

WPROWADZENIE

DO ANALIZY OBRAZÓW CYFROWYCH

LITERATURA PODSTAWOWA

1. R. C. Gonzalez, R. E. Woods, *Digital Image Processing*, Prentice Hall, 2002
2. J. Woźnicki, *Podstawowe techniki przetwarzania obrazu*, WKŁ, Warszawa 1998
3. A. Drozdek, *Wprowadzenie do kompresji danych*, WNT 1999
4. L. Wojnar, K. J. Kurzydłowski, *Praktyka analizy obrazu*, Polskie Towarzystwo Stereologiczne, Kraków 2002
5. B. Jähne, *Digital Image Processing. Concepts, Algorithms and Scientific Applications*, Springer –Verlag 2002
6. G. Held, *Data and Image Compression. Tools and Techniques*, John Wiley and Sons Ltd, 1996
7. K.W. Zieliński, M. Strzelecki, *Komputerowa analiza obrazu*, Wydawnictwa Naukowe PWN 2002
8. G. Lohmann, *Volumetric Image Analysis*, Wiley & Teubner, 1998
9. C. D. Watkins, A. Sadun, S. Martenka, *Nowoczesne metody przetwarzania obrazu*, WNT, 1995

OBRAZY CYFROWE ?

?



Rok 1921 –
obraz uzyskany przy pomocy
telegraficznej drukarki

?



Rok 1922 –
obraz przekazywany przez Atlantyk

?



Rok 1929
transmisja obrazu
Londyn – Nowy Jork
przy pomocy sprzętu o wadze 15ton
(generałowie Pershing i Foch)

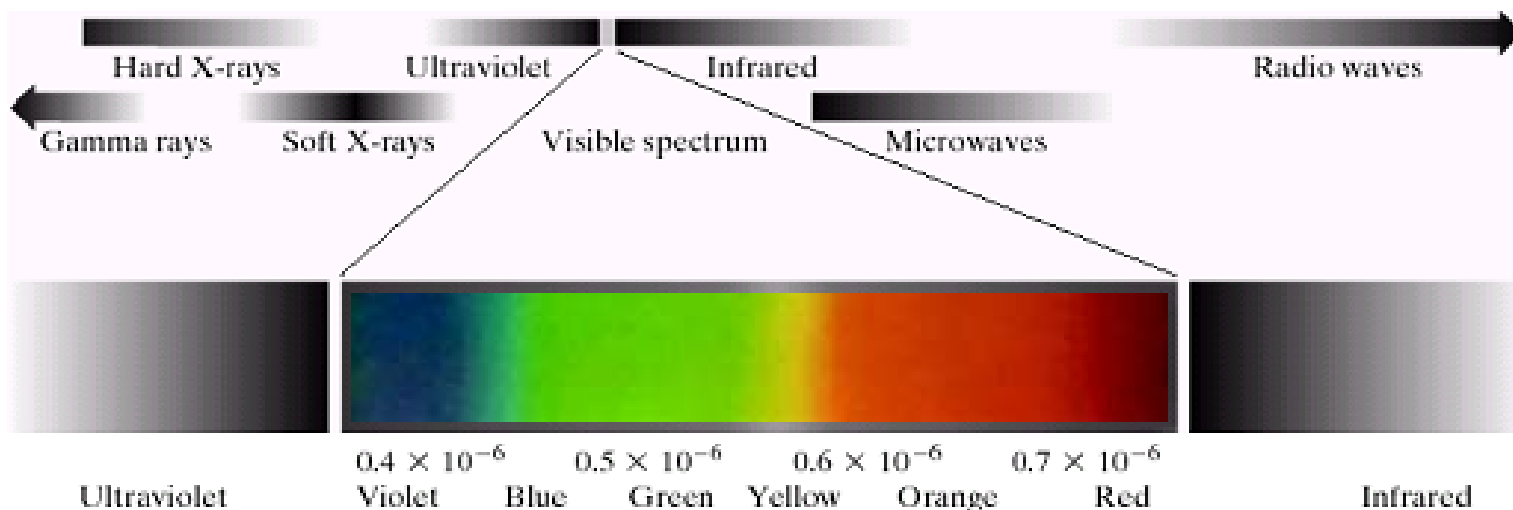
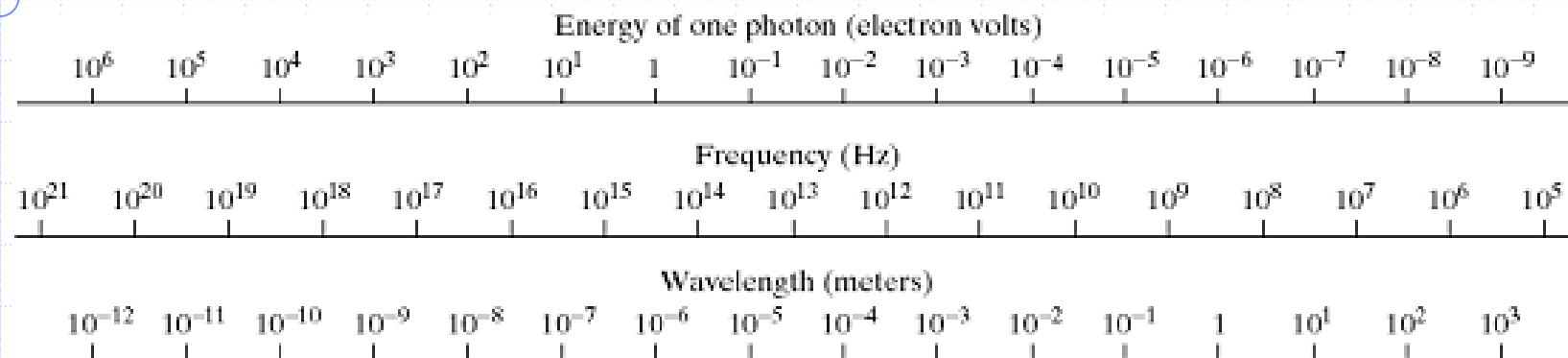
!



