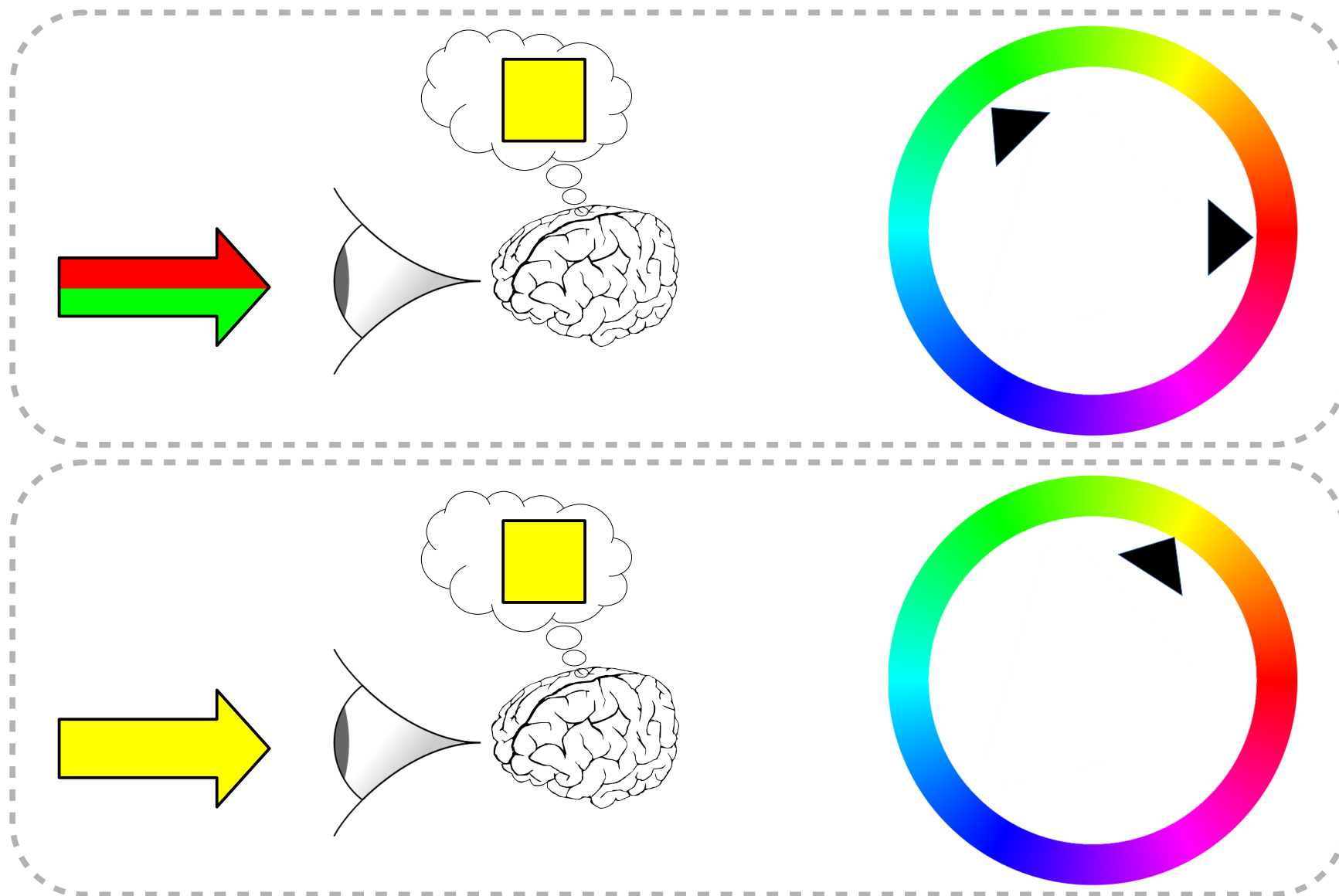
Postrzeganie barw: barwy złożone

Zdecydowana większość rozróżnianych przez człowieka barw to **barwy złożone**, czyli wrażenia wywołane mieszaniną fal elektromagnetycznych o różnych długościach. Co istotne, różny skład widmowy może wywoływać zbliżone lub jednakowe wrażenia.



Postrzeganie barw: barwy złożone

Zdecydowana większość rozróżnianych przez człowieka barw to **barwy złożone**, czyli wrażenia wywołane mieszaniną fal elektromagnetycznych o różnych długościach. Co istotne, różny skład widmowy może wywoływać zbliżone lub jednakowe wrażenia.

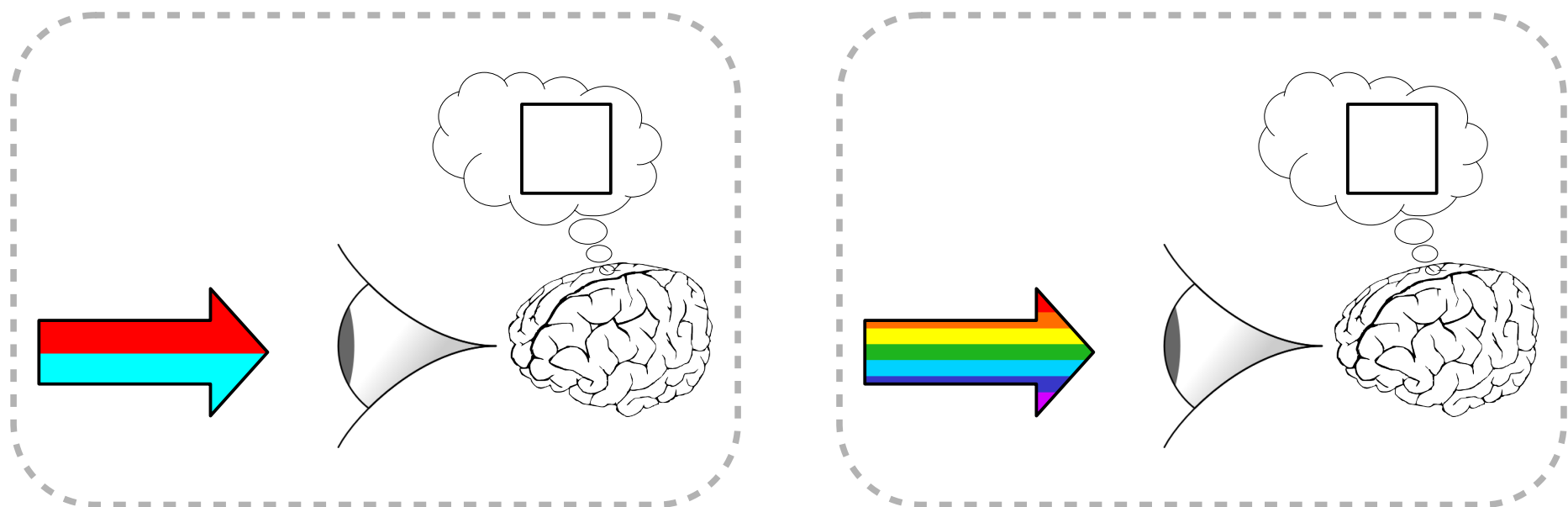


Postrzeganie barw: barwy achromatyczne

Barwy achromatyczne („bezbarwne”) nie posiadają dominującego odcienia. Oznacza to, że nie wywołują wrażenia podobieństwa do którejkolwiek z barw prostych.

Tworzą one tzw. **skalę szarości**, rozciągającą się od **czerni** (odpowiadającej brakowi pobudzenia), do **bieli**, czyli barwy achromatycznej odbieranej przez człowieka jako najjaśniejsza w otoczeniu.

Biel oraz szarości są zrównoważonymi mieszaninami barw prostych. W najprostszym przypadku mogą powstać z promieniowania o dwóch długościach fali (o **barwach dopełniających**). Częściej jednak zawierają trzy lub większą liczbę składowych, aż do pełnego widma, jak w przypadku światła słonecznego.



Postrzeganie barw: barwy achromatyczne

Nie istnieje jedna konkretna barwa biała - zamiast tego mamy do czynienia z całym zakresem barw, a tzw. **punkt bieli** jest umowny i zależny od otoczenia.

Do opisu bieli używa się **temperatury barwowej**, która wyrażana jest w kelwinach i definiowana w odniesieniu do widma promieniowania ciała doskonale czarnego:



1800 K - barwa światła świeczki;

2000 K - barwa lampy sodowej;

2700 K - barwa klasycznej żarówki;

4000 K - barwa lampy halogenowej;

4800 K - barwa słoneczna;

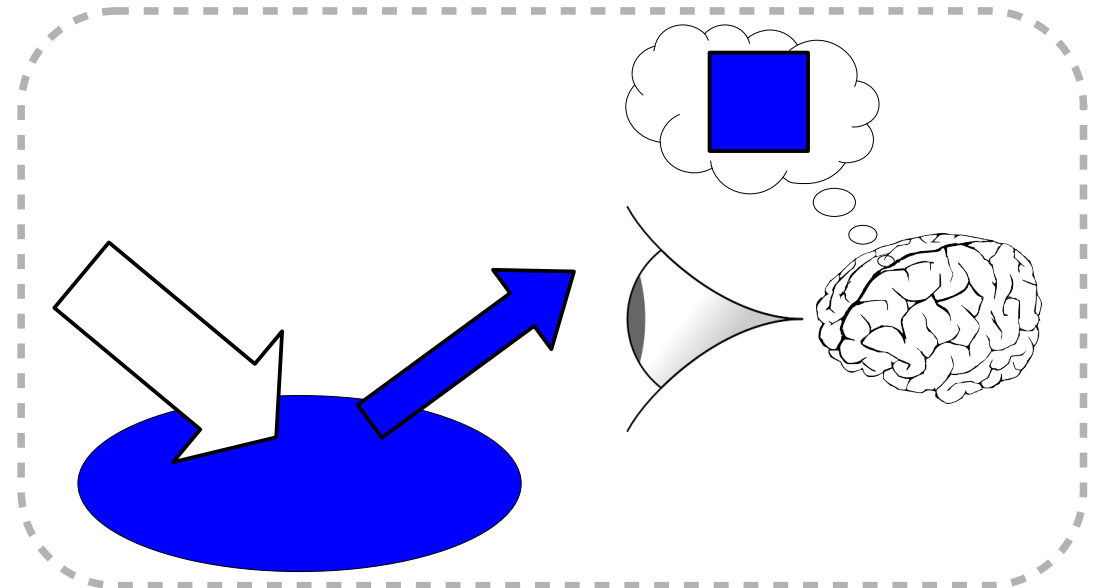
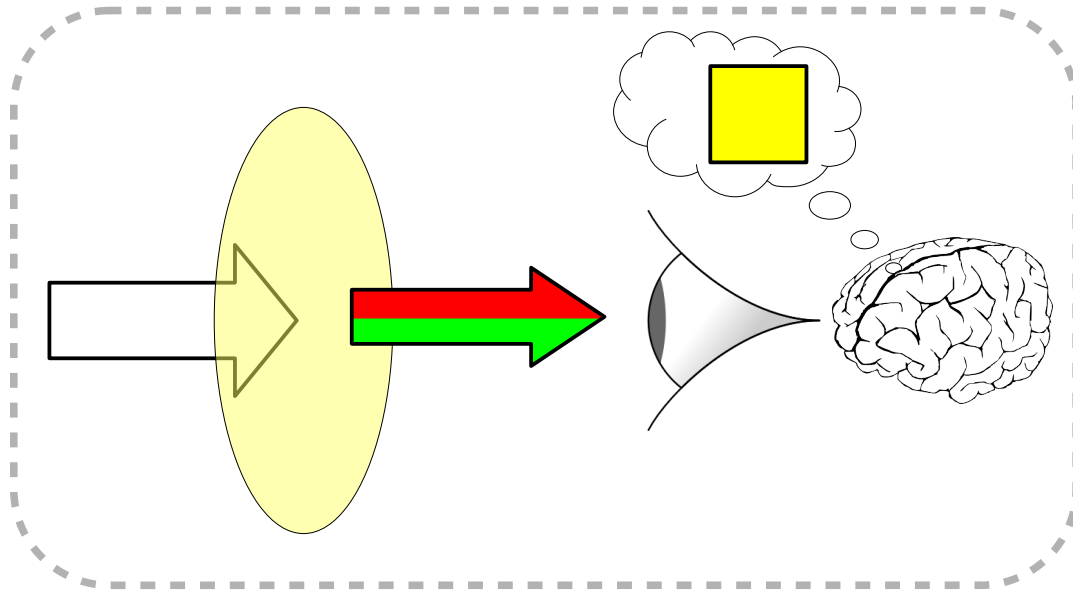
5500-6000 K - barwa dzienna;

7000-7500 K - barwa dzienna zimna;

10000-15000 K - barwa czystego zimowego nieba.

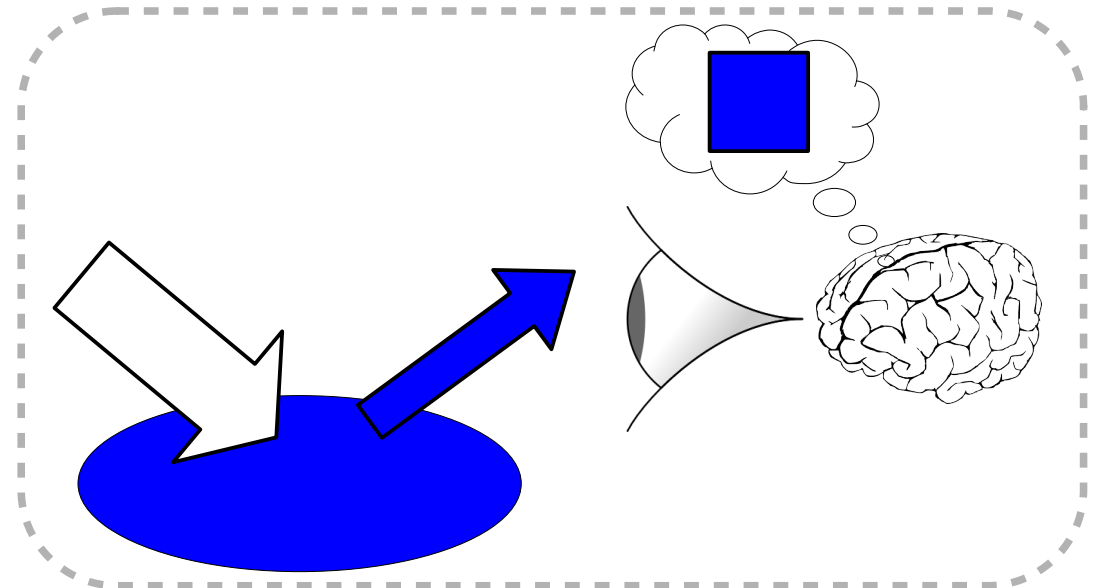
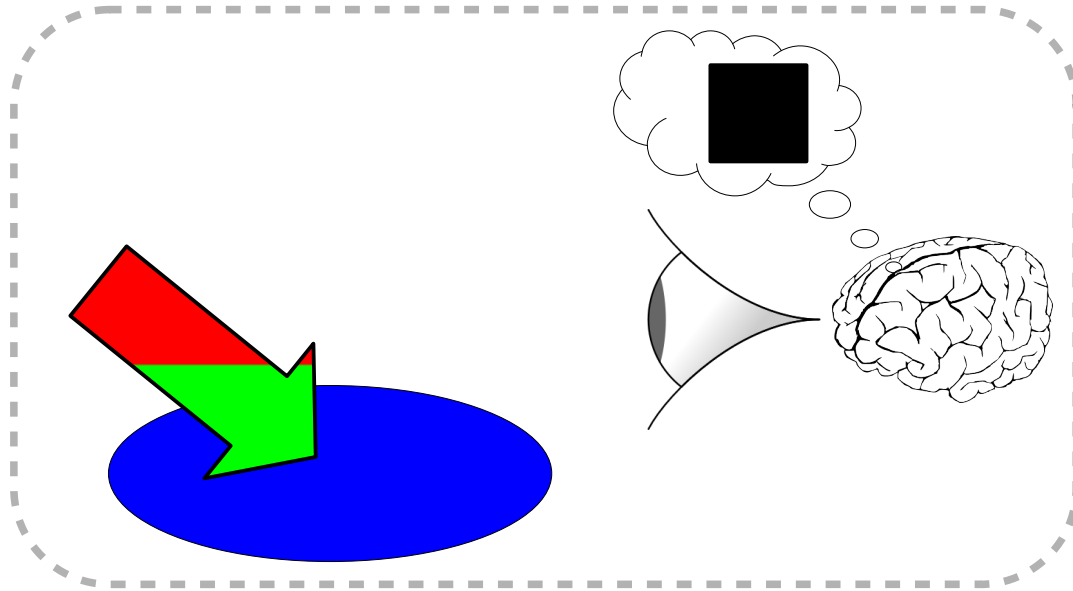
Postrzeganie barw: właściwości obiektów a percepcja barw

W kontekście percepcji barw, obiekty opisywane są charakterystykami odbijania oraz absorpcji światła o różnych długościach fal. Wrażenie barwne powstaje na podstawie składowych światła, które nie zostały pochłonięte w wyniku interakcji w obiektem.



Postrzeganie barw: właściwości obiektów a percepcja barw

Oznacza to, że barwa obiektu zależy zarówno od jego właściwości, jak i od składu widmowego światła, które na niego pada (jest to **zjawisko metameryzmu barw**).



GRAFIKA KOMPUTEROWA

Wykład 2: modele przestrzeni barw

Tymon Rubel

Zakład Elektroniki Jądrowej i Medycznej
Instytut Radioelektroniki i Techniki Multimedialnych PW

Znajomość właściwości ludzkiego narządu wzroku jest podstawą do tworzenia **modeli przestrzeni barw**, w których **barwy opisywane są za pomocą skończonego zbioru parametrów lub składowych (najczęściej trzech)**.

Niestety złożoność problemu powoduje, że trudno opracować uniwersalny model, równie użyteczny we wszystkich zastosowaniach praktycznych. Należy też pamiętać, że nie każdy model jest w stanie objąć wszystkie barwy widziane przez człowieka.

Przykłady modeli związanych ze sprzętem wyświetlającym lub utrwalającym obraz:

- **RGB**
- **CMY [K]**

Przykłady modeli wynikających ze sposobu opisu barw przez człowieka:

- **HSV**
- **HLS**

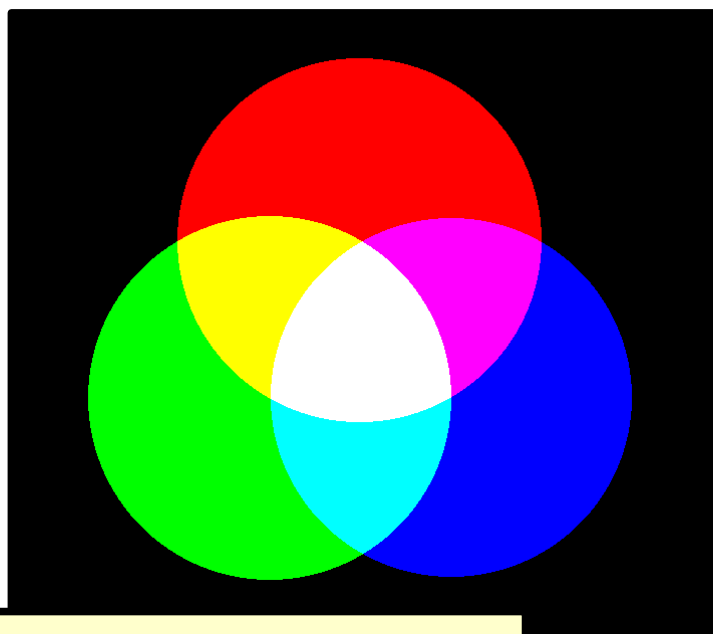
Przykładowe modele bazujące na fizjologii narządu wzroku:

- **CIE XYZ**
- **CIE Lab**

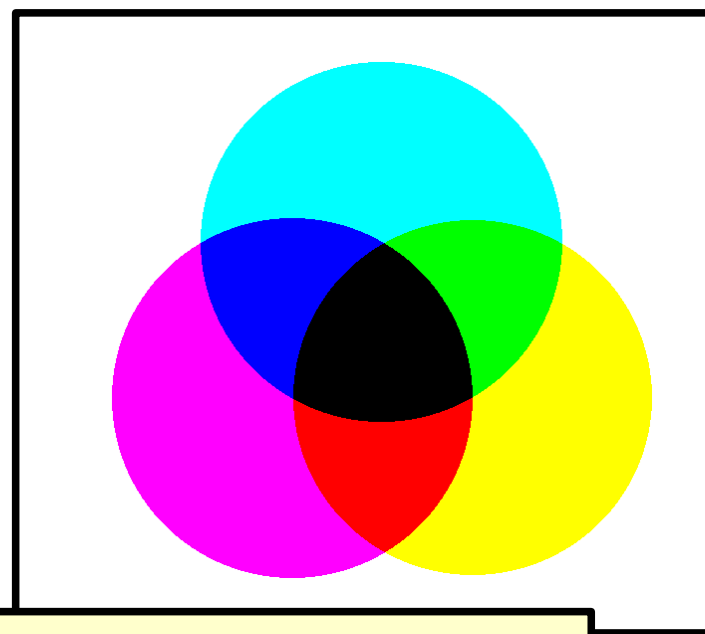
Modele przestrzeni barw: trzy składowe barwne

Najprostsze ideowo są modele wywodzące się z **zasady trójchromatyczności**, zgodnie z którą dowolną barwę można przedstawić za pomocą trzech niezależnych liniowo **barw podstawowych**, czyli takich, że żadna z nich nie może powstać jako kombinacja liniowa dwóch pozostałych.

W zależności od zestawu barw podstawowych - którego wybór zależy od celu użycia danego modelu - ich mieszanie może odbywać się w sposób **addytywny** (połączenie wszystkich składowych dąży do bieli) lub **subtraktywny** (łączenie dąży do czerni).