Rok 1964
Obraz powierzchni księżycyca
(*Ranger 7 USA*)

PRZYKŁADY OBRAZÓW CYFROWYCH...

Zakresy promieniowania elektromagnetycznego



METODY OBRAZOWANIA jako ważne narzędzia diagnostyczne w medycynie

- ◆ Promieniowanie elektromagnetyczne (γ , X, UV, światło, IR, mikrofale)
- ◆ Wiązki cząstek (e, n, α , β)
- ◆ Fale akustyczne (elastyczne, wymagające nośnika)

Obrazowanie

konwencjonalne

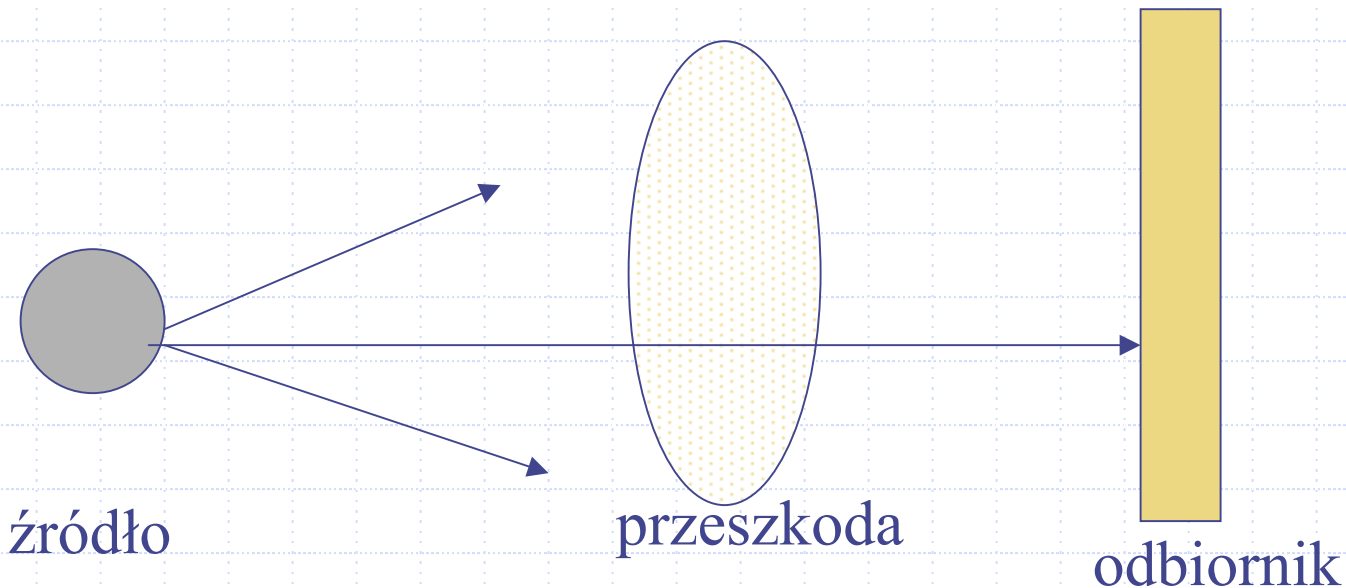
- ◆ zasady optyki klasycznej
- ◆ układy soczewek
- ◆ zjawiska dyfrakcji
- ◆ zjawiska załamania

niekonwencjonalne

- ◆ brak tych zasad optyki
- ◆ brak soczewek
- ◆ nie ma zjawisk dyfrakcji
- ◆ nie ma załamania

Obrazowanie niekonwencjonalne

- wiązki cząstek rozchodzą się w prostych liniach
- są osłabiane przez materię
- prostszej sytuacji fizycznej odpowiada skomplikowana sytuacja matematyczna



W zależności od obiektu badań (źródła lub przeszkody) rozdziela się przypadki:

- ◆ Emisja - n.p. w medycynie jądrowej obiektem źródłowym jest organ znakowany izotopem
- ◆ Absorpcja - n.p. skanowanie w zakresie X: źródło jest znane bada się przeszkodę (rejestrujemy promieniowanie przechodzące przez materię, osłabione o pewien czynnik)

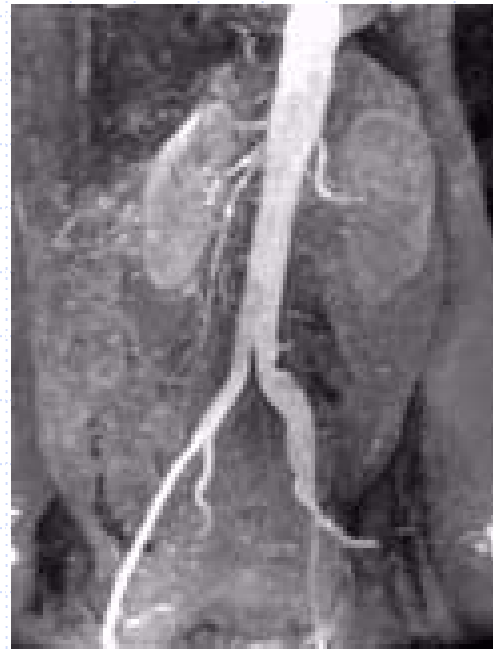
Typy obrazowań w diagnostyce medycznej

- ◆ Anatomiczne - n.p. w zakresie X (2D i tomografii) rejestracja współczynnika osłabienia daje obraz gęstości tkanek
- ◆ Funkcyjne - n.p. w zakresie γ rejestracja rozkładu znakowanych izotopami atomów zapewnia informacje o ich funkcjach fizjologicznych

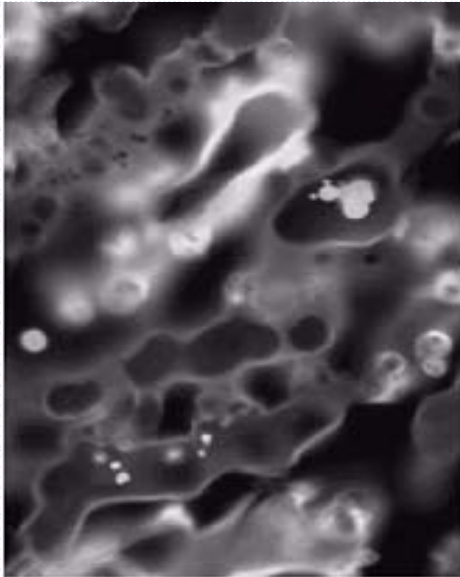


Obraz układu kostnego - promieniowanie Gamma

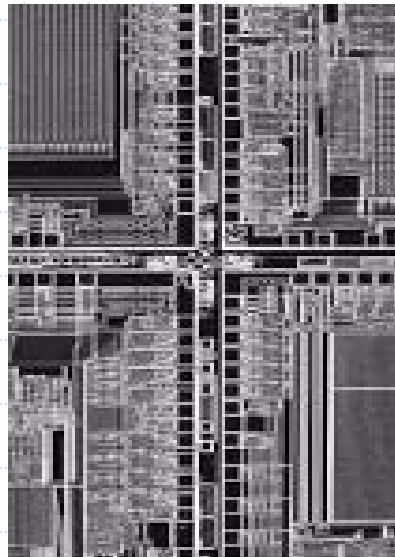
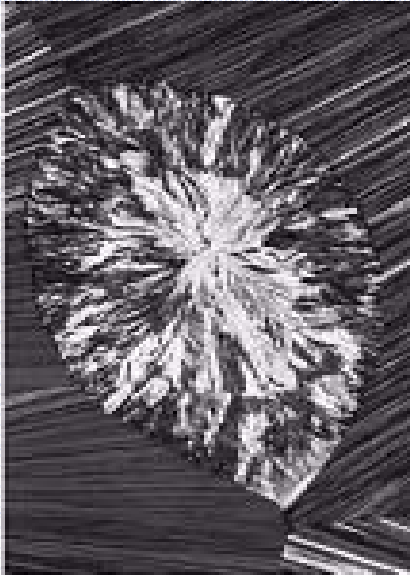
Obrazowanie w zakresie promieniowania Roentgena