Mieszanie addytywne

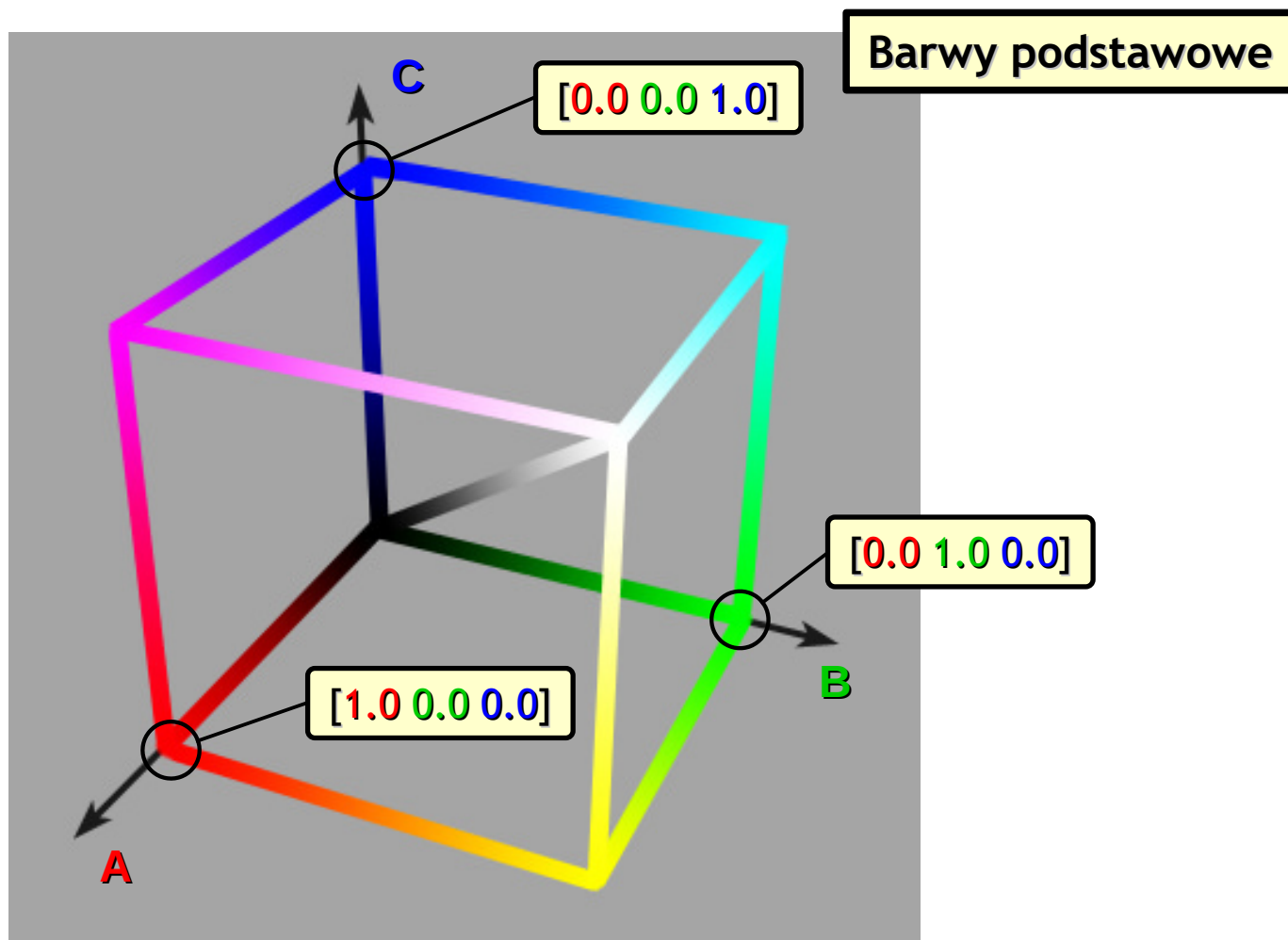


Mieszanie subtraktywne

Modele przestrzeni barw: trzy składowe barwne

Jeżeli barwy podstawowe oznaczymy np. jako **A**, **B** i **C**, to każdą inną barwę możemy zapisać w postaci wektora $[a\ b\ c]$, którego elementy przyjmują wartości od 0.0 do 1.0 (lub od 0% do 100%) i reprezentują udział poszczególnych składowych w danej barwie.

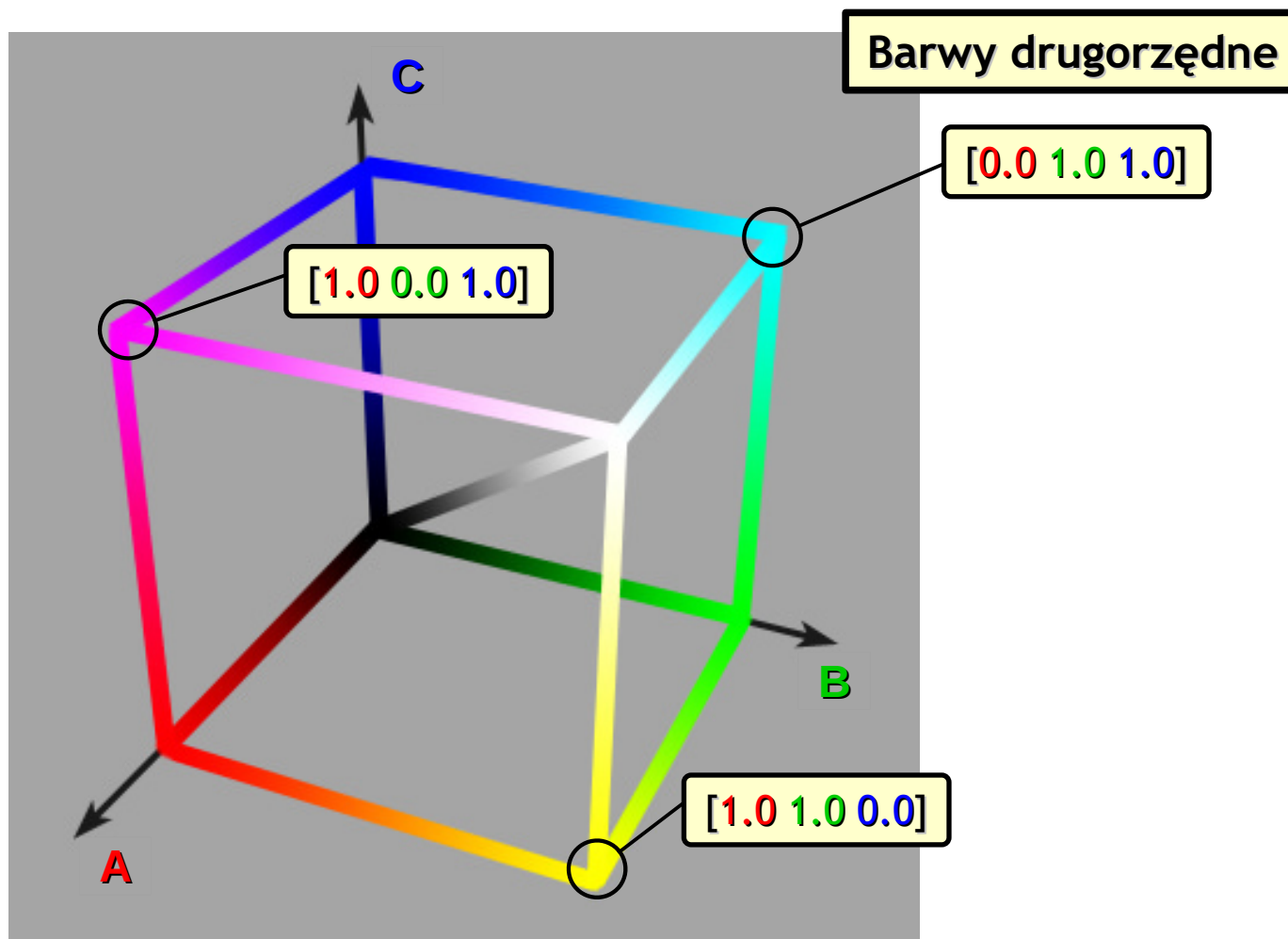
Całą przestrzeń barw w takim przypadku reprezentuje sześcian wyznaczony przez trzy wektory barw podstawowych: $[1.0\ 0.0\ 0.0]$, $[0.0\ 1.0\ 0.0]$ i $[0.0\ 0.0\ 1.0]$.



Modele przestrzeni barw: trzy składowe barwne

Jeżeli barwy podstawowe oznaczymy np. jako A , B i C , to każdą inną barwę możemy zapisać w postaci wektora $[a\ b\ c]$, którego elementy przyjmują wartości od 0.0 do 1.0 (lub od 0% do 100%) i reprezentują udział poszczególnych składowych w danej barwie.

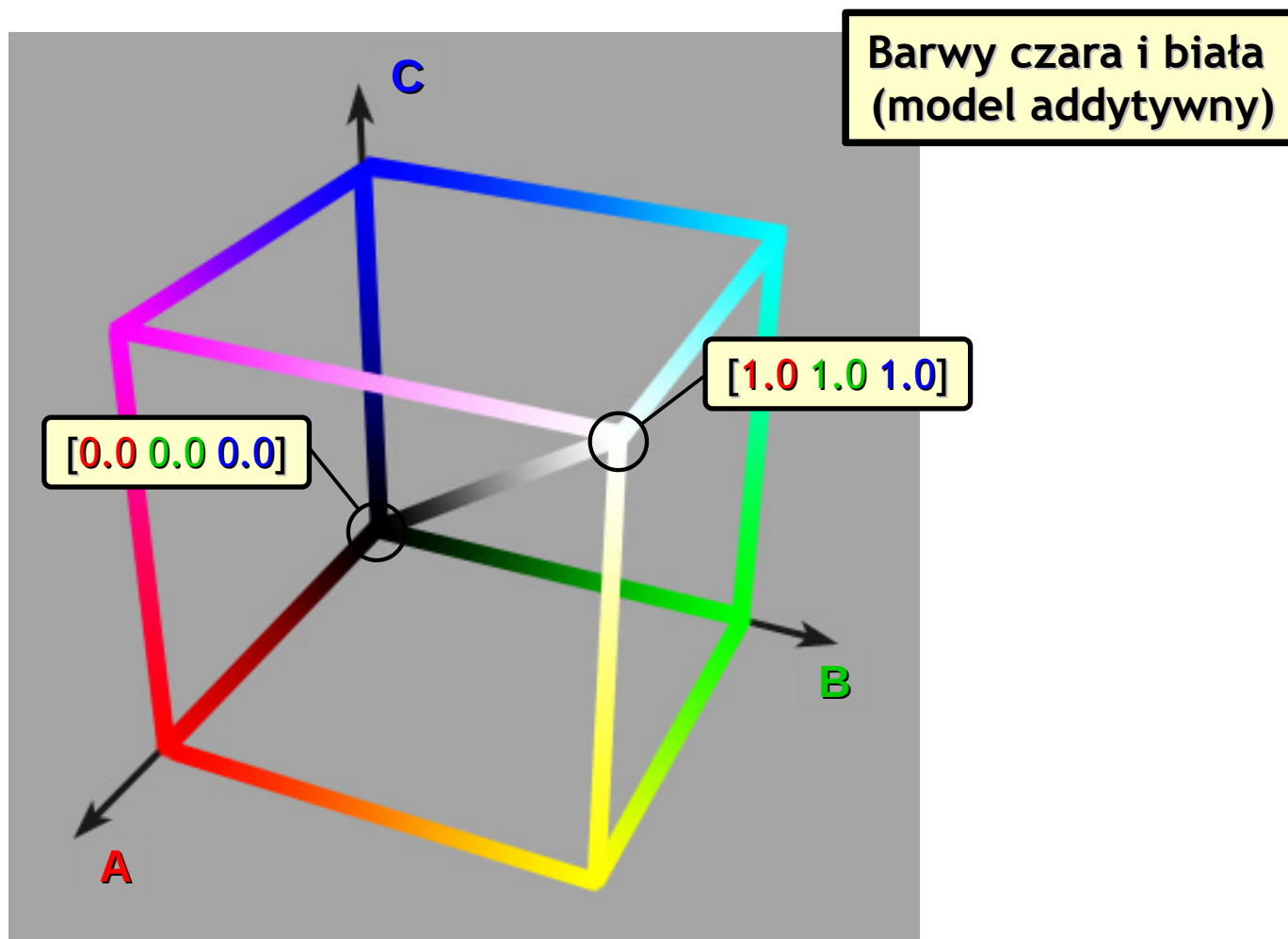
Całą przestrzeń barw w takim przypadku reprezentuje sześcian wyznaczony przez trzy wektory barw podstawowych: $[1.0\ 0.0\ 0.0]$, $[0.0\ 1.0\ 0.0]$ i $[0.0\ 0.0\ 1.0]$.



Modele przestrzeni barw: trzy składowe barwne

Jeżeli barwy podstawowe oznaczymy np. jako A , B i C , to każdą inną barwę możemy zapisać w postaci wektora $[a\ b\ c]$, którego elementy przyjmują wartości od 0.0 do 1.0 (lub od 0% do 100%) i reprezentują udział poszczególnych składowych w danej barwie.

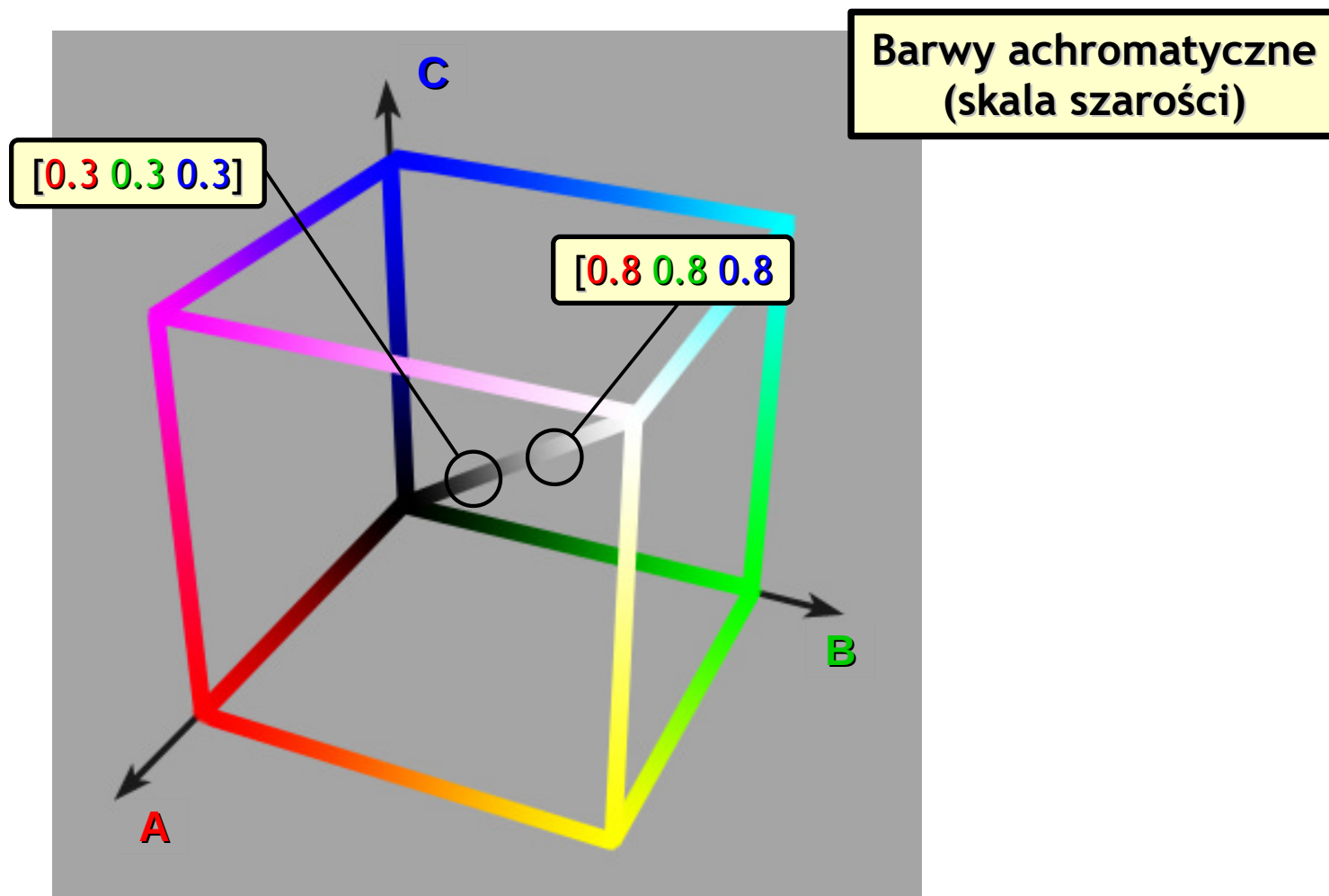
Całą przestrzeń barw w takim przypadku reprezentuje sześcian wyznaczony przez trzy wektory barw podstawowych: $[1.0\ 0.0\ 0.0]$, $[0.0\ 1.0\ 0.0]$ i $[0.0\ 0.0\ 1.0]$.



Modele przestrzeni barw: trzy składowe barwne

Jeżeli barwy podstawowe oznaczymy np. jako A , B i C , to każdą inną barwę możemy zapisać w postaci wektora $[a\ b\ c]$, którego elementy przyjmują wartości od 0.0 do 1.0 (lub od 0% do 100%) i reprezentują udział poszczególnych składowych w danej barwie.

Całą przestrzeń barw w takim przypadku reprezentuje sześcian wyznaczony przez trzy wektory barw podstawowych: $[1.0\ 0.0\ 0.0]$, $[0.0\ 1.0\ 0.0]$ i $[0.0\ 0.0\ 1.0]$.

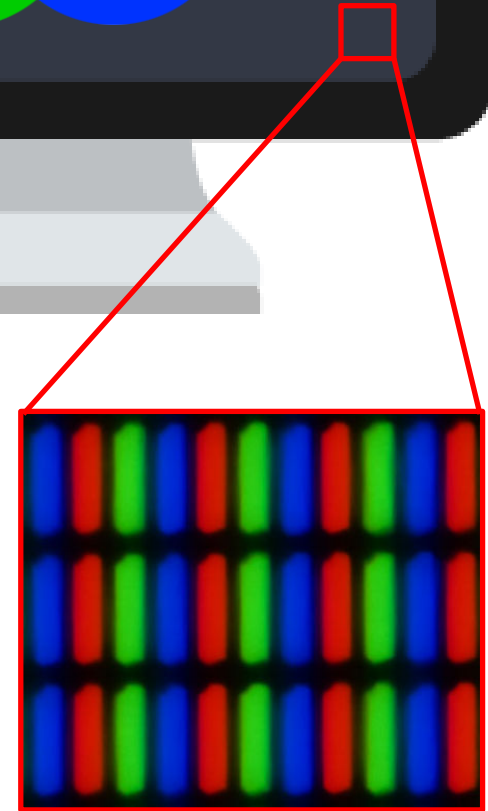
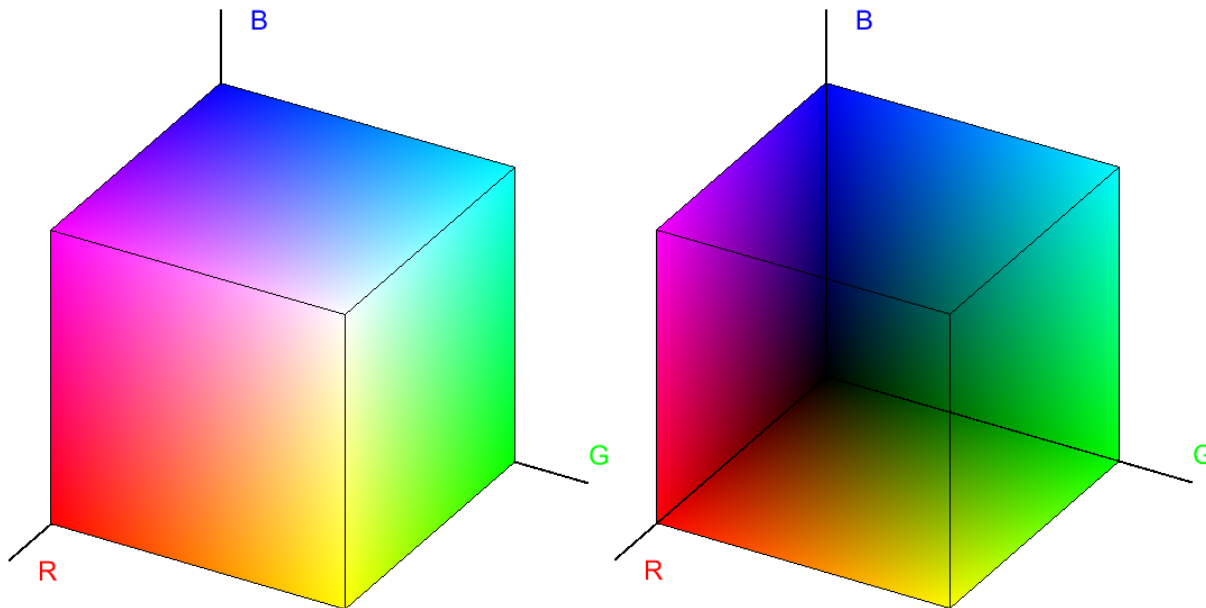
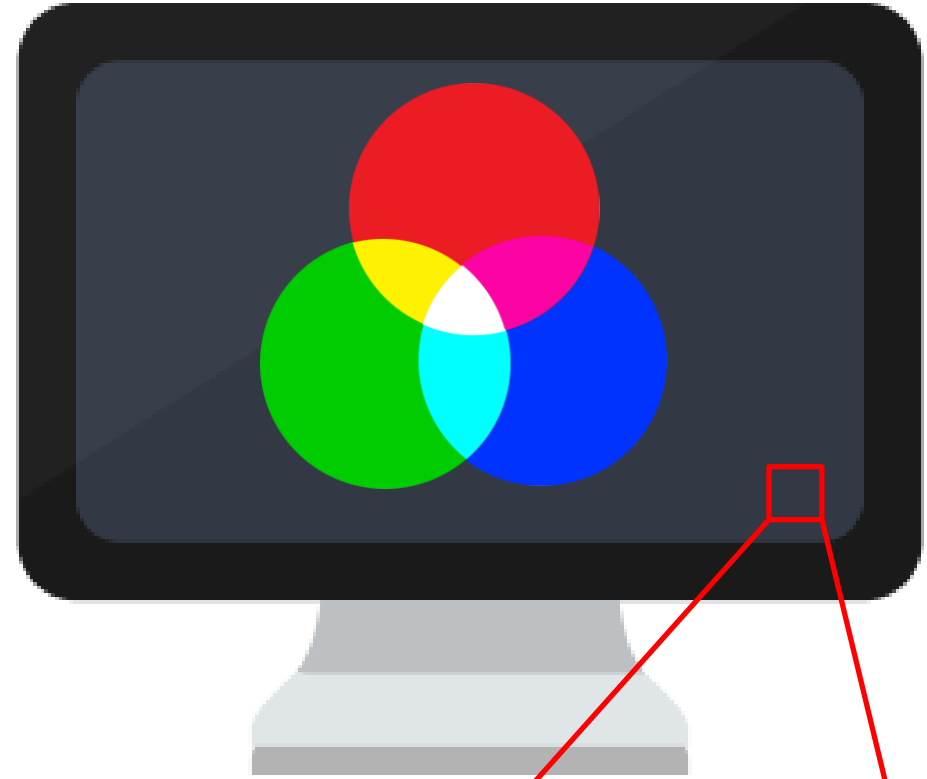


Modele przestrzeni barw: trzy składowe barwne (RGB)