Obrazowanie (zboża) w zakresie promieniowania UV



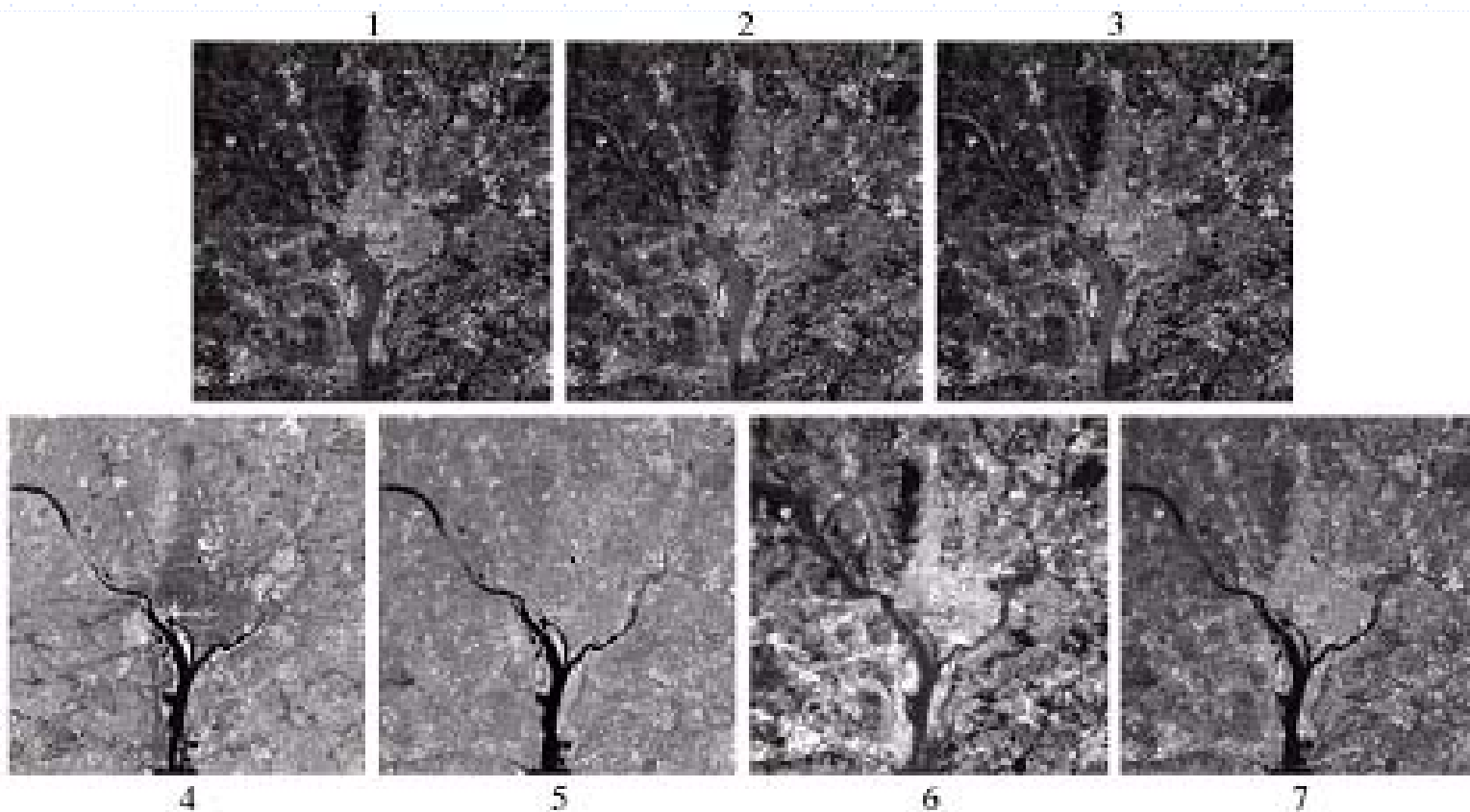
Obrazowanie mikroskopowe (cholesterol, mikroprocesor)



Typowe pasma (VIS + IR) dla satelity LANDSAT NASA

kanal	μm
1	0.45–0.52
2	0.52–0.60
3	0.63–0.69
4	0.76–0.90
5	1.55–1.75
6	10.4–12.5
7	2.08–2.35

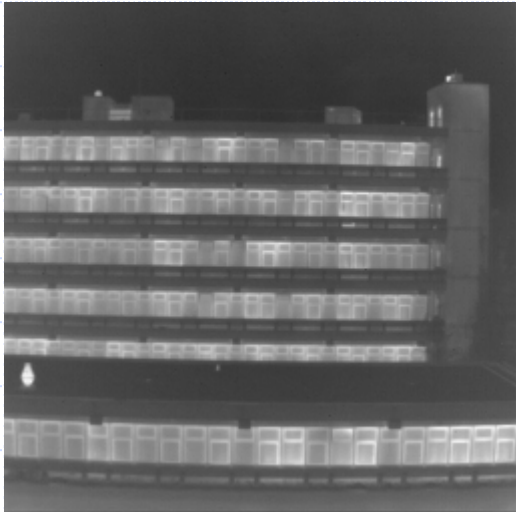
Satelitarne obrazy okolic Waszyngtonu z 7 kanałów LANDSAT