Barwy: **czzerwona (R)**, **zielona (G)**, **niebieska (B)**

Mieszanie: **addytywne**

Zastosowania: **wyświetlacze, oświetlenie, ...**

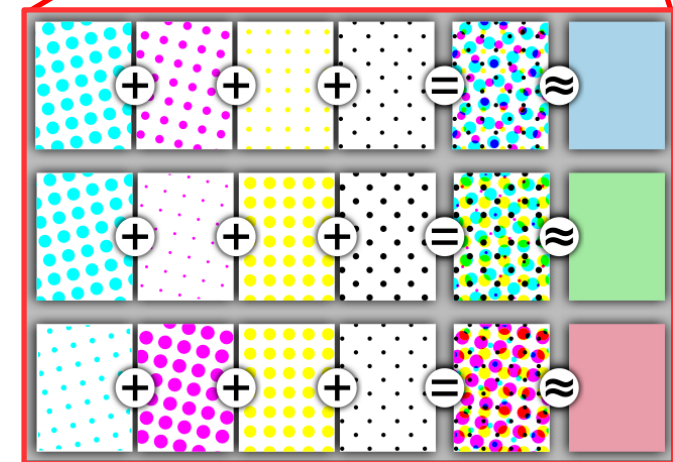
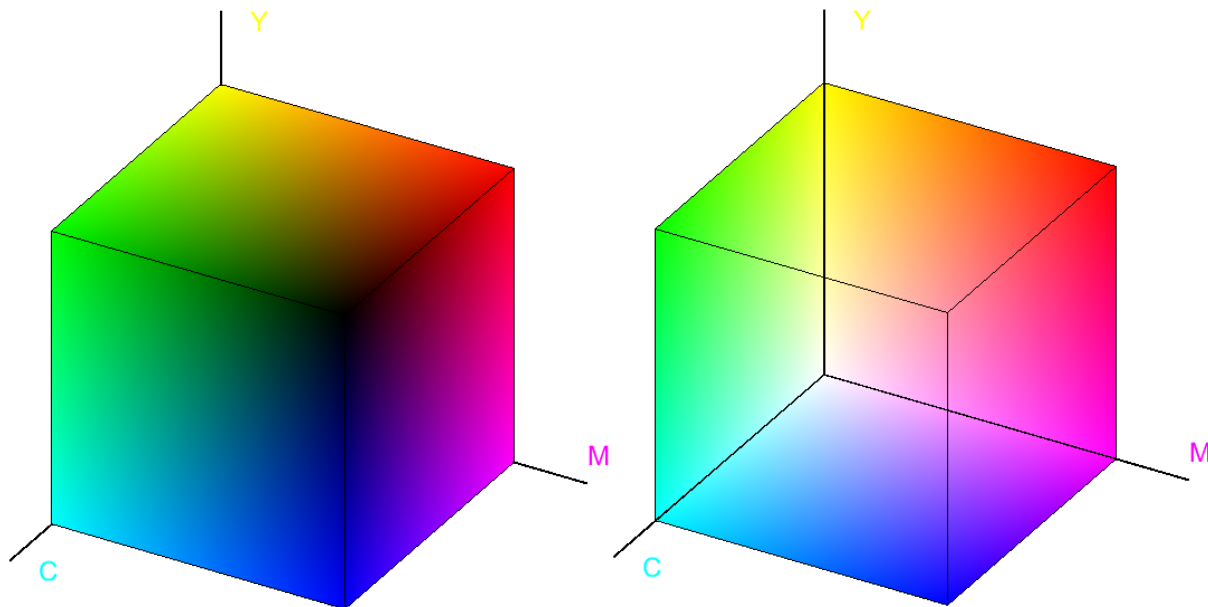
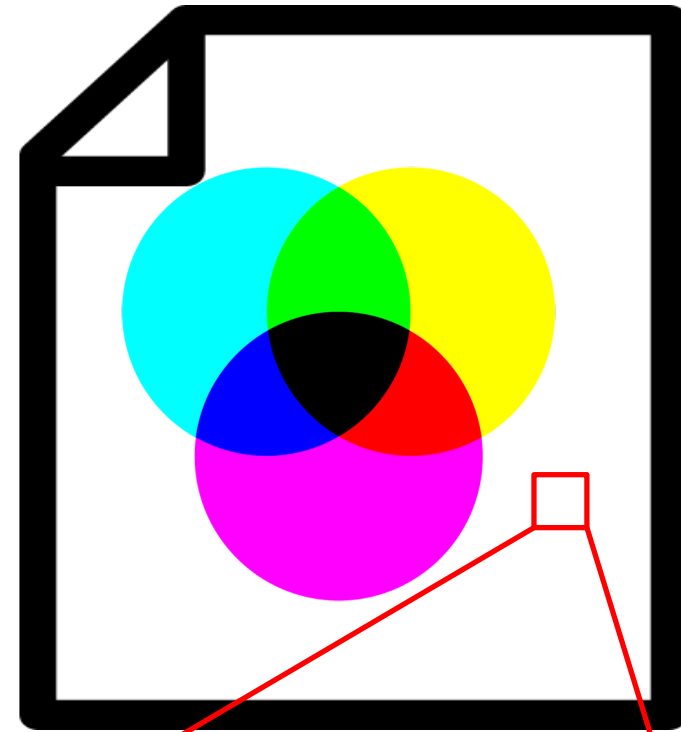


Modele przestrzeni barw: trzy składowe barwne (CMY [K])

Barwy: **cyjan (C)**, **magenta (M)**, **żółty (Y)**, [czarny (K)]

Mieszanie: **subtraktywne**

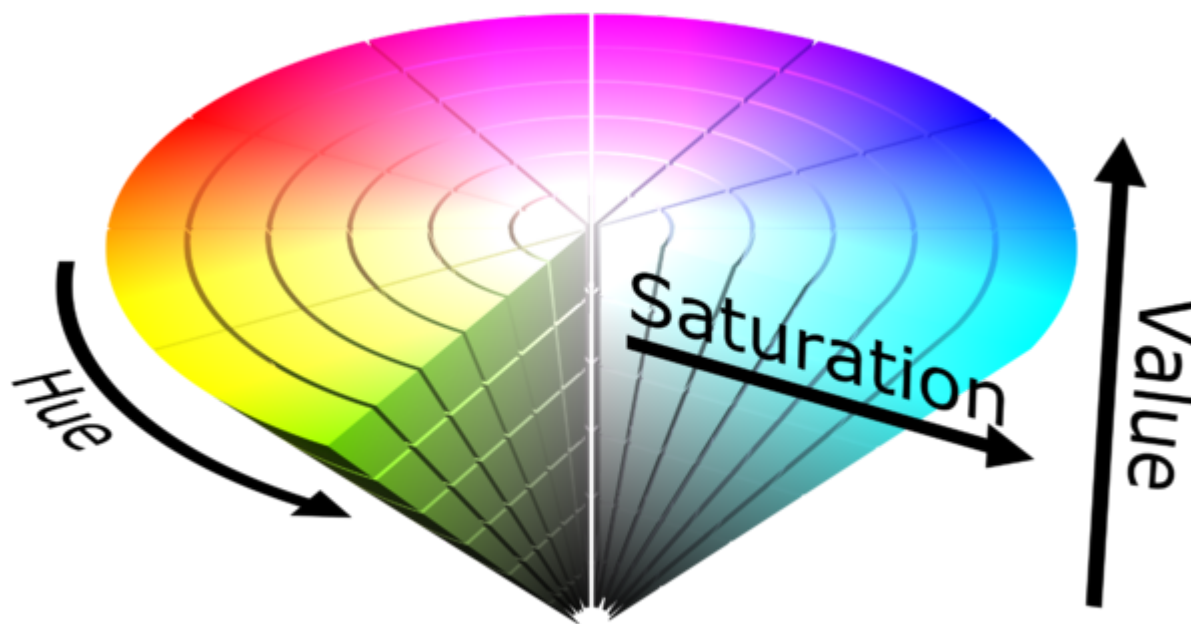
Zastosowania: **poligrafia**



Modele przestrzeni barw: HSV

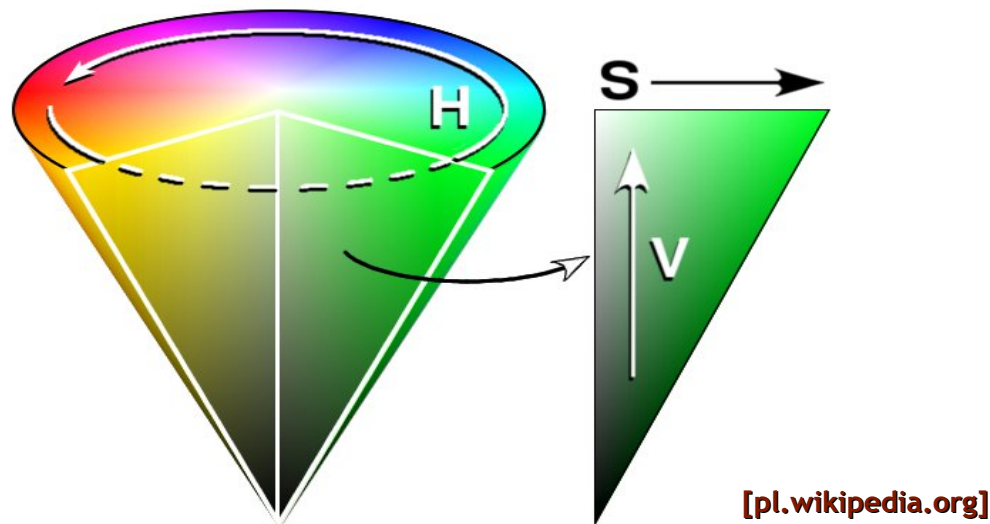
Model HSV (Hue-Saturation-Value) jest alternatywną reprezentacją przestrzeni barw modelu **RGB**, w której barwy definiuje się przy wykorzystaniu atrybutów zgodnych ze sposobem, w jaki opisują je ludzie:

- **odcień (hue, H)** - dominująca długość fali światła (podobieństwo do barwy prostej);
- **nasycenie (saturation, S)** - czystość pobudzenia (relatywny udział czystej barwy);
- **wartość (value, V)** - moc światła białego (jasność).



Modele przestrzeni barw: HSV

Przestrzeń HSV ma postać stożka, którego podstawa definiuje odcień (H), odległość od środka - nasycenie (S), a wysokość określa wartość (V).

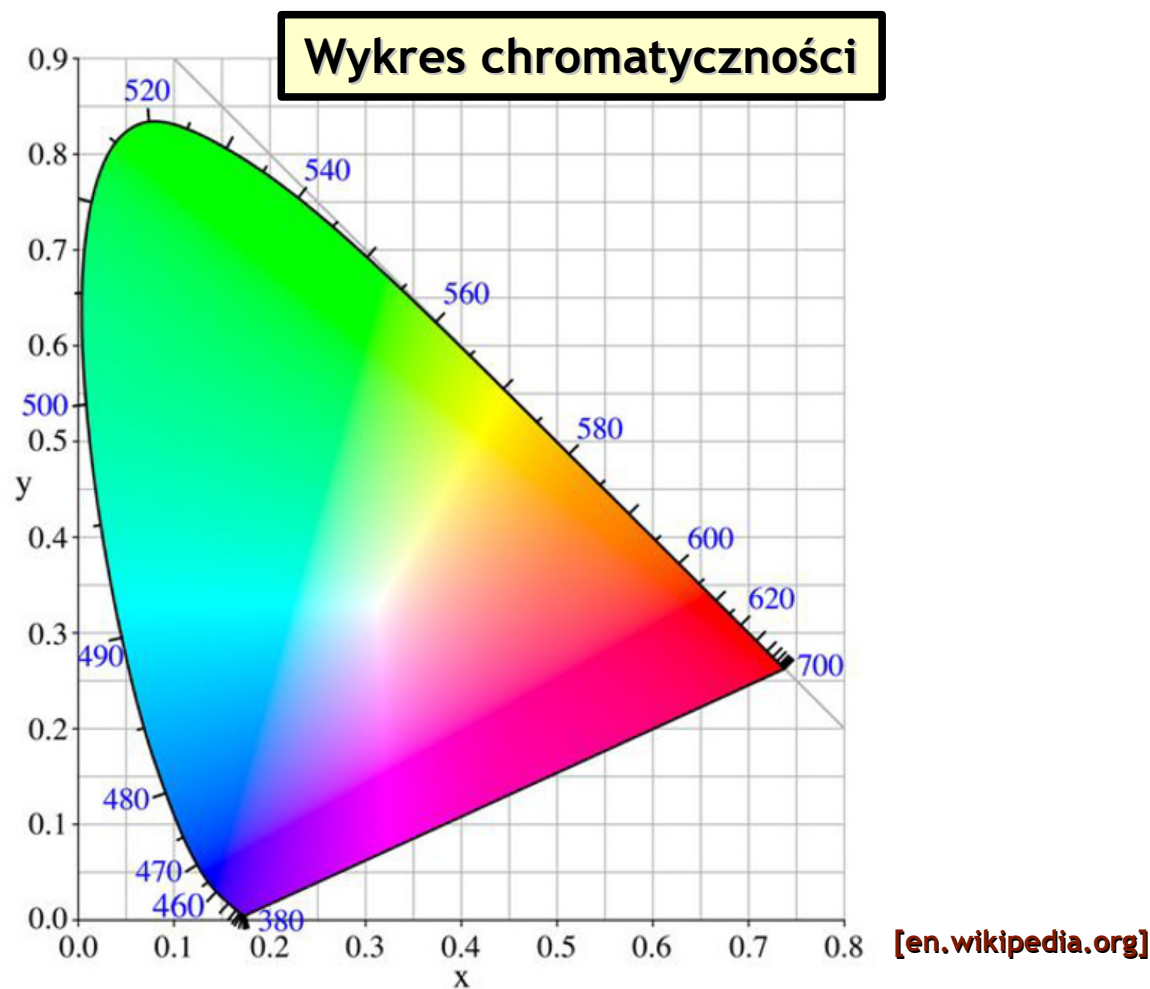


Odcień reprezentowany jest jako kąt w kole barw i przyjmuje wartości od 0° do 360° . Środkom barw **czerwonej**, **zielonej** i **niebieskiej** odpowiadają kąty 0° , 120° i 240° . Pozostałe barwy rozłożone są tak, aby barwy dopełniające były naprzeciwko siebie.

Nasycenie odpowiada odległości od osi symetrii stożka i przyjmuje wartości od 0 do 1. W osi stożka znajdują się barwy achromatyczne o wartości S równej 0.

Wartość zmienia się od 0 (wierzchołek stożka, barwa czarna) do 1 (u podstawy, biel).

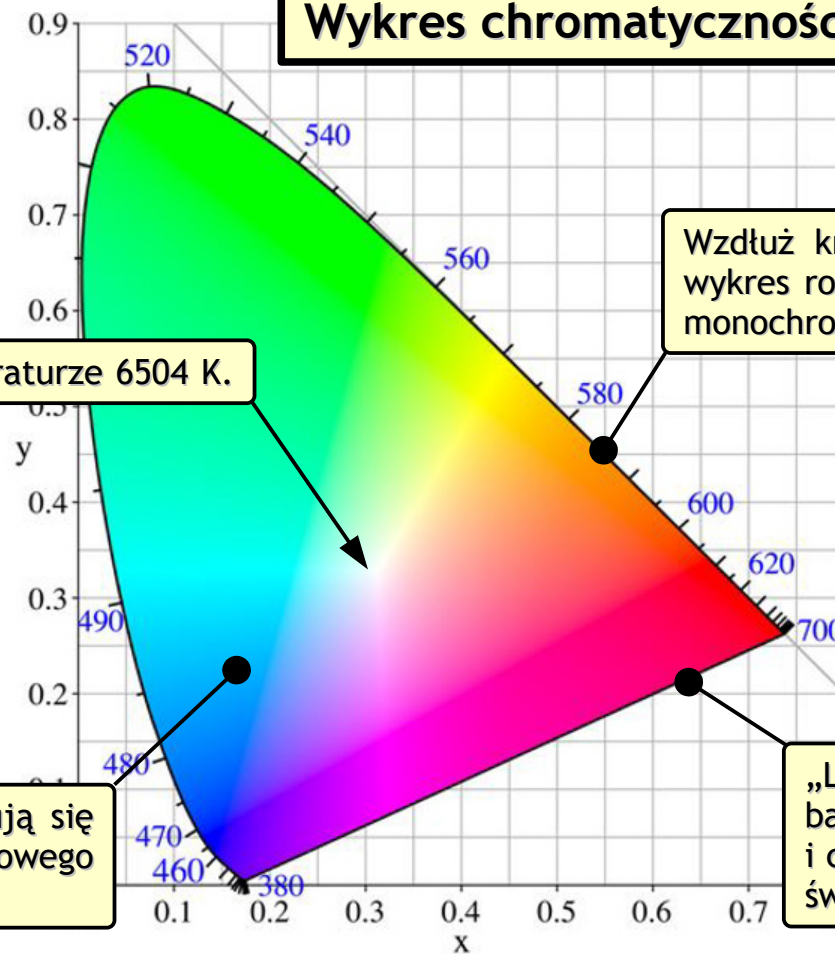
Przestrzeń barw CIE XYZ jest przykładem modelu bazującego na znajomości fizjologii narządu wzroku. Jego składowe wyznaczone są na podstawie pobudzeń trzech typów czopków w taki sposób, aby jedna współrzędna odpowiadała jasności (Y), a pozostałe dwie (X i Z) - barwie. Unormowanie tych składowych prowadzi do **modelu CIE xyY**: przy ustalonej wartości Y (jasności) jego współrzędne x i y pozwalają utworzyć **wykres chromatyczności** opisujący pełen zakres barw postrzeganych przez ludzkie oko.



Modele przestrzeni barw: CIE xyY

Przestrzeń barw CIE XYZ jest przykładem modelu bazującego na znajomości fizjologii narządu wzroku. Jego składowe wyznaczone są na podstawie pobudzeń trzech typów czopków w taki sposób, aby jedna współrzędna odpowiadała jasności (Y), a pozostałe dwie (X i Z) - barwie. Unormowanie tych składowych prowadzi do **modelu CIE xyY**: przy ustalonej wartości Y (jasności) jego współrzędne x i y pozwalają utworzyć **wykres chromatyczności** opisujący pełen zakres barw postrzeganych przez ludzkie oko.

Wykres chromatyczności



Punkt bieli o temperaturze 6504 K.

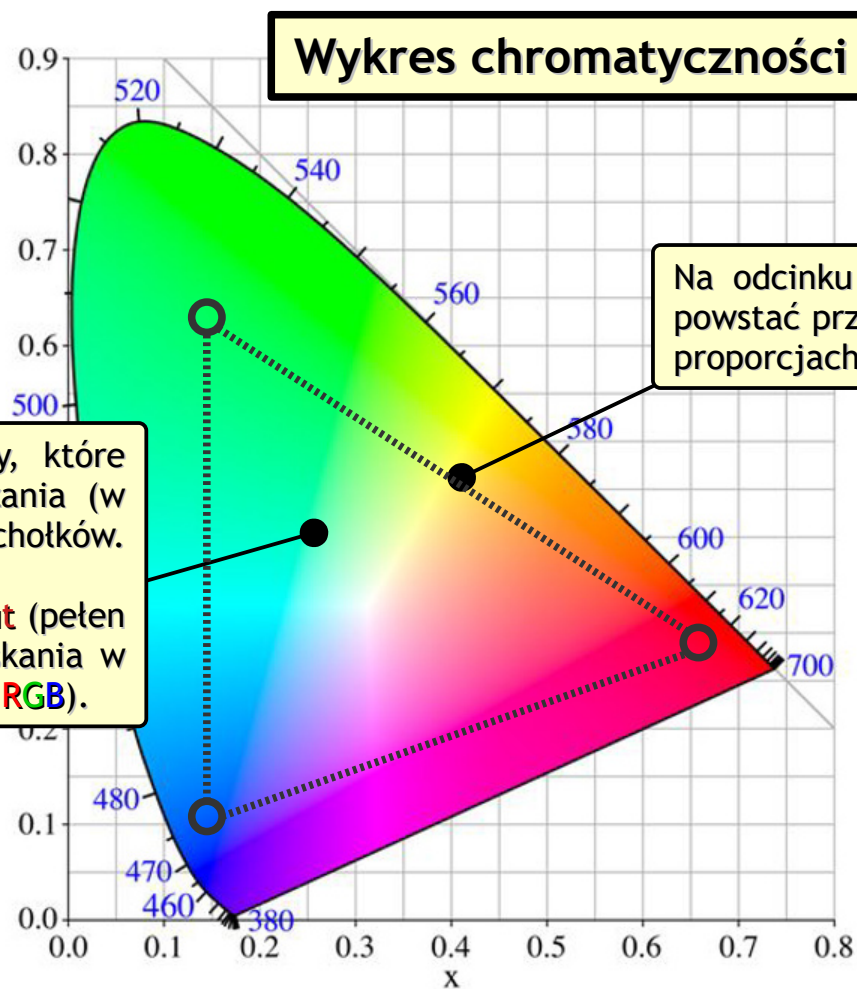
Wzdłuż krzywej ograniczającej wykres rozmieszczone są barwy monochromatyczne (proste).

Wewnątrz pola wykresu znajdują się barwy rozpoznawane przez typowego człowieka przy danej jasności.

„Linia purpury”, na której występują barwy powstałe ze zmieszania fioletu i czerwieni (czyli obu krańców widma światła widzialnego).

Modele przestrzeni barw: CIE xyY

Przestrzeń barw CIE XYZ jest przykładem modelu bazującego na znajomości fizjologii narządu wzroku. Jego składowe wyznaczone są na podstawie pobudzeń trzech typów czopków w taki sposób, aby jedna współrzędna odpowiadała jasności (Y), a pozostałe dwie (X i Z) - barwie. Unormowanie tych składowych prowadzi do **modelu CIE xyY**: przy ustalonej wartości Y (jasności) jego współrzędne x i y pozwalają utworzyć **wykres chromatyczności** opisujący pełen zakres barw postrzeganych przez ludzkie oko.

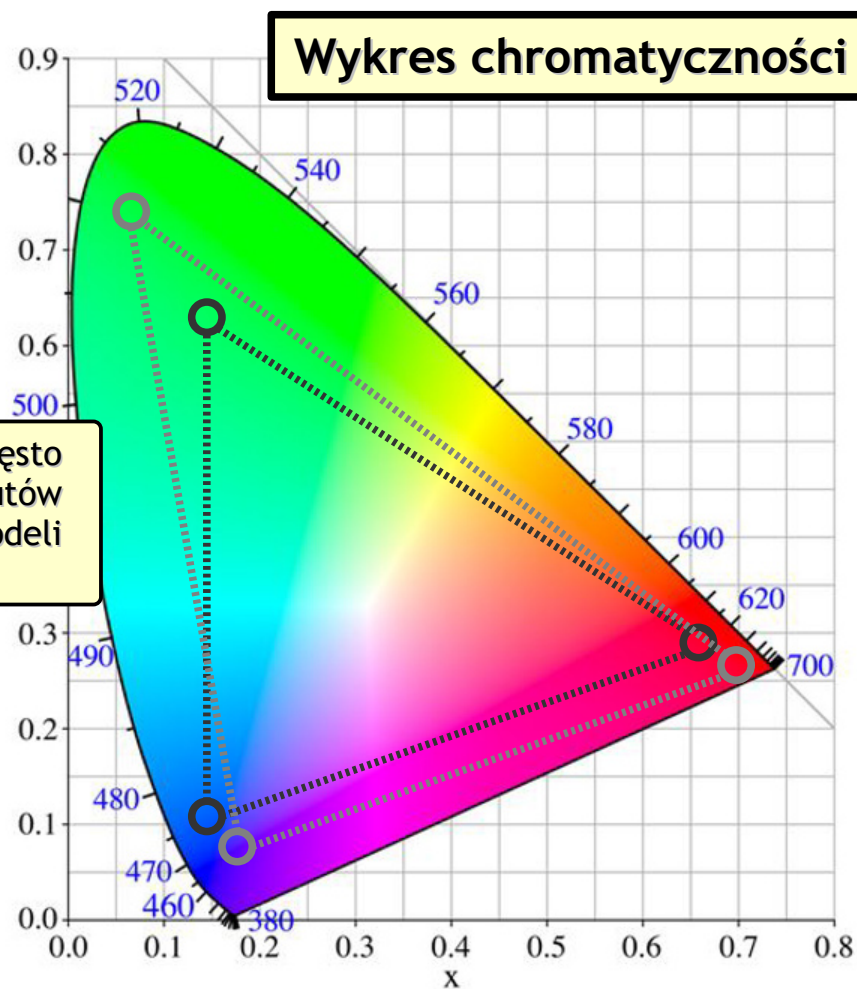


Obszar wielokąta zawiera barwy, które mogą powstać jako efekt mieszania (w różnych proporcjach) barw wierzchołków.

Przykładowo trójkąt opisuje **gamut** (pełen zestaw barw) możliwych do uzyskania w modelu trichromatycznym (tutaj: **RGB**).

Na odcinku leżą barwy, które mogą powstać przez zmieszanie (w różnych proporcjach) barw jego końców.

Przestrzeń barw CIE XYZ jest przykładem modelu bazującego na znajomości fizjologii narządu wzroku. Jego składowe wyznaczone są na podstawie pobudzeń trzech typów czopków w taki sposób, aby jedna współrzędna odpowiadała jasności (Y), a pozostałe dwie (X i Z) - barwie. Unormowanie tych składowych prowadzi do **modelu CIE xyY**: przy ustalonej wartości Y (jasności) jego współrzędne x i y pozwalają utworzyć **wykres chromatyczności** opisujący pełen zakres barw postrzeganych przez ludzkie oko.