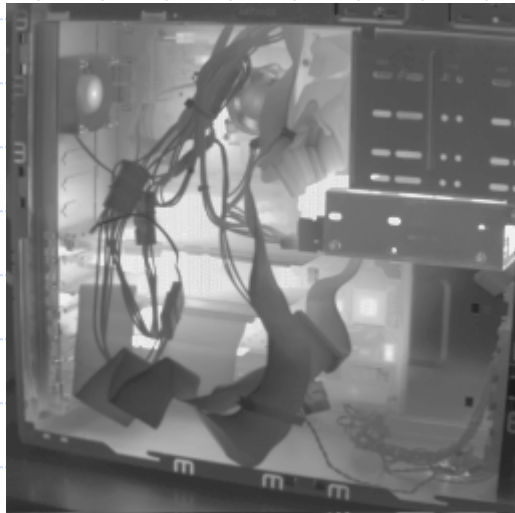
Satelitarny obraz huraganu *ANDREW* – NOAA GEOS



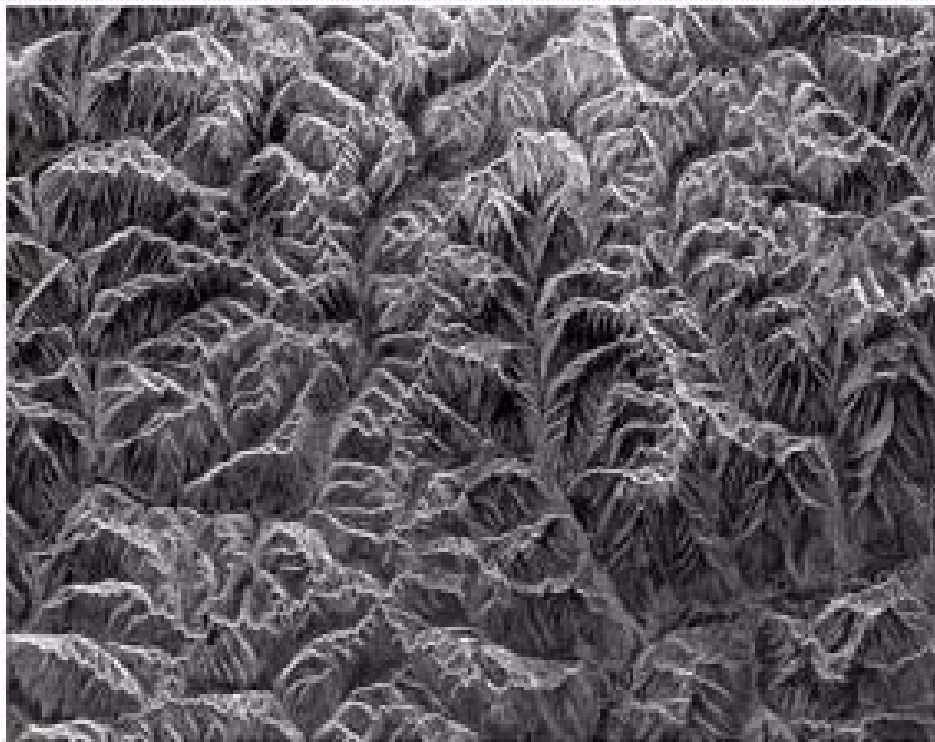
Obrazowanie w podczerwieni



Obrazowanie w podczerwieni



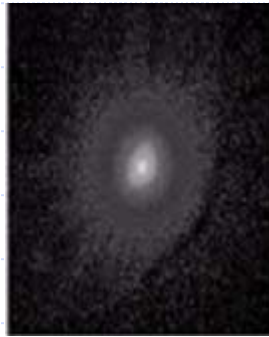
Południowo-wschodni Tybet (zdjęcie radarowe)