Wykres chromatyczności jest często używany do porównywania gamutów urządzeń wyświetlających lub modeli przestrzeni barw.

GRAFIKA KOMPUTEROWA

Wykład 2: cyfrowa reprezentacja kolorów

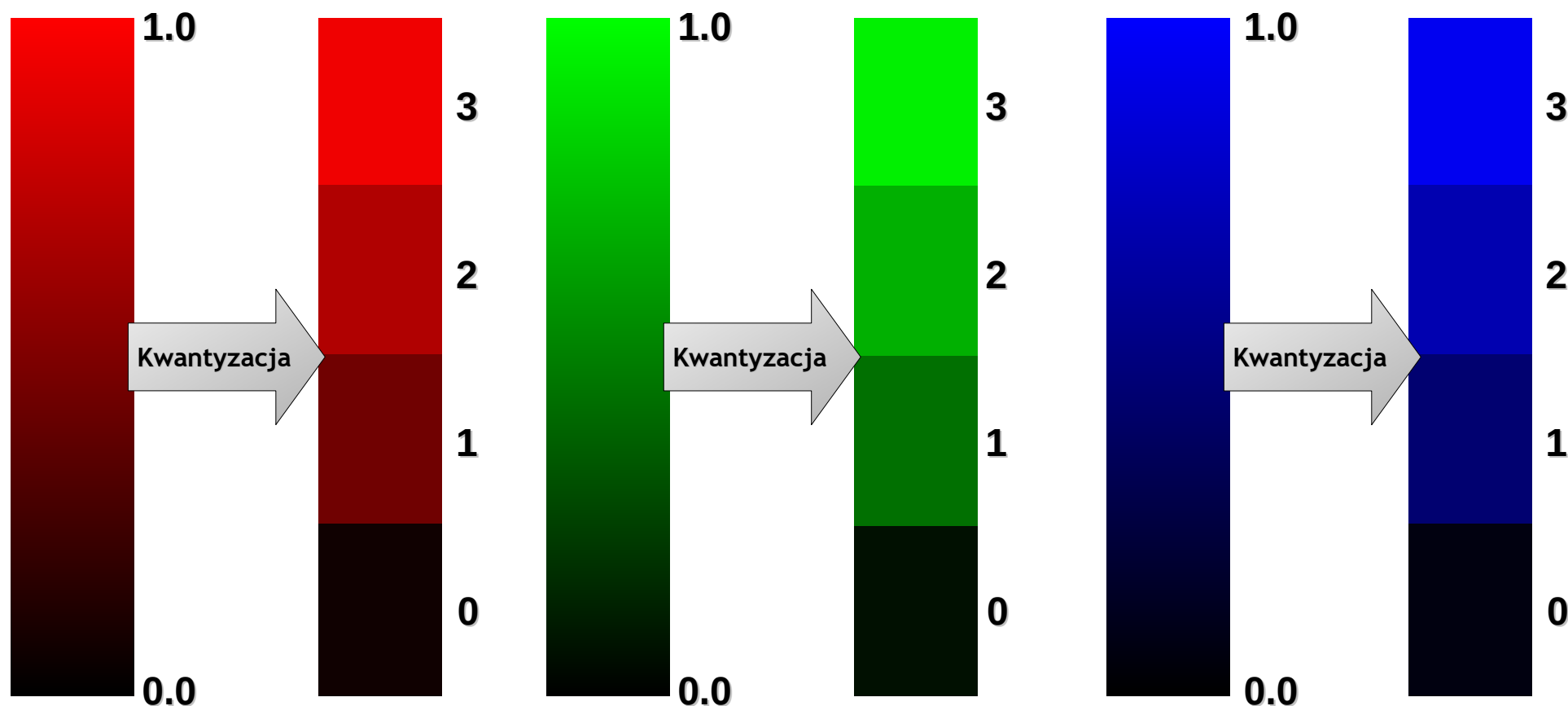
Tymon Rubel

Zakład Elektroniki Jądrowej i Medycznej
Instytut Radioelektroniki i Techniki Multimedialnych PW

Cyfrowa reprezentacja kolorów: model RGB

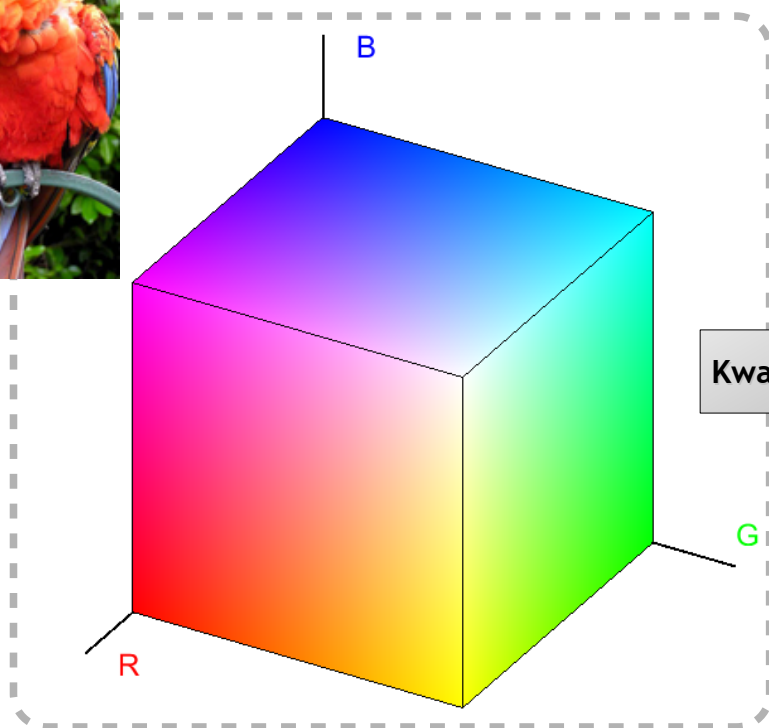
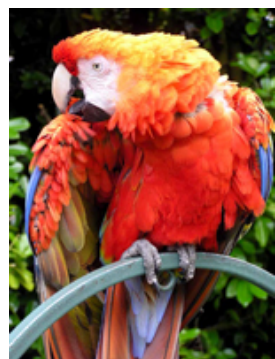
Podczas wyświetlania obrazu komputery najczęściej używają modelu **RGB**. Jednak należy pamiętać, że nie operują one na wartościach ciągłych, stąd też konieczna jest **kwantyzacja** zakresów zmienności barw podstawowych na dyskretny zbiór poziomów, o liczności zależnej od liczby bitów użytych do reprezentacji każdej ze składowych.

Przykładowo dla reprezentacji 2-bit każda składowa będzie miała 4 (2^2) poziomy, jak na rysunku poniżej. Zapewnia to paletę 64 kolorów.

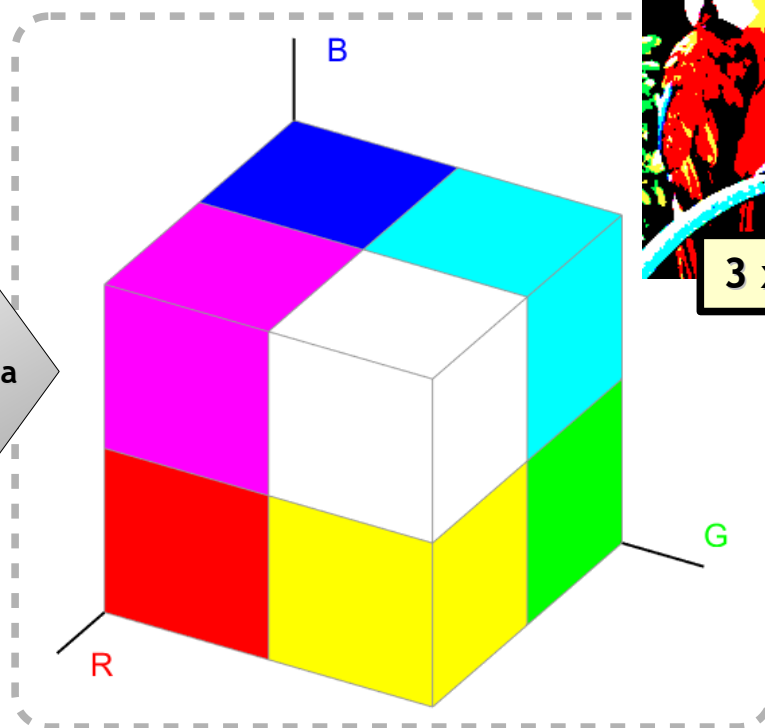


Cyfrowa reprezentacja kolorów: model RGB

Wybór **liczby bitów na składową (głębi kolorów)** jest kompromisem między zdolnością rozróżniania barw przez ludzki narząd wzroku, a możliwościami układów graficznych i monitorów oraz szerokością pasma wymaganego do przesyłania obrazów.

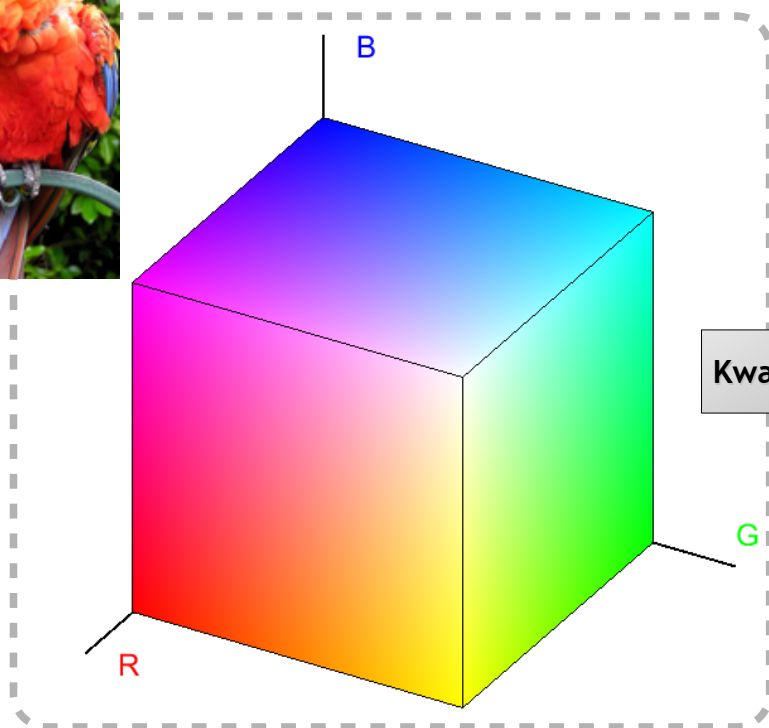
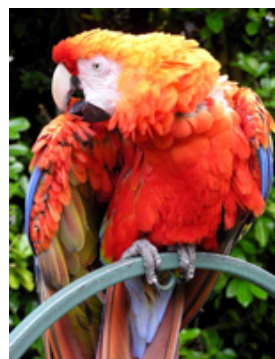


Kwantyzacja

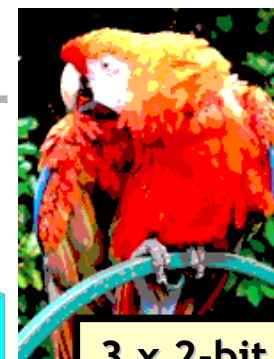
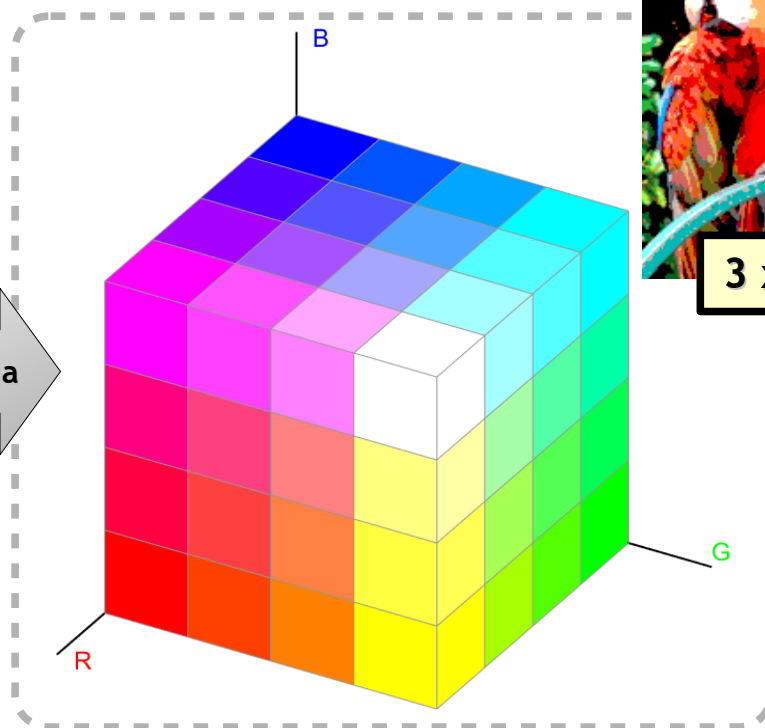


Cyfrowa reprezentacja kolorów: model RGB

Wybór **liczby bitów na składową (głębi kolorów)** jest kompromisem między zdolnością rozróżniania barw przez ludzki narząd wzroku, a możliwościami układów graficznych i monitorów oraz szerokością pasma wymaganego do przesyłania obrazów.



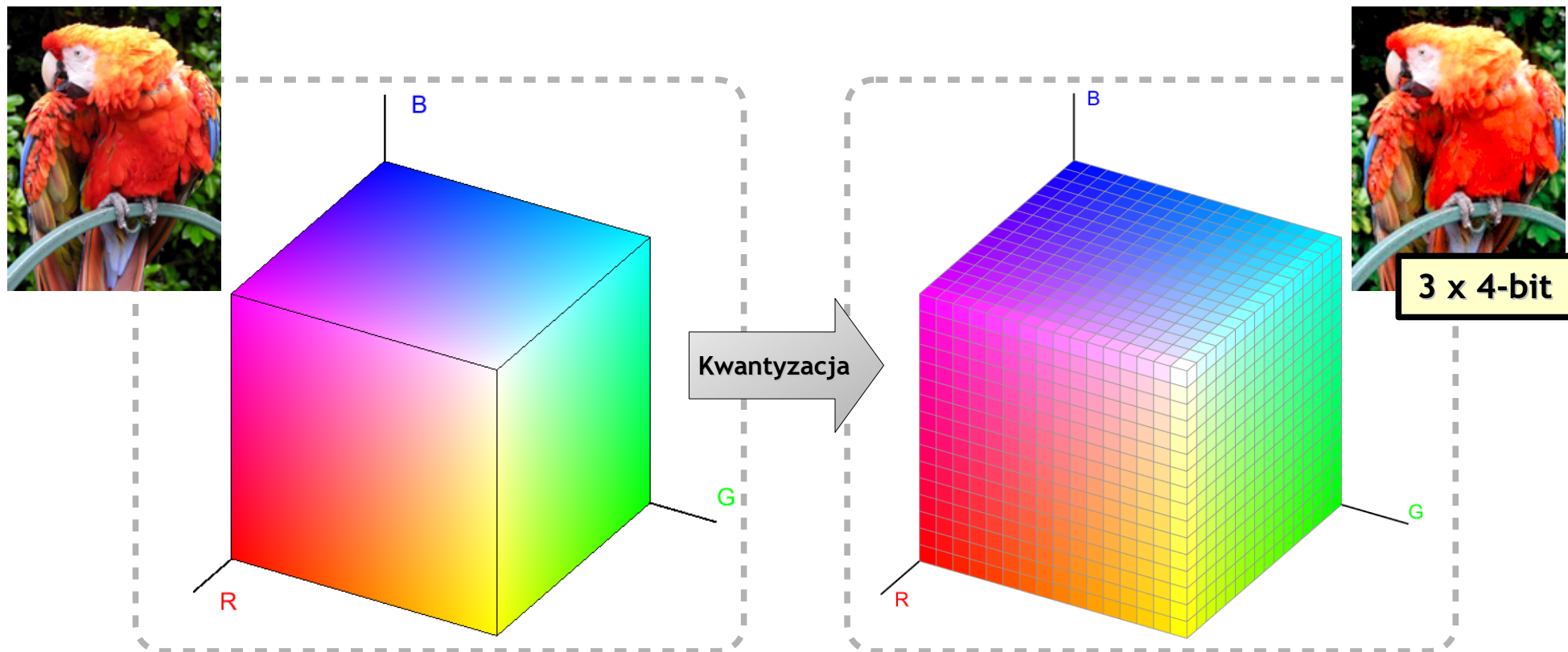
Kwantyzacja



3 x 2-bit

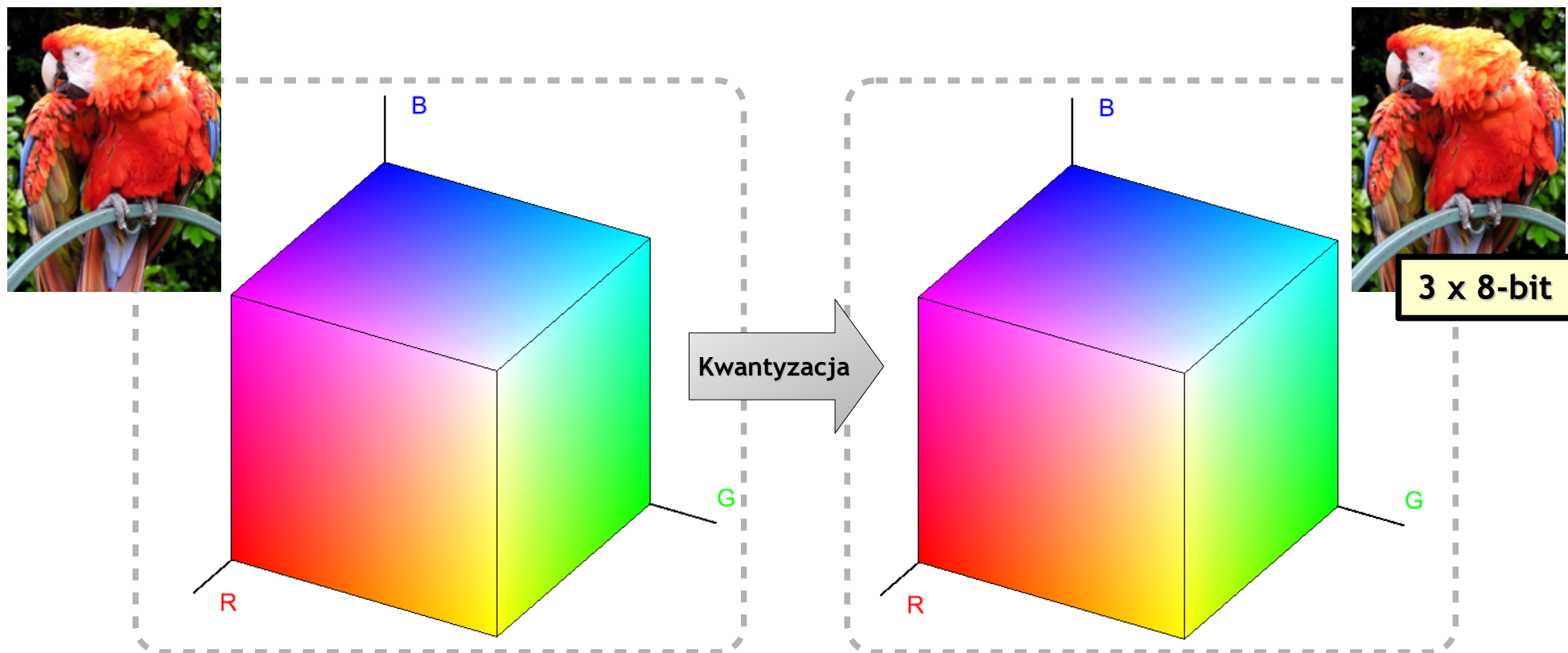
Cyfrowa reprezentacja kolorów: model RGB

Wybór **liczby bitów na składową (głębi kolorów)** jest kompromisem między zdolnością rozróżniania barw przez ludzki narząd wzroku, a możliwościami układów graficznych i monitorów oraz szerokością pasma wymaganego do przesyłania obrazów.



Cyfrowa reprezentacja kolorów: model RGB

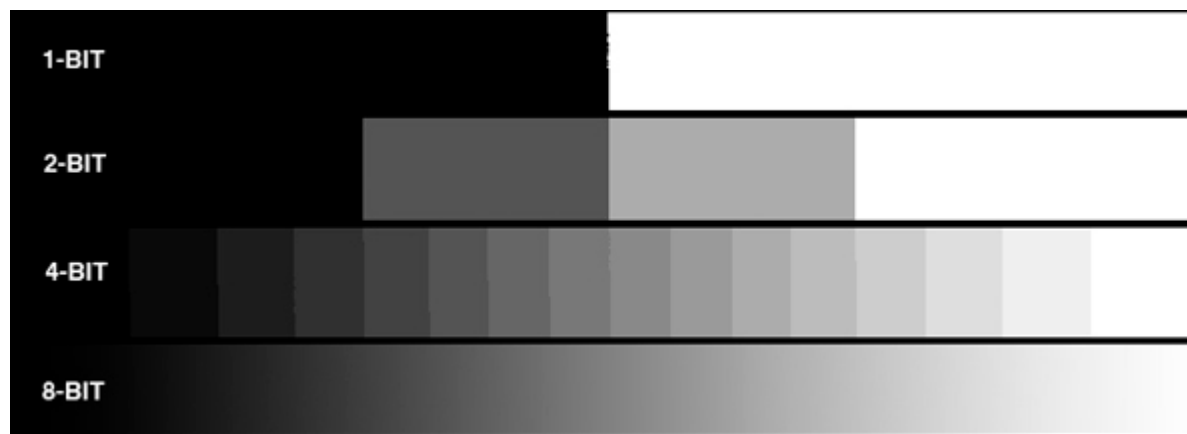
Wybór **liczby bitów na składową (głębi kolorów)** jest kompromisem między zdolnością rozróżniania barw przez ludzki narząd wzroku, a możliwościami układów graficznych i monitorów oraz szerokością pasma wymaganego do przesyłania obrazów.



Obecnie standardem dla układów graficznych jest **24-bitowa reprezentacja *true color* (3 x 8-bit, po 256 poziomów na składową, ponad 16,7 mln kolorów)**. Reprezentacje nazywane ***deep color* (30/36/48-bit)** wciąż są dość rzadko spotykane w urządzeniach wyświetlających, jednak często są używane od rejestracji i przetwarzania obrazów.

Cyfrowa reprezentacja kolorów: skala szarości

W części zastosowań nie ma konieczności używania barw chromatycznych. W takich przypadkach używa się **skali szarości (grayscale)**, która niesie informacje jedynie o jasności, a paleta kolorów zawiera czerną, białą oraz pośrednie odcienie szarości.



Dla typowych obrazów obecnie najczęściej używana jest **8-bitowa skala szarości o 256 poziomach**, choć w pewnych przypadkach (także w obrazowaniu medycznym) stosowana jest reprezentacja 16-bitowa, mająca 65535 poziomów.