Obrazowanie pulsaru CRAB (NASA) w różnych zakresach



gamma



Roentgen



VIS

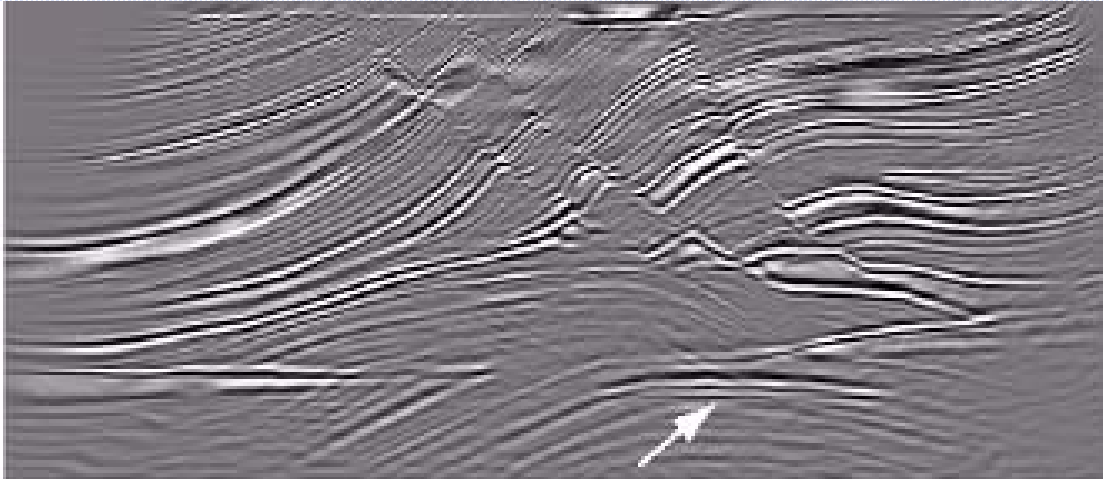


IR

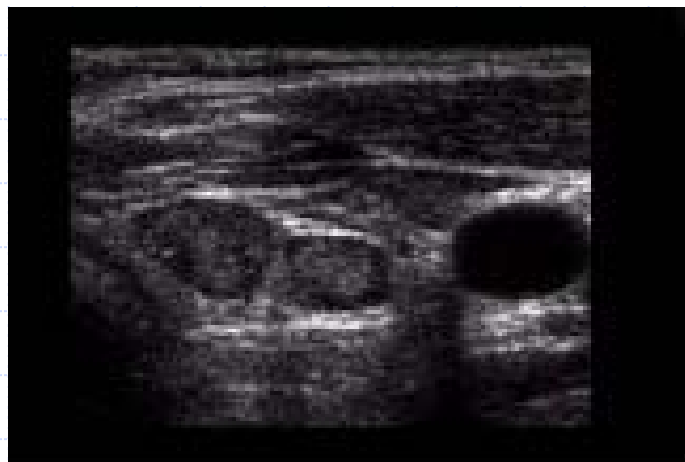


radio

Obrazowanie modelu sejsmicznego

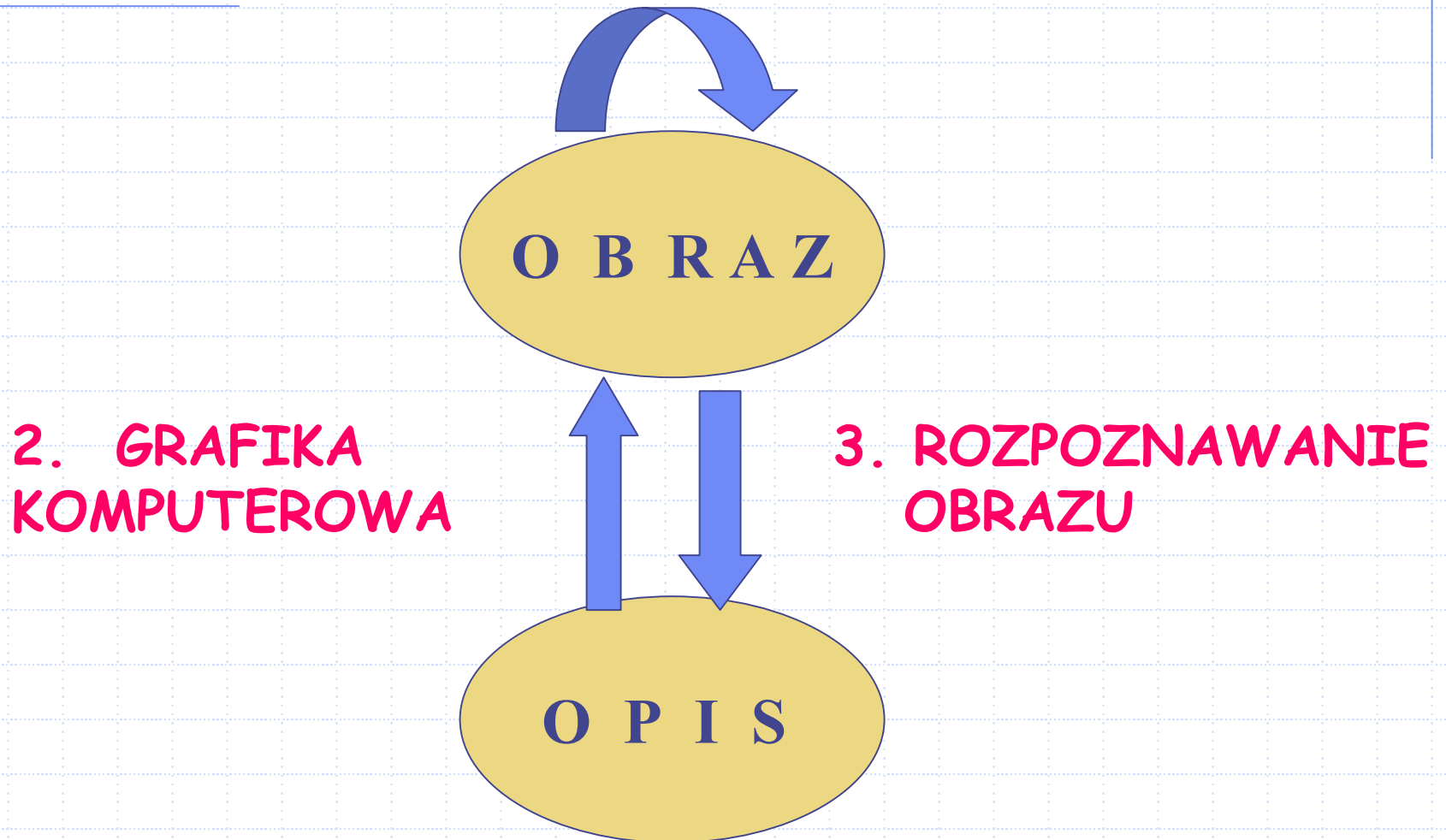


Obrazowanie USG



METODY ANALIZY OBRAZÓW CYFROWYCH

1. PRZETWARZANIE OBRAZU



1. PRZETWARZANIE OBRAZU *(image processing)*

(NOWE NARZĘDZIE BADAWCZE)

DANE WEJŚCIOWE I WYJŚCIOWE SĄ
OBRAZAMI; ISTOTNE USUWANIE
ZAKŁÓCEŃ, TWORZENIE NOWYCH
OBRAZÓW

NP. analiza przekroju ludzkiego ciała w medycynie,
badania satelitarne

2. GRAFIKA KOMPUTEROWA *(computer graphics)*

TWORZENIE OBRAZU NA PODSTAWIE INFORMACJI NIEOBRAZOWEJ

NP. gry komputerowe, symulatory lotu i.t.p.

3. ROZPOZNAWANIE OBRAZU *(image recognition)*

TWORZENIE OPISU OBRAZU WEJŚCIOWEGO LUB SPECYFICZNA KLASYFIKACJA

**NP. automatyzowanie diagnostyki medycznej,
wykrywanie anomalii. Automatem sortowanie
pocztowe i.t.p.**

ZAGADNIENIA

- ◆ I. Podstawowe pojęcia z zakresu fizyki widzenia
- ◆ II. Pozyskiwanie obrazów
- ◆ III. Podstawowe operacje na obrazach

ZAGADNIENIA

- ◆ IV. Przechowywanie i metody kompresji obrazów
- ◆ V. Przykłady zastosowań - oprogramowanie do przetwarzania obrazów

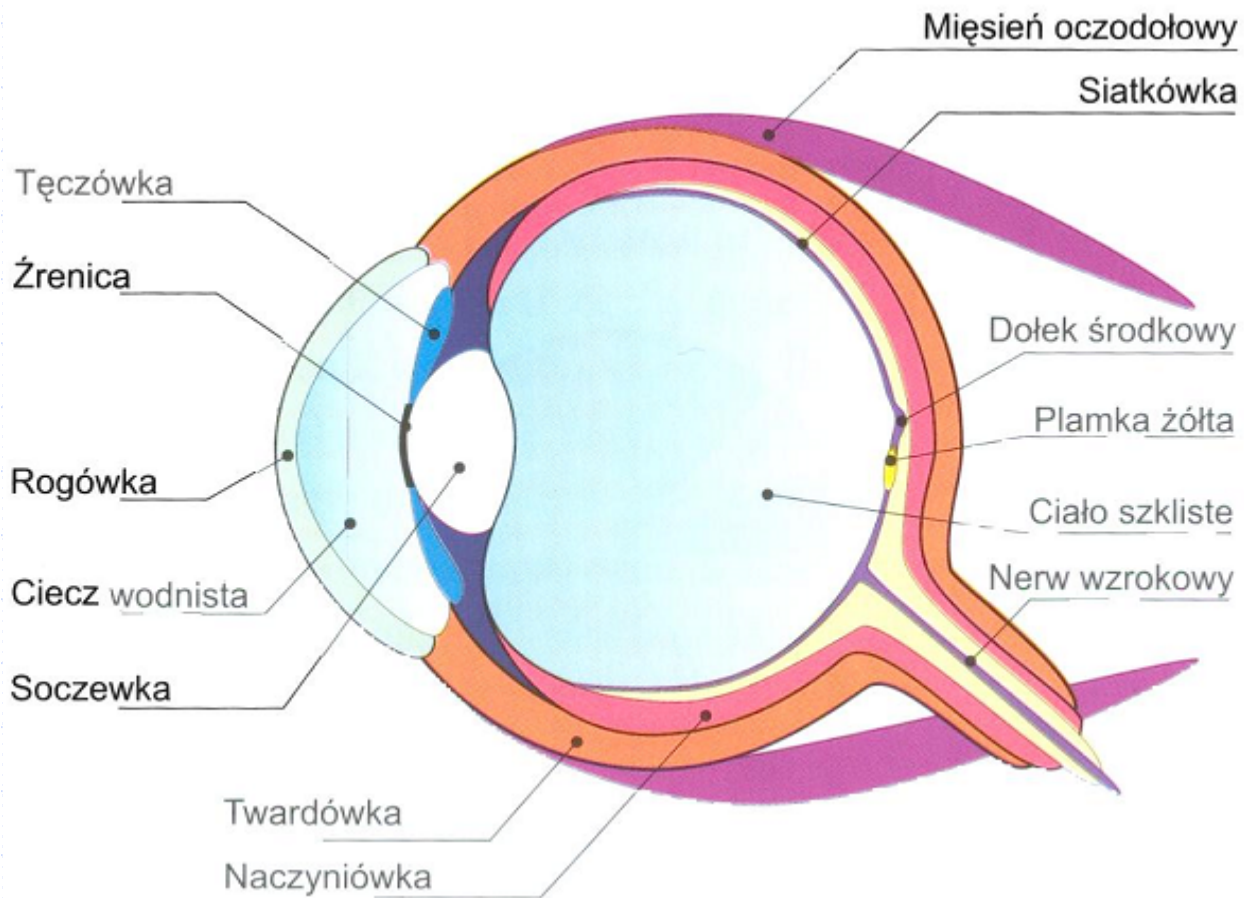
Ad I.