1-bit (2 poziomy)



2-bit (4 poziomy)



4-bit (16 poziomów)



8-bit (256 poziomów)

GRAFIKA KOMPUTEROWA

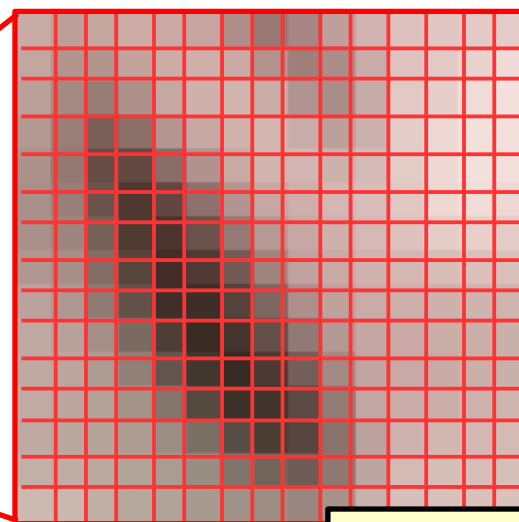
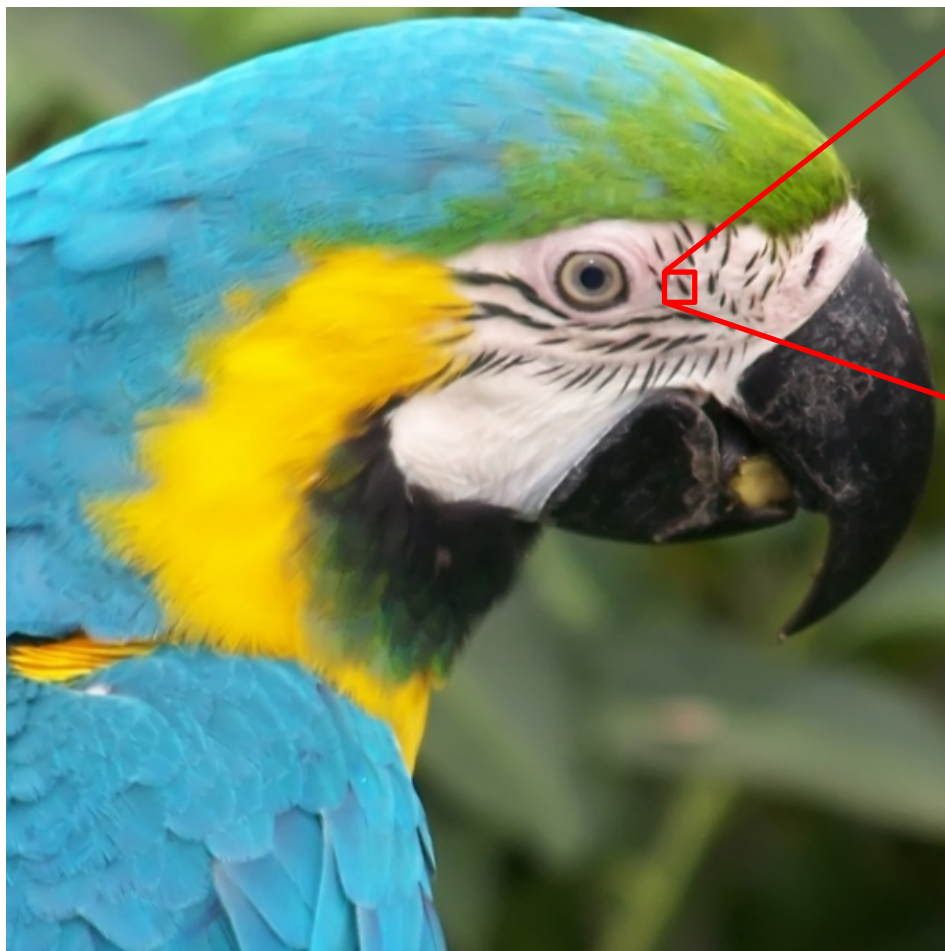
Wykład 2: cyfrowa reprezentacja obrazu (grafika bitmapowa)

Tymon Rubel

Zakład Elektroniki Jądrowej i Medycznej
Instytut Radioelektroniki i Techniki Multimedialnych PW

Cyfrowa reprezentacja obrazu: grafika bitmapowa

Obraz **bitmapowy (rastrowy)** ma postać tablicy o wymiarach $M \times N$, gdzie M oznacza szerokość, a N to wysokość. Każdy wpis w tej tablicy reprezentuje jeden **piksel, czyli najmniejszy jednolity element obrazu**. Piksele rozlokowane są na regularnej siatce, a każdy z nich definiuje kolor odpowiadającego mu fragmentu obrazu.



Piksele obrazu

Cyfrowa reprezentacja obrazu: grafika bitmapowa

Obraz w reprezentacji bitmapowej jest charakteryzowany przez:

- **szerokość** i **wysokość** wyrażane w pikselach;
- **tryb koloru** i **liczbę bitów na piksel (bpp - bits per pixel)** lub **bitów na składową (bpc - bits per channel)**, które określają sposób przechowywania informacji o kolorach.

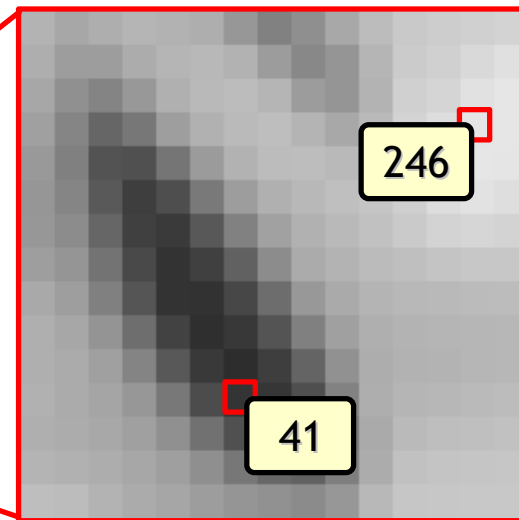
Dla obrazów pochodzenia naturalnego (np. zdjęć, skanów) te dwie grupy parametrów są powiązane z dwoma etapami procesu **digitalizacji**: **próbkowaniem** i **kwantyzacją**.



Cyfrowa reprezentacja obrazu: grafika bitmapowa (tryb skali szarości)

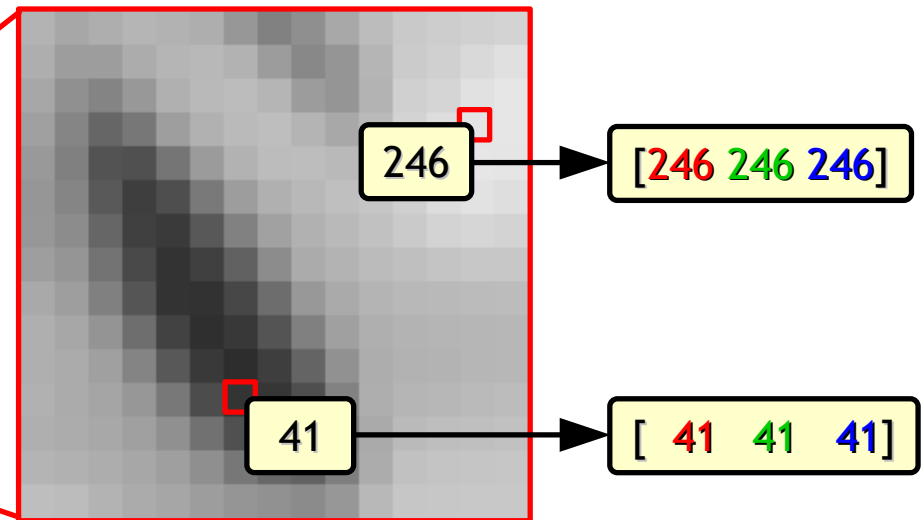
Piksele **obrazu w skali szarości** niosą jedynie informacje o jasności. Każdy z nich jest pojedynczą liczbą naturalną z zakresu zależnego od przyjętej liczby bitów na piksel.

Obecnie zwykle stosuje się kodowanie 8-bitowe, w którym wartości pikseli należą do przedziału $[0, 255]$, gdzie 0 oznacza czerń, a 255 to biel.



Cyfrowa reprezentacja obrazu: grafika bitmapowa (tryb skali szarości)

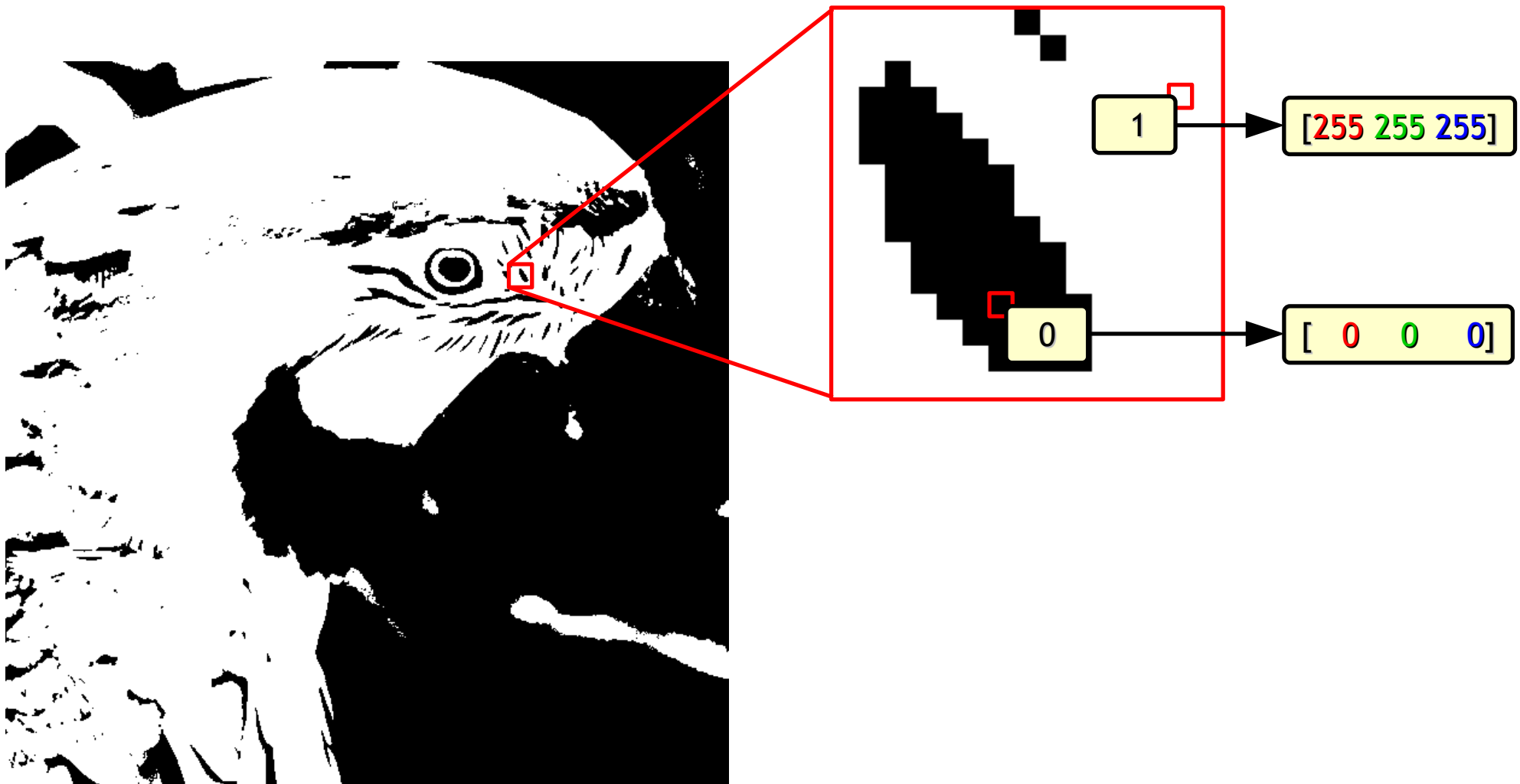
Podczas wyświetlania na urządzeniu korzystającym z cyfrowego modelu **RGB** wartości pikseli obrazu w skali szarości zamieniane są na kolory achromatyczne, dla których każda ze składowych ma jednakową wartość.



Cyfrowa reprezentacja obrazu: grafika bitmapowa (tryb binarny)

Szczególnym rodzajem obrazów monochromatycznych są **obrazy binarne**, o pikselach przyjmujących tylko wartości 0 lub 1 (albo 255, w zależności od sposobu kodowania).

Często są one efektem końcowym przetwarzania obrazów w skali szarości, w ramach którego wykonywana była operacja progowania.



Cyfrowa reprezentacja obrazu: grafika bitmapowa (tryb RGB)

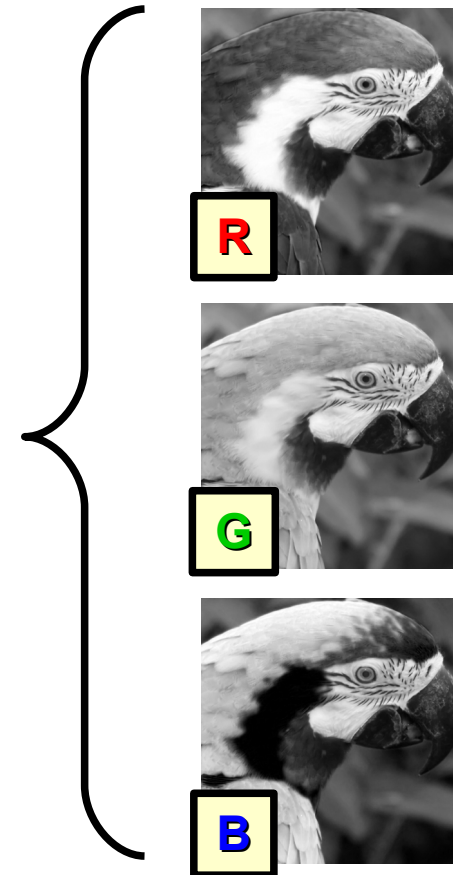
W **obrazie typu RGB** piksel jest definiowany przez 3 liczby naturalne odpowiadające wartościom składowych (kanałów) cyfrowego modelu **RGB**.

W typowo używanej reprezentacji *true color* 24-bit na każdą składową przeznaczają się po 8 bitów, czyli jej wartości pochodzą z zakresu $[0, 255]$.



Cyfrowa reprezentacja obrazu: grafika bitmapowa (tryb RGB)

Obraz RGB można ideowo przedstawić jako trzy obrazy w skali szarości (trzy tablice o wartościach z zakresu [0, 255]) reprezentujące poszczególne składowe kolorów.

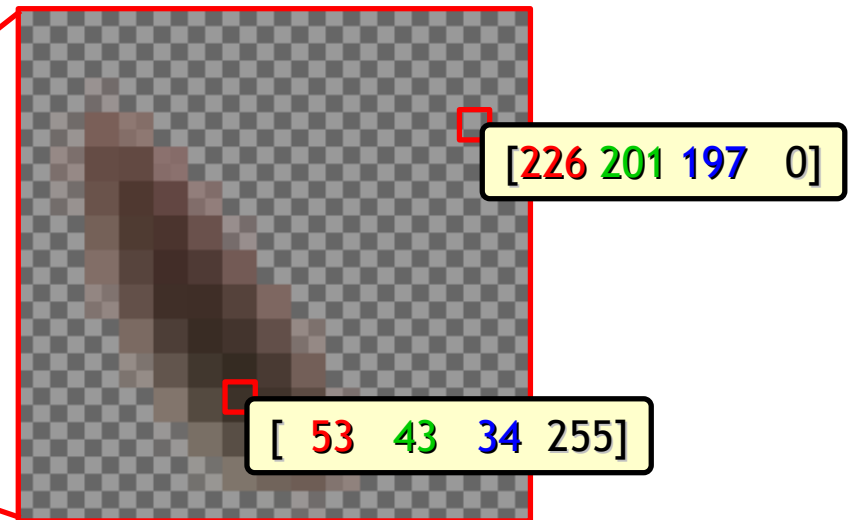
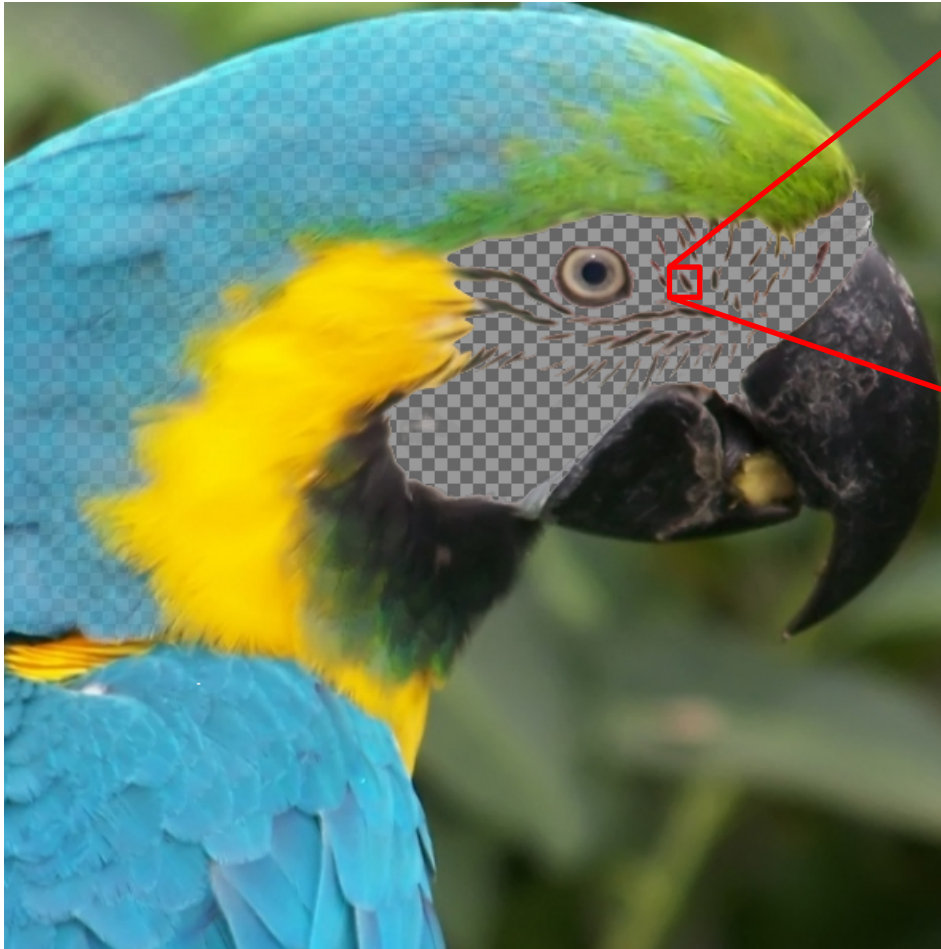


Jednak w praktyce taki obraz jest zwykle jedną tablicą, w której kolejno występują trójki 8-bitowych składowych piksela lub jedna liczba 32-bitowa opisująca cały piksel.

| 8 | | | | | | | | 8 | | | | | | | | 8 | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|-------|----|----|----|----|----|---|---|------|---|---|---|---|---|---|---|
| Red | | | | | | | | Green | | | | | | | | Blue | | | | | | | |
| 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |

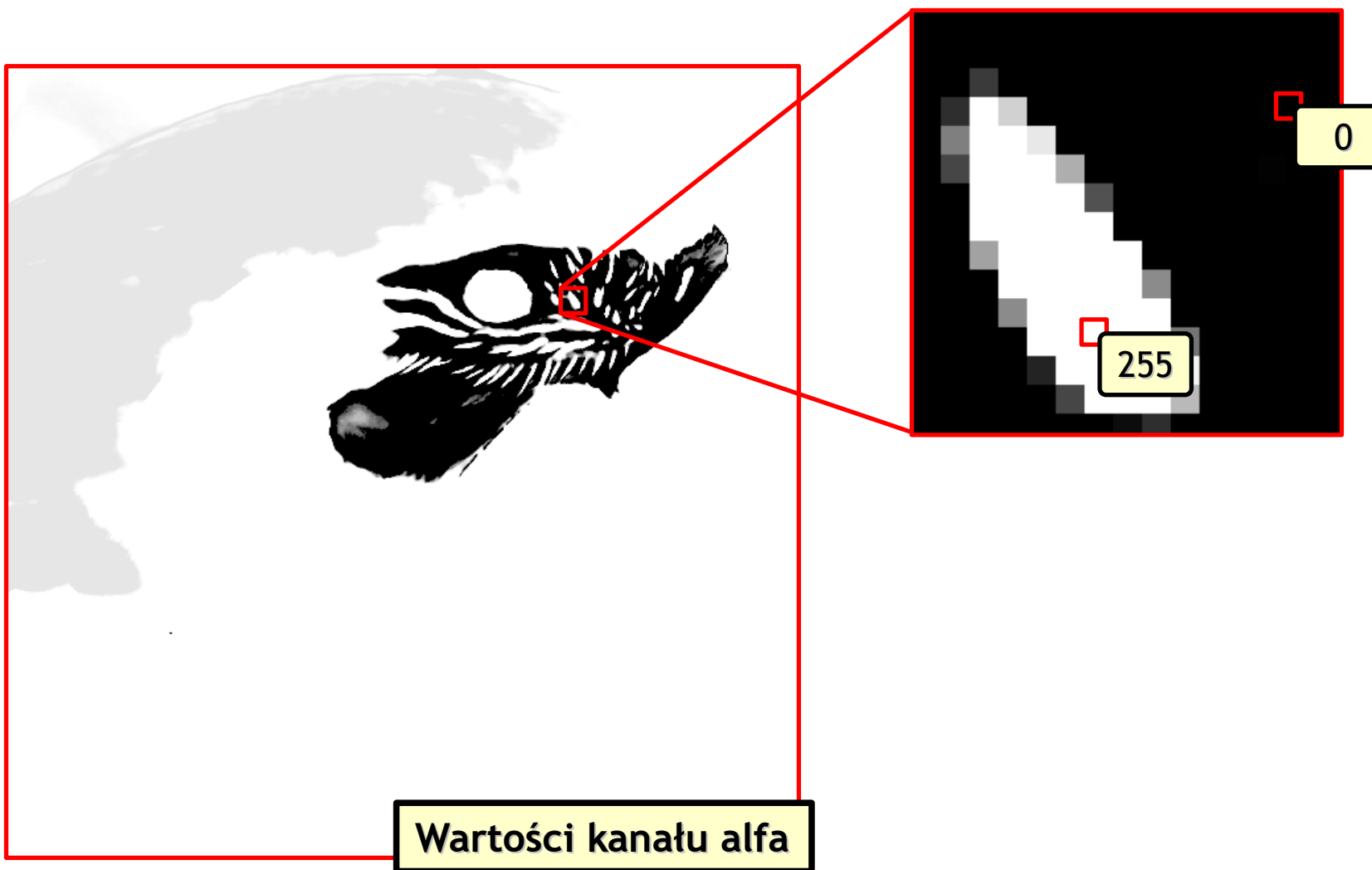
Cyfrowa reprezentacja obrazu: grafika bitmapowa (tryb RGBA)

Reprezentacja **RGBA** oznacza obraz RGB z **kanalem alfa**, który decyduje o stopniu przezroczystości pikseli: wartość 0 w tym kanale oznacza pełną przezroczystość, zaś maksymalna (zwykle 255) to brak przezroczystości. Wartości pośrednie odpowiadają częściowemu przenikaniu.



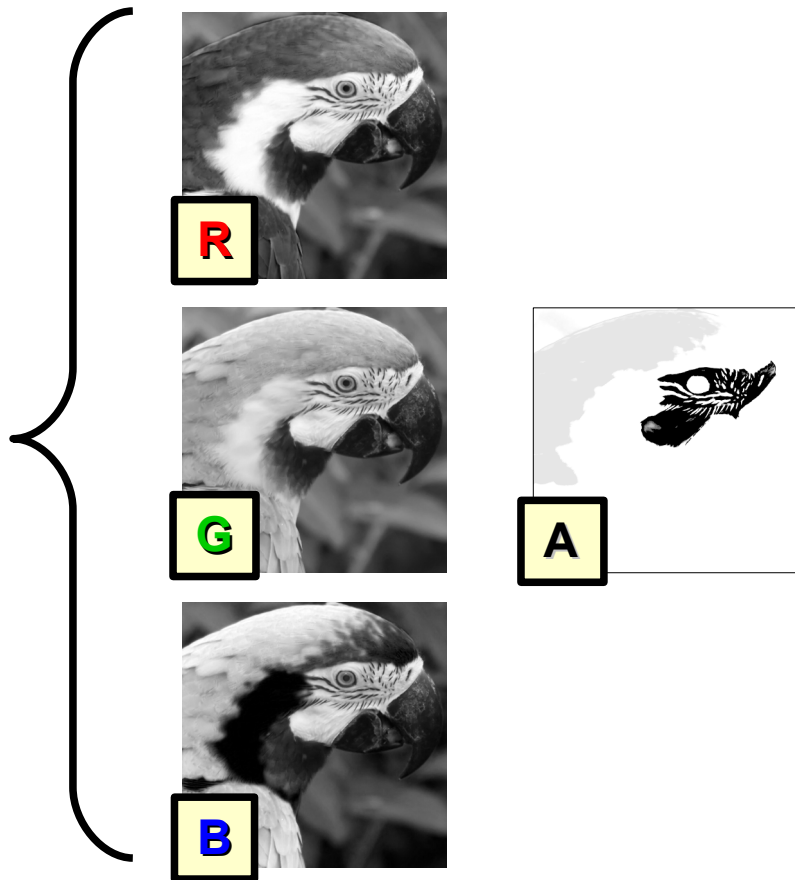
Cyfrowa reprezentacja obrazu: grafika bitmapowa (tryb RGBA)

Kanał alfa można rozpatrywać jako 8-bitowy obraz w skali szarości, którego piksele wpływają na przezroczystość swoich odpowiedników w pozostałych trzech kanałach.



Cyfrowa reprezentacja obrazu: grafika bitmapowa (tryb RGBA)

Obraz ARGB to ideowo cztery obrazy w skali szarości (cztery tablice o wartościach z zakresu [0, 255]), odpowiadające kanałom barwnym i alfa.



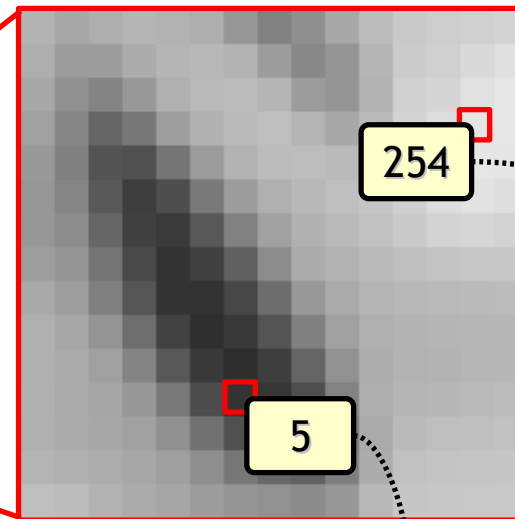
W praktyce piksele zwykle kodowane są jako liczby 32-bitowe, niosące informacje o składowych R, G, B (po 8 bitów na kanał) i wartości kanału alfa (też 8 bitów).

| 8 | | | | | | | | 8 | | | | | | | | 8 | | | | | | | | 8 | | | | | | | |
|-------|----|----|----|----|----|----|----|-----|----|----|----|----|----|----|----|-------|----|----|----|----|----|---|---|------|---|---|---|---|---|---|---|
| Alpha | | | | | | | | Red | | | | | | | | Green | | | | | | | | Blue | | | | | | | |
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |

Cyfrowa reprezentacja obrazu: grafika bitmapowa (tryb indeksowany)

W **obrazie z tablicą kolorów (indeksowanym, indexed color)** każdy z pikseli zawiera liczbę naturalną będącą indeksem w **palecie, czyli tablicy kolorów RGB**.

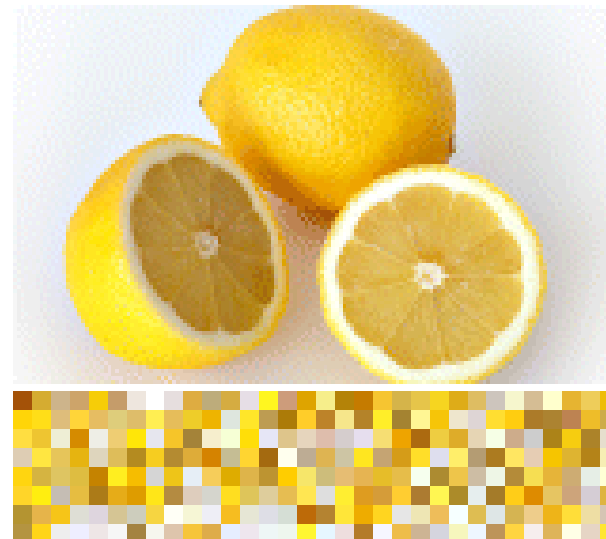
Współcześnie paleta zazwyczaj zawiera 256 (2^8) pozycji, a na każdą składową koloru przeznaczają się po 8 bitów.



| Paleta kolorów | | | |
|----------------|-----|-----|-----|
| # | R | G | B |
| 0 | 64 | 0 | 17 |
| 1 | 33 | 255 | 19 |
| ... | ... | ... | ... |
| 5 | 31 | 31 | 33 |
| ... | ... | ... | ... |
| 254 | 236 | 14 | 16 |
| 255 | 128 | 16 | 9 |

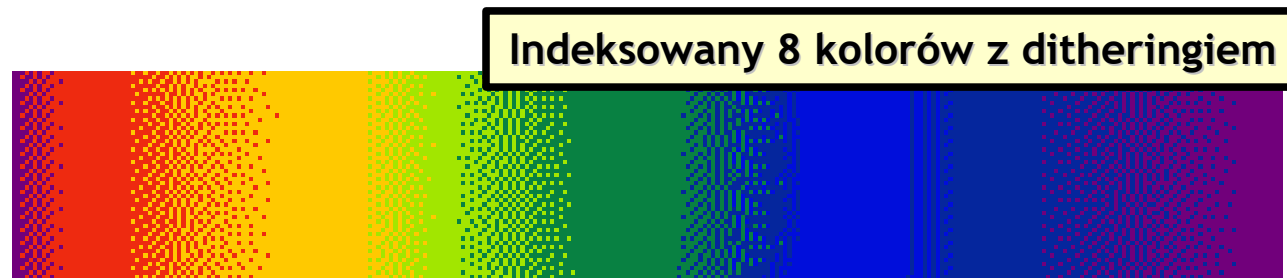
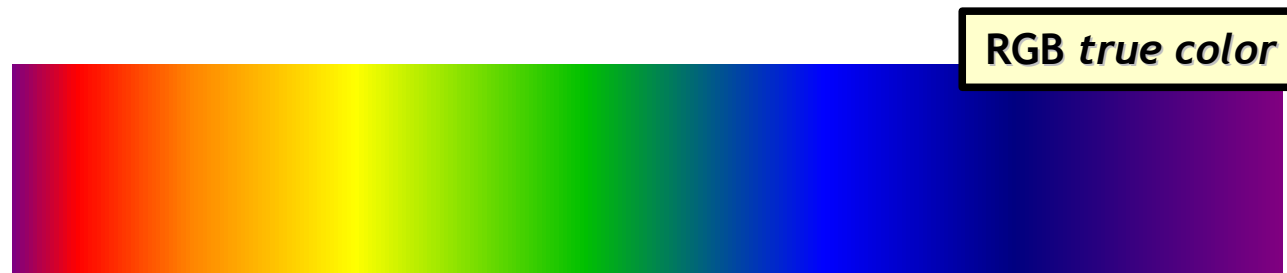
Cyfrowa reprezentacja obrazu: grafika bitmapowa (tryb indeksowany)

Odpowiedni dobór palety pozwala zachować akceptowalną jakość obrazu pomimo redukcji liczby jednocześnie wyświetlanych kolorów do maksymalnie 256.



Cyfrowa reprezentacja obrazu: grafika bitmapowa (tryb indeksowany)

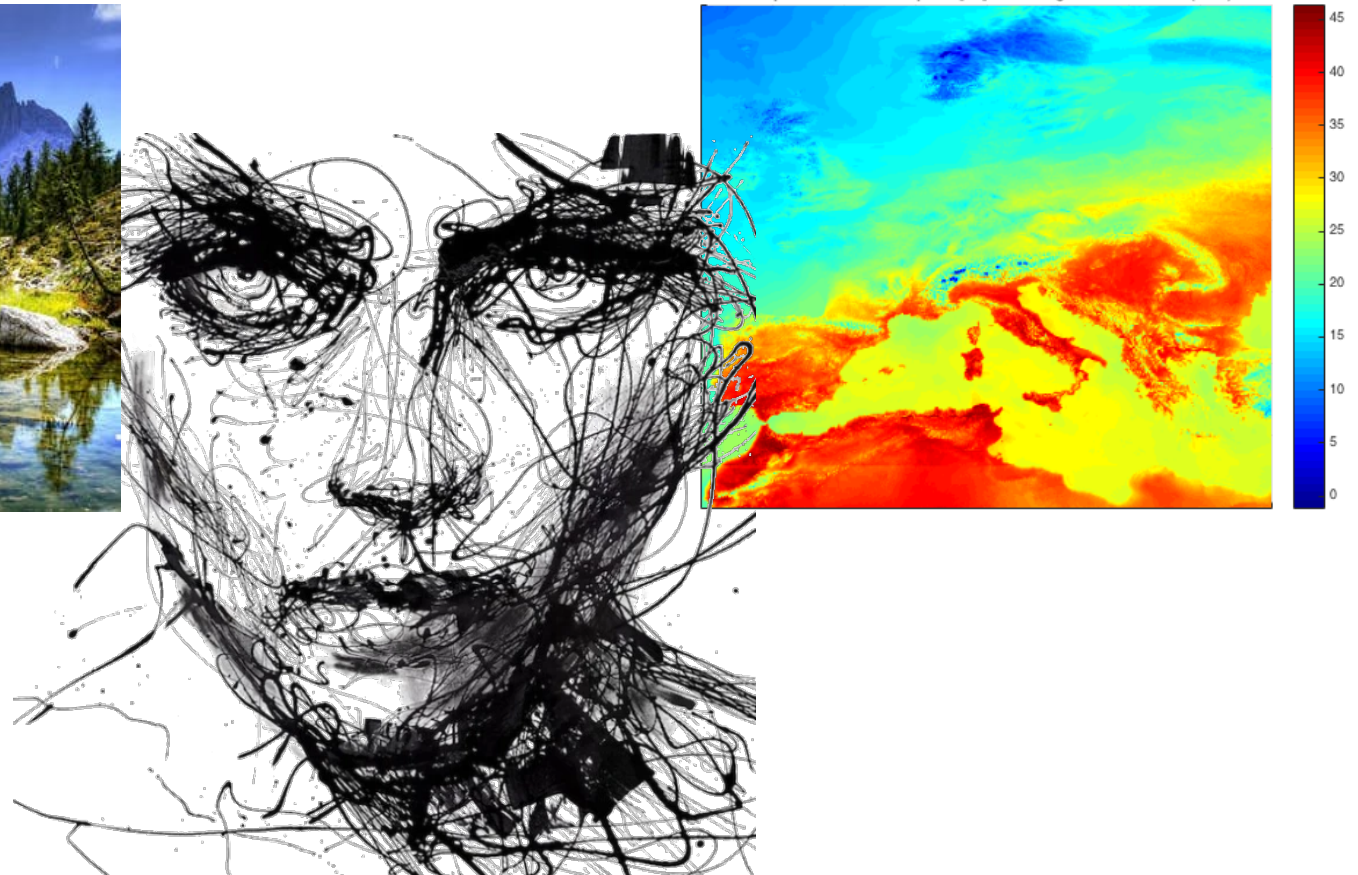
Aby wywołać złudzenie płynnych przejść tonalnych dodatkowo można zastosować **dithering (rozsiewanie)**, w którym odpowiedni algorytm zastępuje brakujące kolory „wzorkiem” złożonym z pikseli w kolorach dostępnych w paletcie.



Cyfrowa reprezentacja obrazu: grafika bitmapowa (zastosowania)

Reprezentacja bitmapowa jest prosta koncepcyjnie i łatwa w implementacji. Jest też w pełni zgodna ze sposobem działania sprzętu służącego do dygitalizacji (cyfrowych aparatów fotograficznych i skanerów) oraz urządzeń wyświetlających.

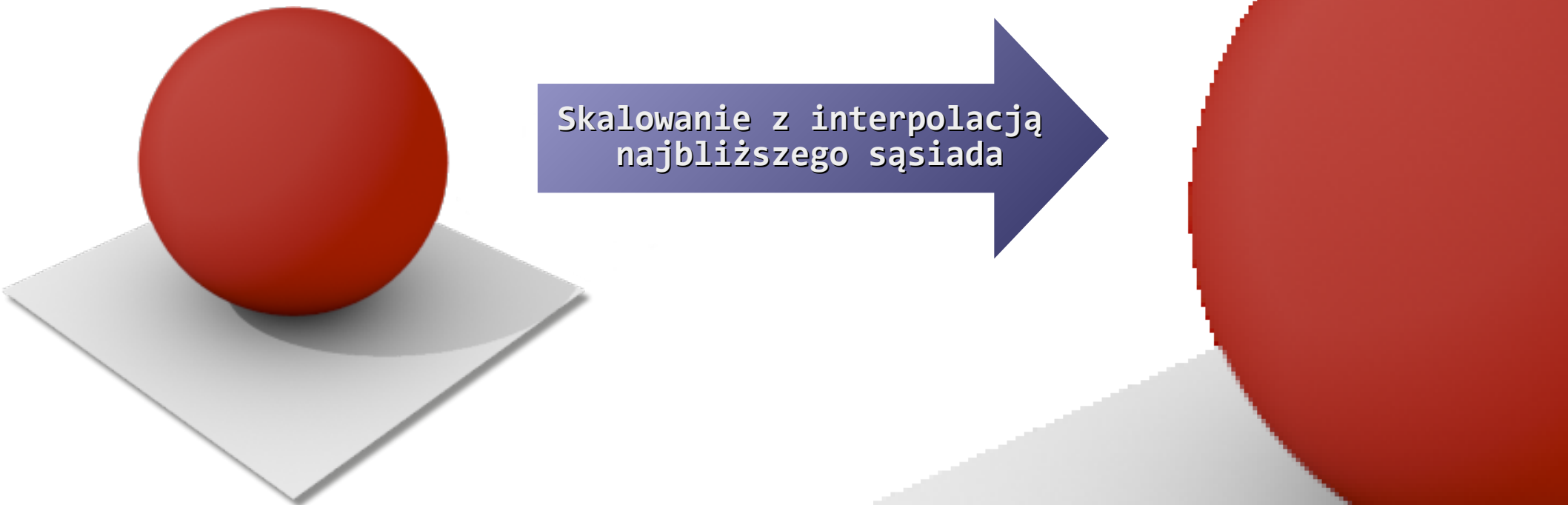
Reprezentacja ta **służy przede wszystkim do przechowywania obrazów pochodzenia naturalnego** (zdjęć, klatek filmów), ale jest również często **używana do wizualizacji danych oraz przy tworzeniu grafik o charakterze artystycznym**.



Cyfrowa reprezentacja obrazu: grafika bitmapowa (ograniczenia)

Reprezentacja bitmapowa ma jednak pewne wady i ograniczenia, w tym:

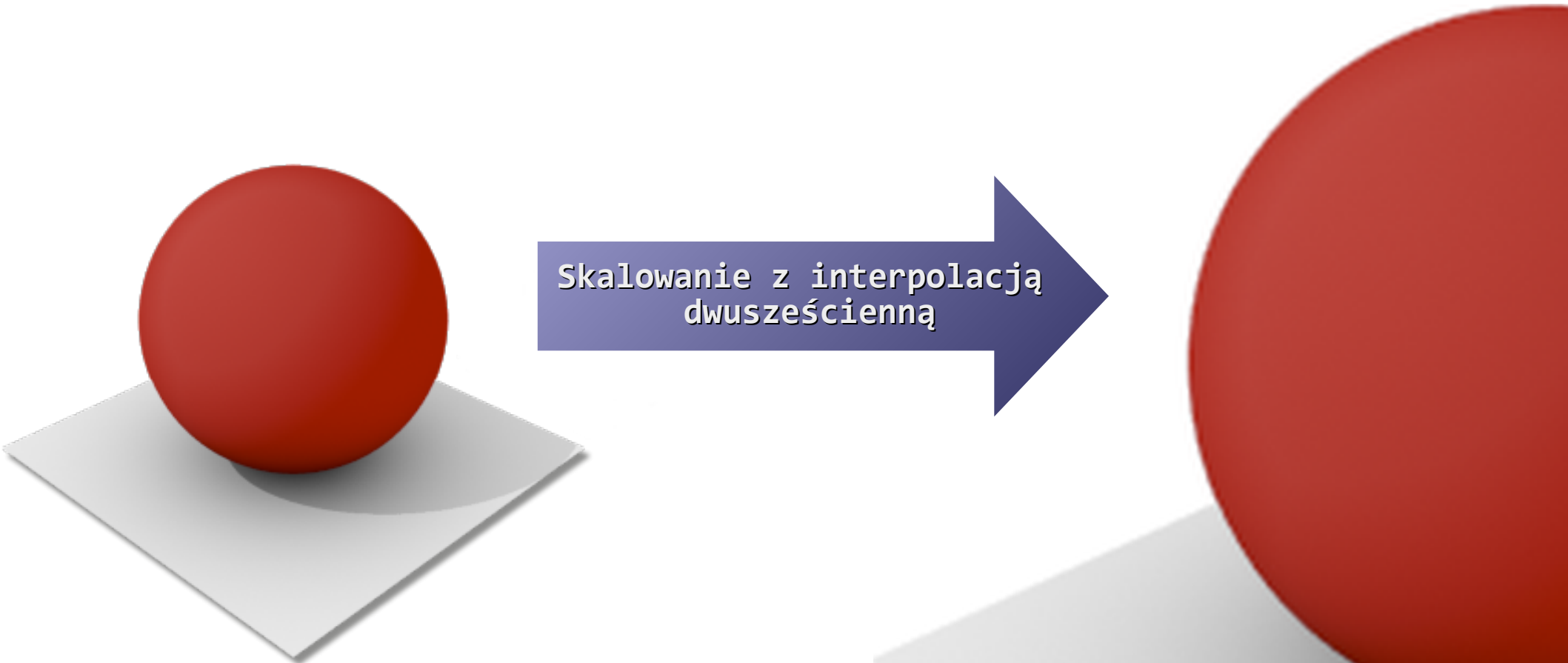
- **transformacje geometryczne (w tym skalowanie) wiążą się stratą jakości.** Wymagają one użycia **interpolacji**, w której nowe piksele wyznaczone są na podstawie kolorów swoich sąsiadów w oryginalnym obrazie. W zależności od wielkości uwzględnionego otoczenia, może to prowadzić do „pikselozy” (metoda najbliższego sąsiada) lub też utraty ostrości (interpolacja dwuliniowa lub dwusześcienna);



Cyfrowa reprezentacja obrazu: grafika bitmapowa (ograniczenia)

Reprezentacja bitmapowa ma jednak pewne wady i ograniczenia, w tym:

- **transformacje geometryczne (w tym skalowanie) wiążą się stratą jakości.** Wymagają one użycia **interpolacji**, w której nowe piksele wyznaczone są na podstawie kolorów swoich sąsiadów w oryginalnym obrazie. W zależności od wielkości uwzględnionego otoczenia, może to prowadzić do „pikselozy” (metoda najbliższego sąsiada) lub też utraty ostrości (interpolacja dwuliniowa lub dwusześcienna);

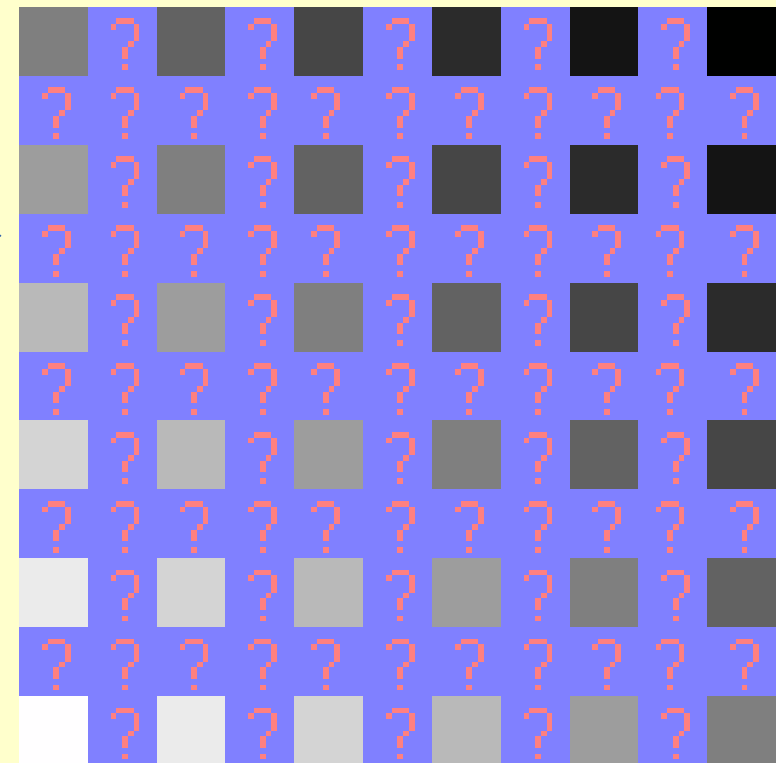
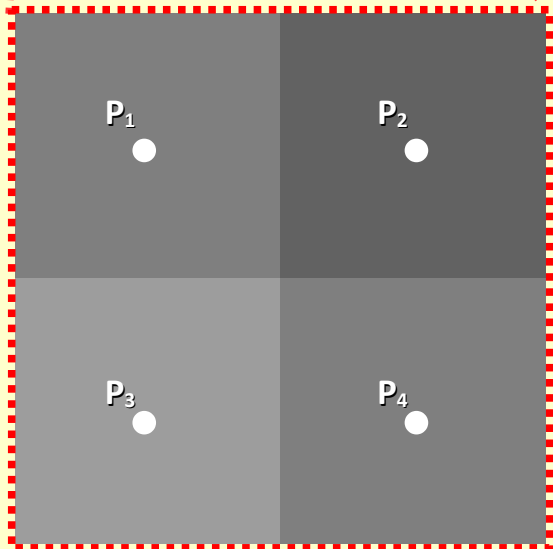
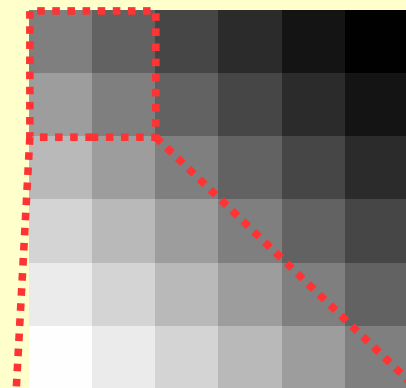


Cyfrowa reprezentacja obrazu: grafika bitmapowa (ograniczenia)

Reprezentacja bitmapowa ma jednak pewne wady i ograniczenia, w tym:

- **tr** Problem wyznaczenia wartości pikseli w obrazie po skalowaniu lub innej transformacji geometrycznej

on
sw
ot
ut

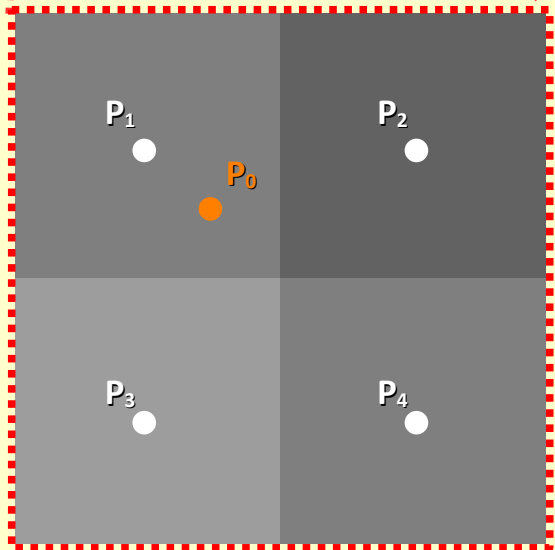
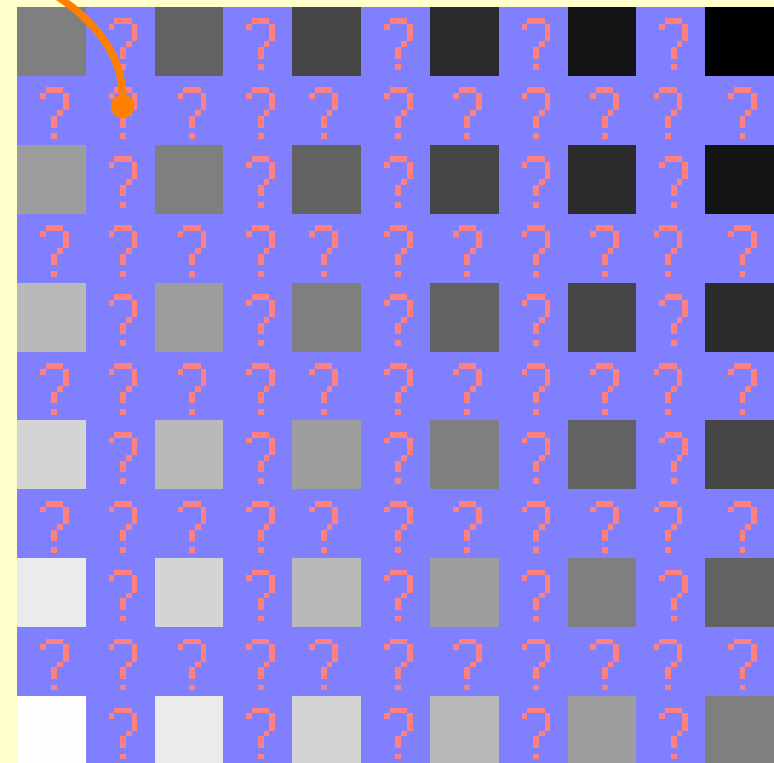
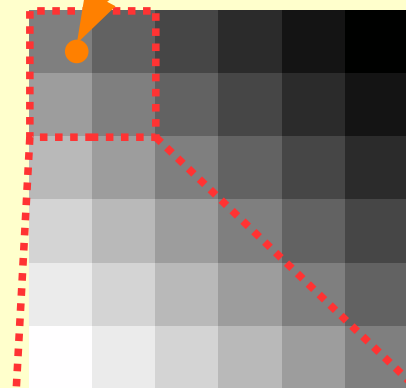


Cyfrowa reprezentacja obrazu: grafika bitmapowa (ograniczenia)

Reprezentacja bitmapowa ma jednak pewne wady i ograniczenia, w tym:

- **tr** Interpolacja najbliższego sąsiada (uwzględnia kolor najbliższego piksela)

on
sw
ot
ut



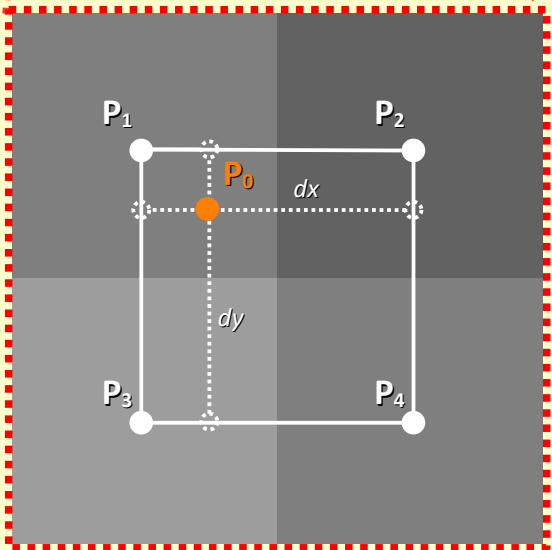
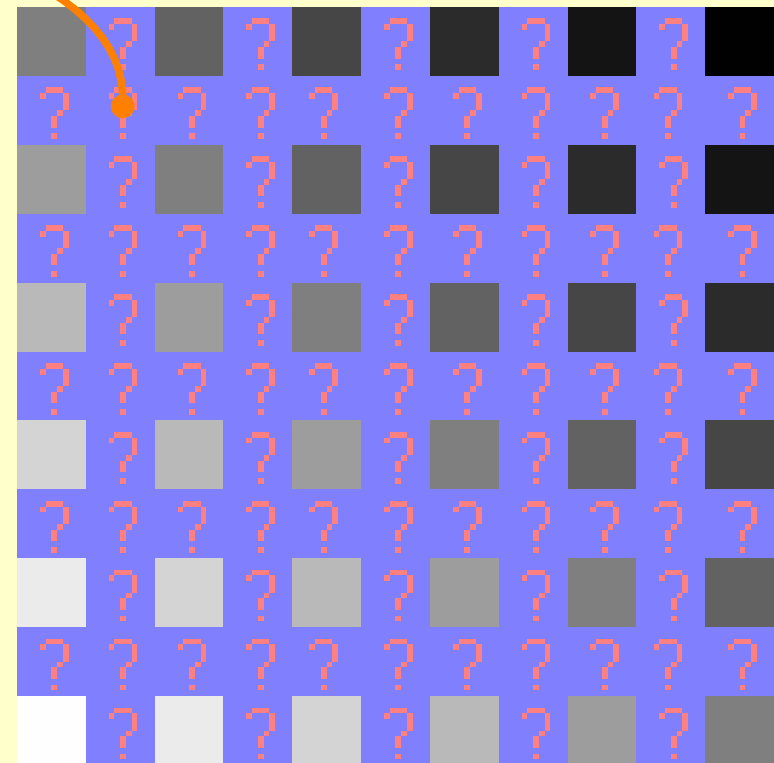
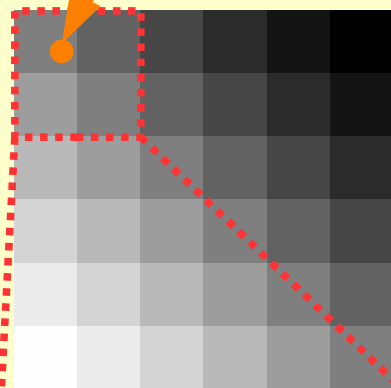
$$I_{P_0} = I_{P_1}$$

Cyfrowa reprezentacja obrazu: grafika bitmapowa (ograniczenia)

Reprezentacja bitmapowa ma jednak pewne wady i ograniczenia, w tym:

- **tr** Interpolacja biliniowa (uwzględnia kolory czterech sąsiednich pikseli)

on
sw
ot
ut



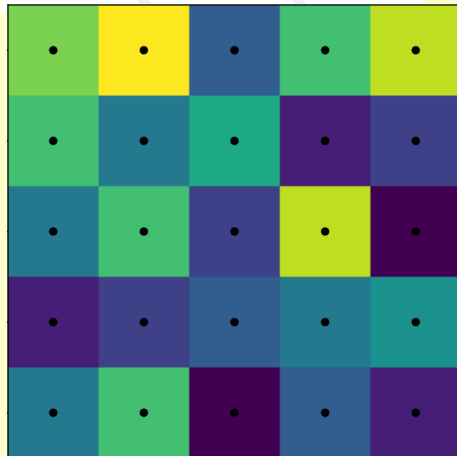
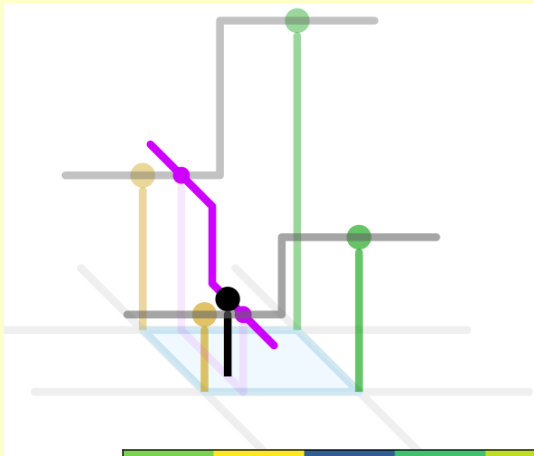
$$I_{P_0} = I_{P_1} \cdot (1 - d_x) \cdot (1 - d_y) + I_{P_2} \cdot d_x \cdot (1 - d_y) + I_{P_3} \cdot (1 - d_x) \cdot d_y + I_{P_4} \cdot d_x \cdot d_y$$

Cyfrowa reprezentacja obrazu: grafika bitmapowa (ograniczenia)

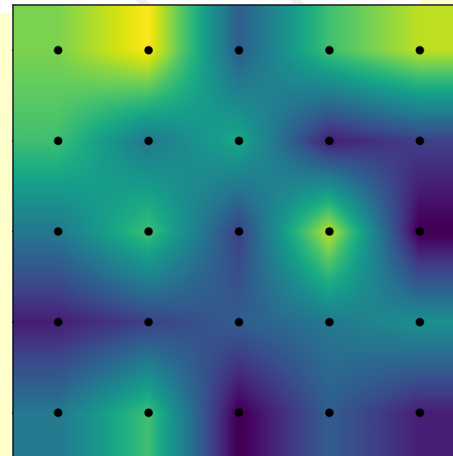
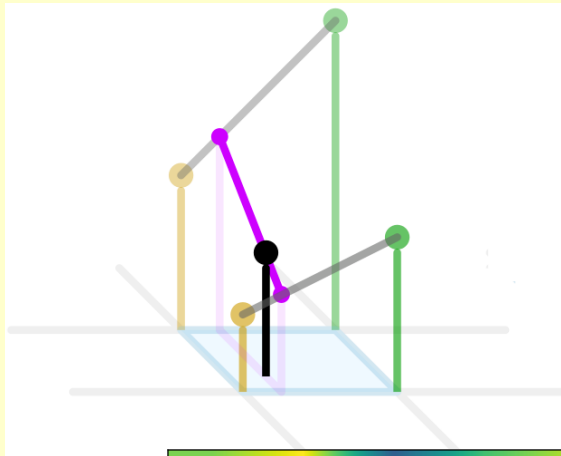
Reprezentacja bitmapowa ma jednak pewne wady i ograniczenia, w tym:

Porównanie metod interpolacji

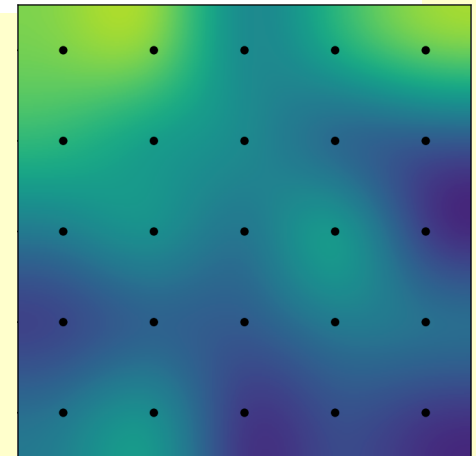
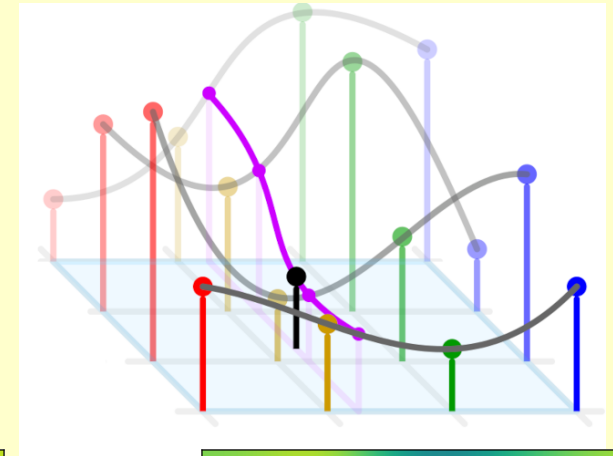
Najbliższego sąsiada



Biliniowa



Bisześcienna

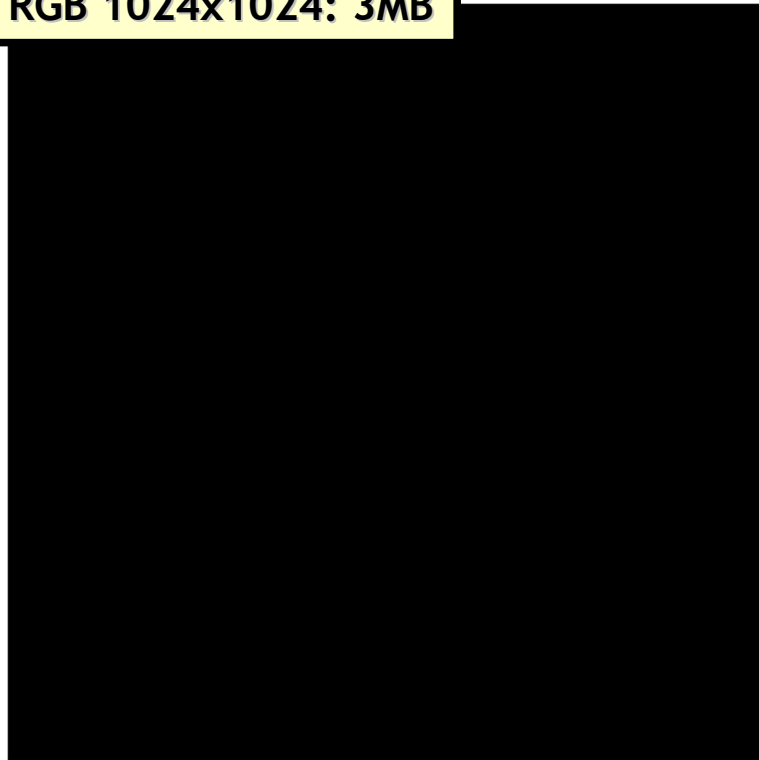


Cyfrowa reprezentacja obrazu: grafika bitmapowa (ograniczenia)

Reprezentacja bitmapowa ma jednak pewne wady i ograniczenia, w tym:

- **obraz nie niesie bezpośrednio informacji o przedstawionych obiektach**, ich rodzaju, liczbie i relacjach pomiędzy nimi. Fakt ten utrudnia edycję i analizę obrazów. Jego skutkiem jest też **niezależność rozmiaru danych od stopnia skomplikowania obrazu**;

RGB 1024x1024: 3MB



RGB 1024x1024: 3MB



Cyfrowa reprezentacja obrazu: grafika bitmapowa (ograniczenia)

Reprezentacja bitmapowa ma jednak pewne wady i ograniczenia, w tym:

- **obrazy zajmują znaczne ilości pamięci operacyjnej i przestrzeni dyskowej.** Dlatego też praktycznie zawsze poddawane są **kompresji** przed zapisem.

RGB 4000 x 3000 (12 Mpx): ~33MB



GRAFIKA KOMPUTEROWA

Wykład 2: kompresja obrazów bitmapowych

Tymon Rubel

Zakład Elektroniki Jądrowej i Medycznej
Instytut Radioelektroniki i Techniki Multimedialnych PW

Kompresja obrazów bitmapowych



William Shakespeare - „Działa zebrane”:
(kodowanie ASCII 8bit)

~6MB



Autor nieznany - „Zdjęcie z imienin”:
(4000 x 3000, 3 x 8bit)

~33MB



Metallica - „Death Magnetic”:
(stereo, 16bit, 44.1KHz)

~757MB



Peter Jackson - „Władca pierścieni: Dwie wieże”:
(720 x 576, 3 x 8bit; stereo, 16bit, 44.1KHz)

~300GB



Dyskietka:

80KB - 240MB



Płyta CD:

185MB - 870MB



Płyta DVD:

1.46GB - 17.08GB



Płyta Blue-Ray:

7.8GB - 128GB



Dysk twardy:

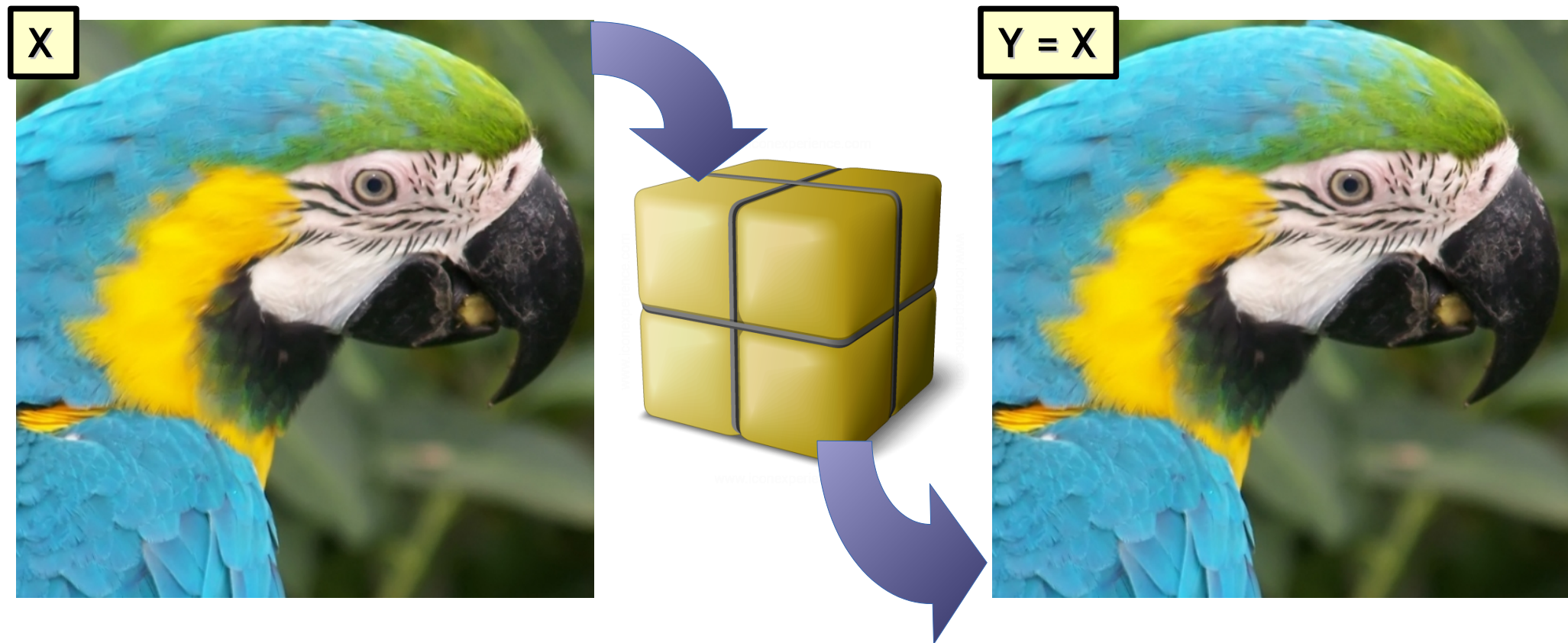
kilka MB - kilka TB

Kompresja obrazów bitmapowych: metody bezstratne

Algorytmy **kompresji bezstratnej** (*lossless compression*) zapewniają odtworzenie danych z postaci skompresowanej do postaci pierwotnej bez utraty informacji.

Stopień kompresji (czyli stosunek rozmiaru danych przed i po kompresji) zwykle nie jest znacząco większy od 3:1.

Popularne formaty graficzne z kompresją bezstratną: **PNG, TIFF, GIF.**

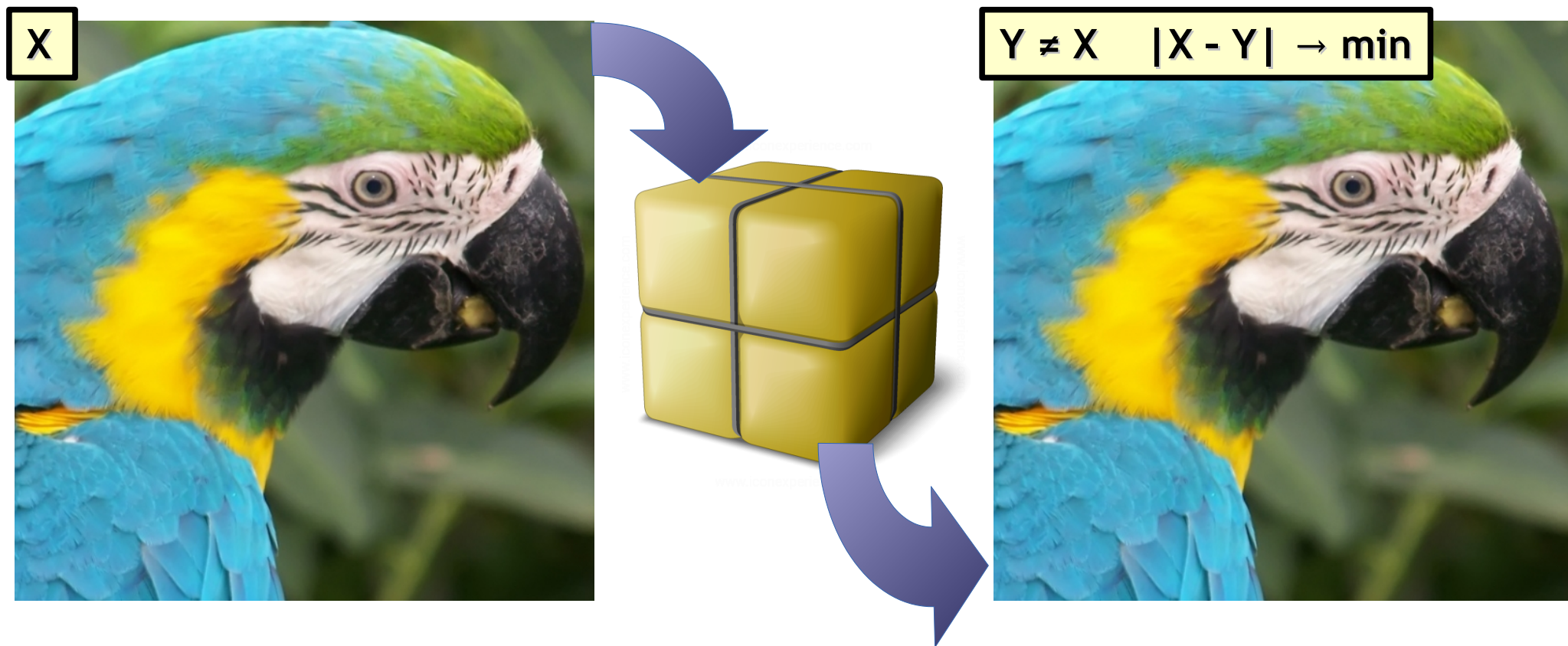


Kompresja obrazów bitmapowych: metody stratne

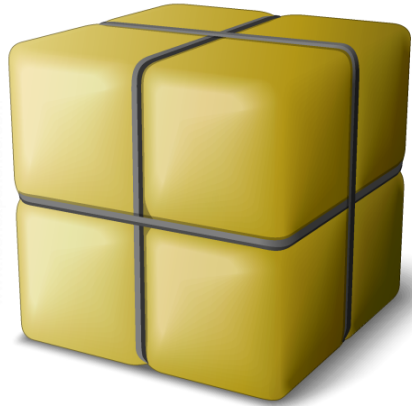
Kompresja stratna (*lossy compression*) pozwala na zdecydowanie większe stopienie kompresji, które jednak osiągnane są kosztem utraty informacji. Odtworzony obraz nie będzie więc identyczny z oryginalnym, ale dzięki użyciu odpowiedniego modelu psychowizualnego różnice będą trudne do wychwycenia przez ludzkie oko.

Stopień kompresji może przekraczać 100:1 przy zachowaniu akceptowalnej jakości.

Popularne formaty graficzne z kompresją stratną: **JPEG**, **JPEG2000**, **WebP**.



Kompresja obrazów bitmapowych: metody stratne



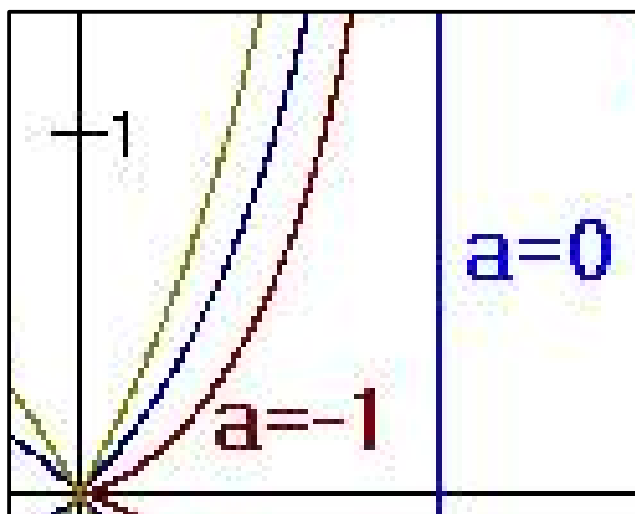
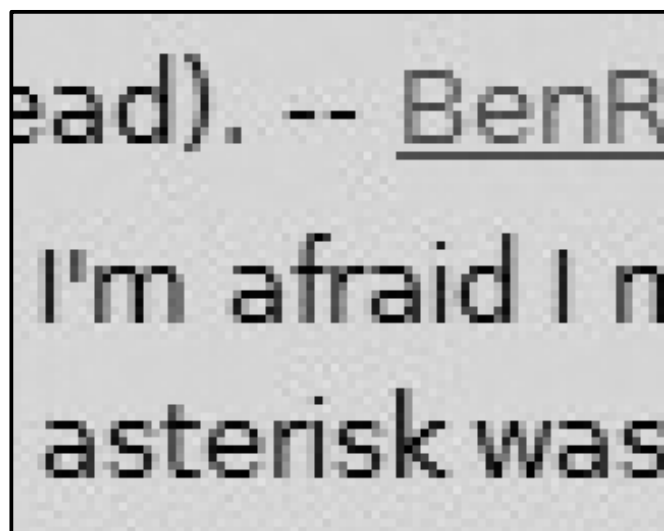
Kompresja 15:1



Kompresja 180:1

Kompresja obrazów bitmapowych: metody stratne

W przypadku obrazów o wyraźnych krawędziach, bez łagodnych przejść tonalnych (np. logotypów, rysunków technicznych, wykresów, tekstu) **algorytmy stratne mogą spowodować widoczne artefakty nawet przy niewielkim stopniu kompresji**. Dlatego przy zapisywaniu tego typu obrazów należy używać z formatów, w których stosowana jest kompresja bezstratna (np. PNG zamiast JPG).



GRAFIKA KOMPUTEROWA

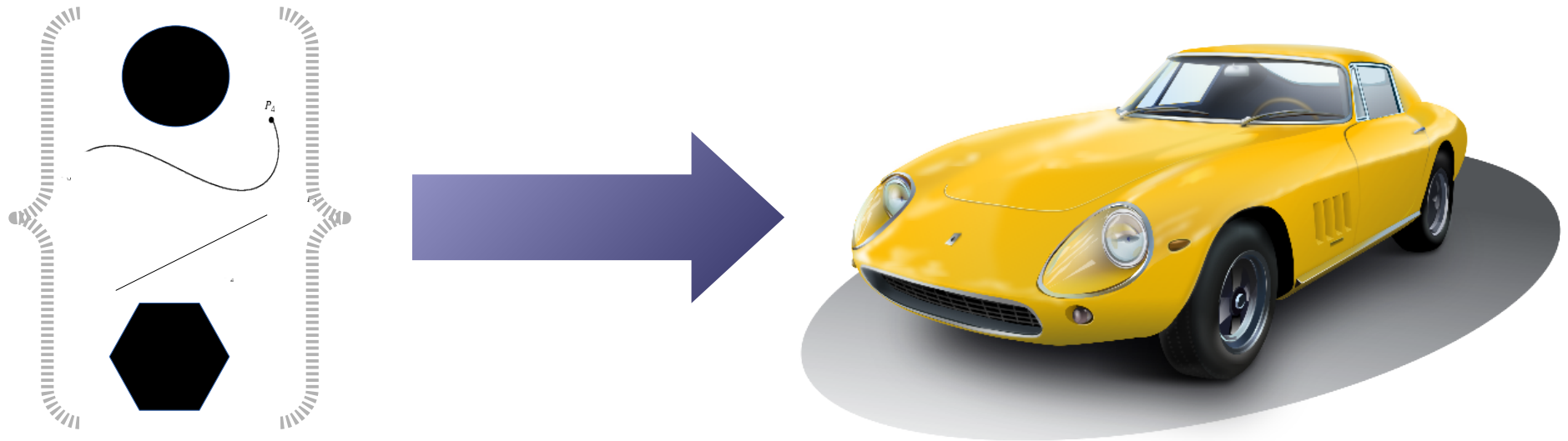
Wykład 2: cyfrowa reprezentacja obrazu (grafika wektorowa)

Tymon Rubel

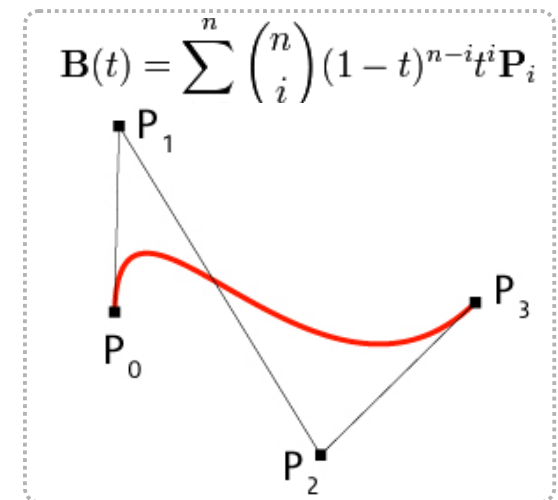
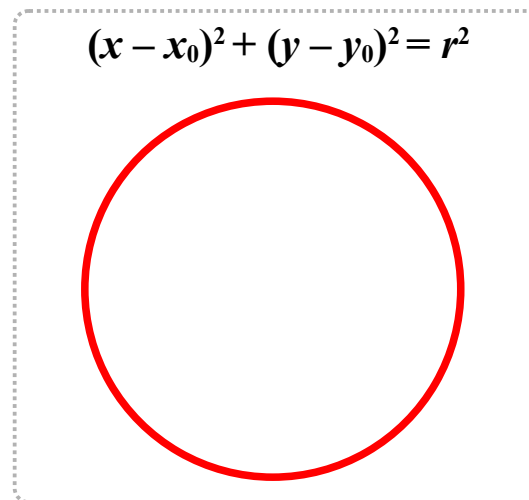
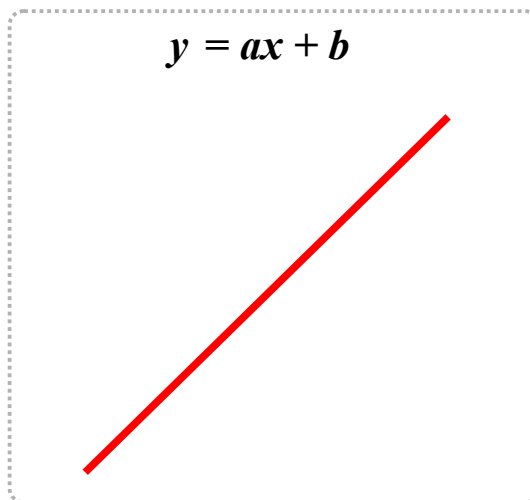
Zakład Elektroniki Jądrowej i Medycznej
Instytut Radioelektroniki i Techniki Multimedialnych PW

Cyfrowa reprezentacja obrazu: grafika wektorowa

W **grafice wektorowej** obraz jest zbiorem obiektów złożonych z **prymitywów**, czyli podstawowych figur geometrycznych (np. odcinków, krzywych, okręgów).

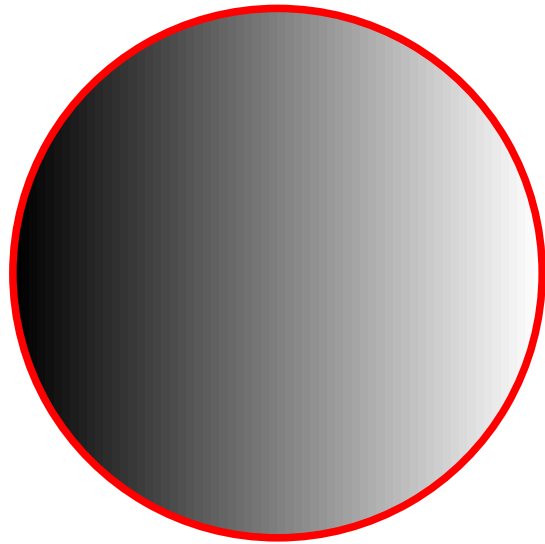


Prymitywy definiuje się za pomocą odpowiedniego opisu matematycznego, w sposób niezależny od konkretnych wymiarów wyrażonych w pikselach.



Cyfrowa reprezentacja obrazu: grafika wektorowa

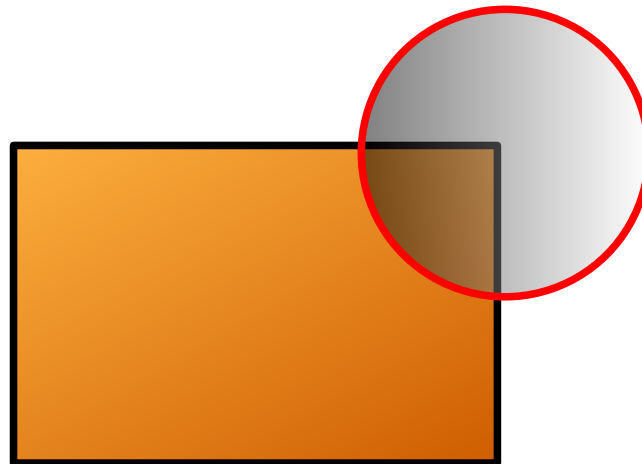
Każdy z prymitywów może być opisywany przy użyciu szerokiego zestawu atrybutów zarówno związanych z kształtem, kolorem oraz sposobem wypełniania, ...



```
rodzaj figury = okrąg  
parametry figury = [x, y, r]  
rodzaj linii = ciągła  
grubość linii = 0.1  
kolor linii = [255 0 0]  
typ wypełnienia = gradient  
kolor wypełnienia = [255 255 255]→[0 0 0]  
...
```

... jak i charakteryzujących ich relacje z innymi elementami obrazu.

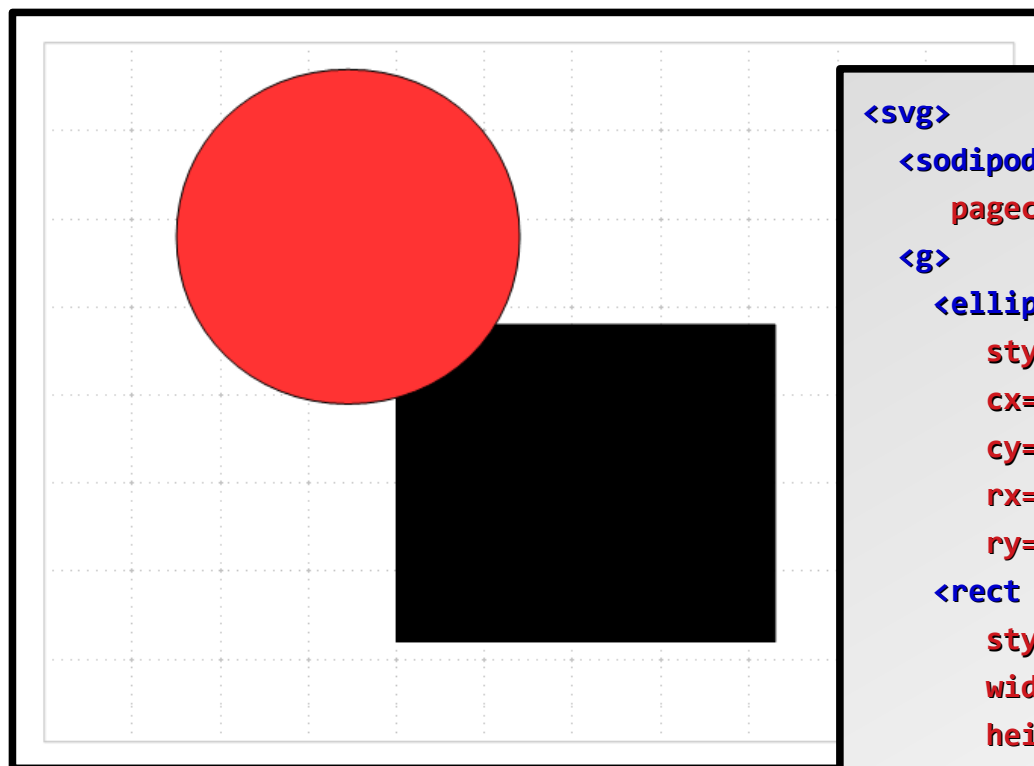
```
warstwa = dolna  
zakrywanie = 100%  
...
```



```
warstwa = górna  
zakrywanie = 50%  
...
```

Cyfrowa reprezentacja obrazu: grafika wektorowa

Z programistycznego punktu widzenia, **obraz w postaci wektorowej jest dokumentem opisującym prymitywy i relacje pomiędzy nimi**. Taka forma przechowywania danych pozwala ograniczyć zużycie pamięci i zmniejszyć rozmiary plików graficznych.



Format SVG (Scalable Vector Graphics)

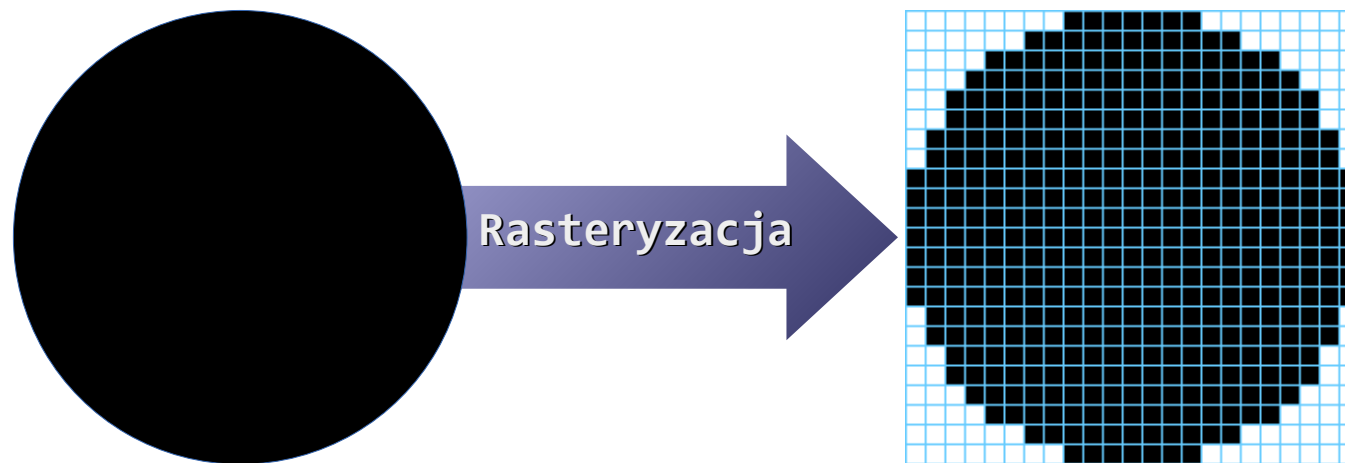
```
<svg>
  <sodipodi:namedview
    pagecolor="#ffffff" />
  <g>
    <ellipse
      style="fill:#ff0000;fill-opacity:1;stroke:none"
      cx="99.029755"
      cy="105.36607"
      rx="23.434523"
      ry="23.8125" />
    <rect
      style="fill:#000000;fill-opacity:1;stroke:none"
      width="59.720234"
      height="60.476189"
      x="120.95238"
      y="122.37499" />
  </g>
</svg>
```

Przykładowe wektorowe formaty graficzne: **SVG, PDF, WMF, EPS, CDR, AI**.

Cyfrowa reprezentacja obrazu: grafika wektorowa

Grafika wektorowa przed jej wyświetleniem lub utrwaleniem musi zostać poddana **rasteryzacji**, w czasie której idealne figury geometryczne zamieniane są na obraz bitmapowy o skończonej rozdzielczości.

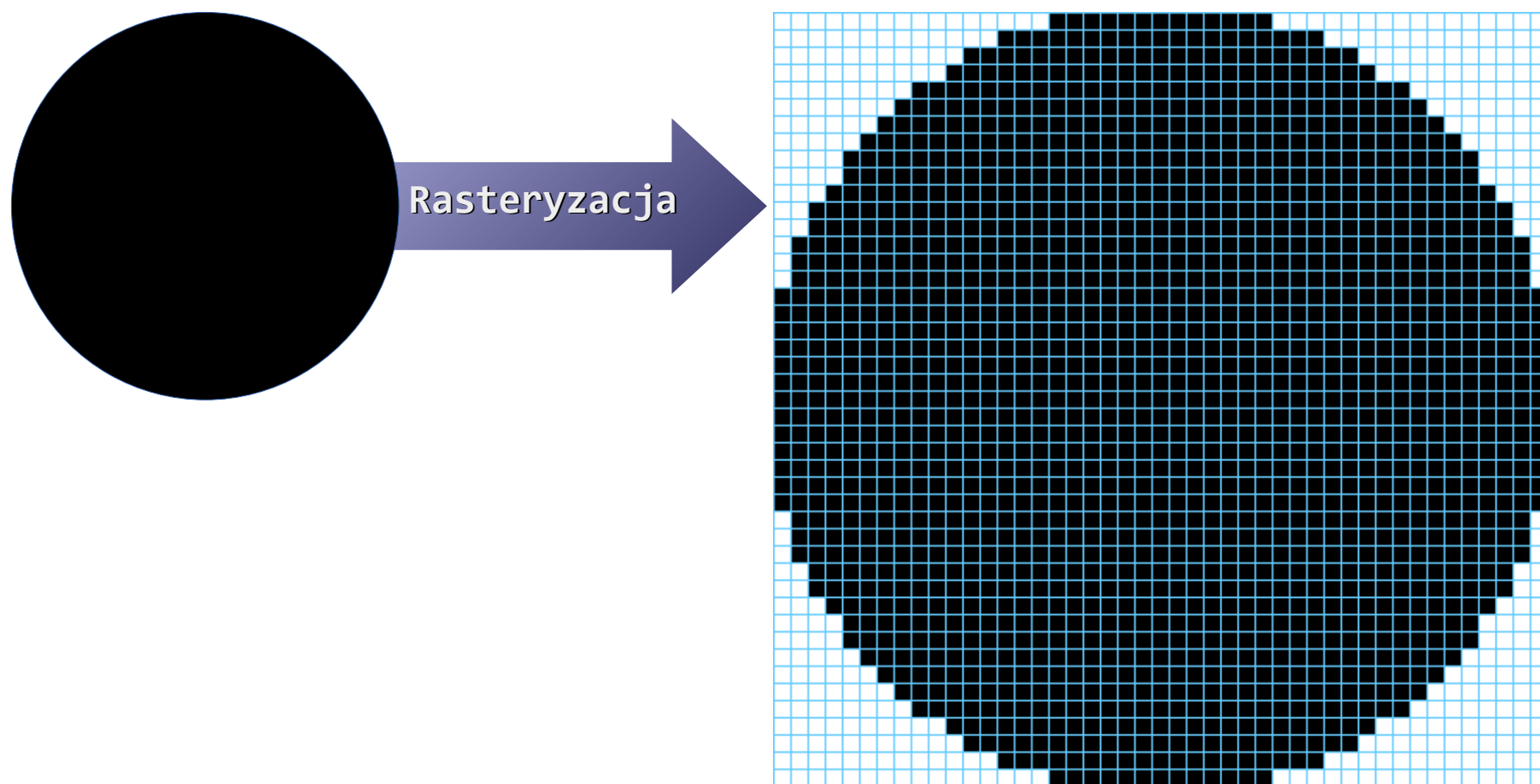
Proces ten jednak może zostać przeprowadzony w taki sposób, aby możliwie dobrze dostosować obraz wynikowy do właściwości urządzenia reprodukującego, dzięki czemu **grafika w reprezentacji wektorowej dobrze poddaje się skalowaniu**.



Cyfrowa reprezentacja obrazu: grafika wektorowa

Grafika wektorowa przed jej wyświetleniem lub utrwaleniem musi zostać poddana **rasteryzacji**, w czasie której idealne figury geometryczne zamieniane są na obraz bitmapowy o skończonej rozdzielczości.

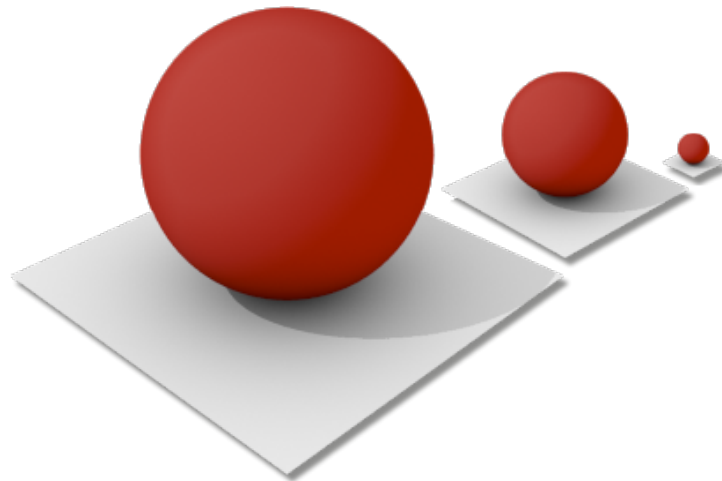
Proces ten jednak może zostać przeprowadzony w taki sposób, aby możliwie dobrze dostosować obraz wynikowy do właściwości urządzenia reprodukującego, dzięki czemu **grafika w reprezentacji wektorowej dobrze poddaje się skalowaniu**.



Cyfrowa reprezentacja obrazu: grafika wektorowa (zastosowania)

Wektorowa reprezentacja obrazu jest **używana podczas przygotowywania materiałów przeznaczonych do wydruku**, ale ma również szerokie **zastosowanie przy tworzeniu wszelkich grafik nie wymagających fotorealizmu**, w tym:

- logotypów
- wykresów i infografik;
- rysunków technicznych, diagramów i schematów;
- map i planów;
- ilustracji i komiksów;
- czcionek komputerowych;
- ...



Cyfrowa reprezentacja obrazu: grafika wektorowa (ograniczenia)

Główną wadą reprezentacji wektorowej jest **trudność w uzyskaniu wysokiego stopnia fotorealizmu**, a w efekcie - **niemożność użycia jej do przechowywania cyfrowych obrazów pochodzenia naturalnego**, w tym np. zdjęć.



Reprezentacja rastrowa



Reprezentacja wektorowa

DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ

Materiały opracowane w ramach zadania 15 „Modyfikacja międzywydziałowych studiów I stopnia na kierunku Inżynieria Biomedyczna” projektu „NERW PW. Nauka - Edukacja - Rozwój - Współpraca”, współfinansowanego jest ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego



Fundusze Europejskie
Wiedza Edukacja Rozwój

**Politechnika
Warszawska**

Unia Europejska
Europejski Fundusz Społeczny