Podstawowe pojęcia z zakresu fizyki widzenia w aspekcie obrazowania komputerowego

◆ ***Budowa i działanie oka***

◆ ***Kolory, modele odwzorowań kolorów***

◆ ***Efekty specjalne, iluzje, widzenie przestrzenne***



BUDOWA I DZIAŁANIE OKA

Oko - układ optyczny, dający na siatkówce rzeczywiste, odwrócone oraz zmniejszone obrazy przedmiotów świata zewnętrznego.

Odwrócony obraz zewnętrznej sceny zamieniany jest na sygnały interpretowane przez mózg.

BUDOWA I DZIAŁANIE OKA

Przednia ściana rogówki - wypełniona t.z.w. **CIAŁEM SZKLISTYM** - jest główną powierzchnią załamującą światło ($n \sim 1.33$)

Soczewka wewnętrzna ($n \sim 1.41$) zmienia ogniskową w granicach 23-19 mm, umożliwiając ogniskowanie obrazu na siatkówce.

BUDOWA I DZIAŁANIE OKA

ŻRENICA reguluje dopływ światła, zmieniając średnicę w zakresie 2-8mm.

PLAMKA ŻÓŁTA (2-3 mm) o największej gęstości czopków - ważna przy akomodacji.

Część wzrokowa siatkówki

- komórki światłoczułe - receptory:

- *CZOPKI - 9 mln; 0.051 mm x 0.002-0.01 mm, działają we dnie, umożliwiają widzenie barw przy dobrym oświetleniu*
- *PRĘCIKI - 100 mln; 0.06 mm x 0.0002 mm; przy słabym oświetleniu umożliwiają widzenie poziomów szarości*

Ruchliwa kulista gałka oczna (16-24 mm) o trójwarstwowej ścianie

- *TWARDÓWKA* - biała, nieprzezroczysta
- *NACZYNIÓWKA* - splot naczyń krwionośnych (odżywiających)
- *SIATKÓWKA* - skupisko komórek nerwowych, odbierających i przewodzących bodźce świetlne

ROZDZIELCZOŚĆ WZROKU

- zdolność rozróżniania szczegółów zależna od:

✓ ROZKŁAU RECEPTORÓW NA SIATKÓWCE (największa dla plamki żółtej)

✓ EFEKTÓW DYFRAKCYJNYCH (obraz punktu świetlnego ma postać rozszerzonej plamki)

- *kryterium Rayleigh'a: rozróżnialne punkty muszą być oddalone od siebie nie mniej niż o połowę średnicy ich plamek dyfrakcyjnych)*

WIELKOŚĆ OBSERWOWANEGO OBRAZU PUNKTU ŚWIETLNEGO zależy od

- ✓ długości fali świetlnej
- ✓ średnicy źrenicy

Wzór Benneta (1989):

$$\omega = 2.44 \lambda / g$$

ω - wielkość kątowa obserwowanego obrazu

λ - długość fali światła

g - średnica źrenicy

BRAK DOKŁADNEGO MODELU ZJAWISKA ADAPTACJI OKA...

Założenie (Adler 1968) :
wrażliwość oka jest odwrotnie
proporcjonalna do intensywności
oświetlenia.

Prawo Webera - Fechnera : logarytmiczna
zależność między odbieranym wrażeniem
jaskrawości W a luminancją rzeczywistą L :
$$W = \log (1 + L)$$

KOLOR , MODELE ODWZOROWAŃ

W przyrodzie NIE istnieje kolor jako taki:

*KOLOR POWSTAJE W UMYŚLE
CZŁOWIEKA W WYNIKU ODBIJANIA
LUB POCHŁANIANIA RÓŻNEJ DŁUGOŚCI
FAL ŚWIETLNYCH*

(udział czopków i pręcików oka)

Newton - OPTYKA 1704

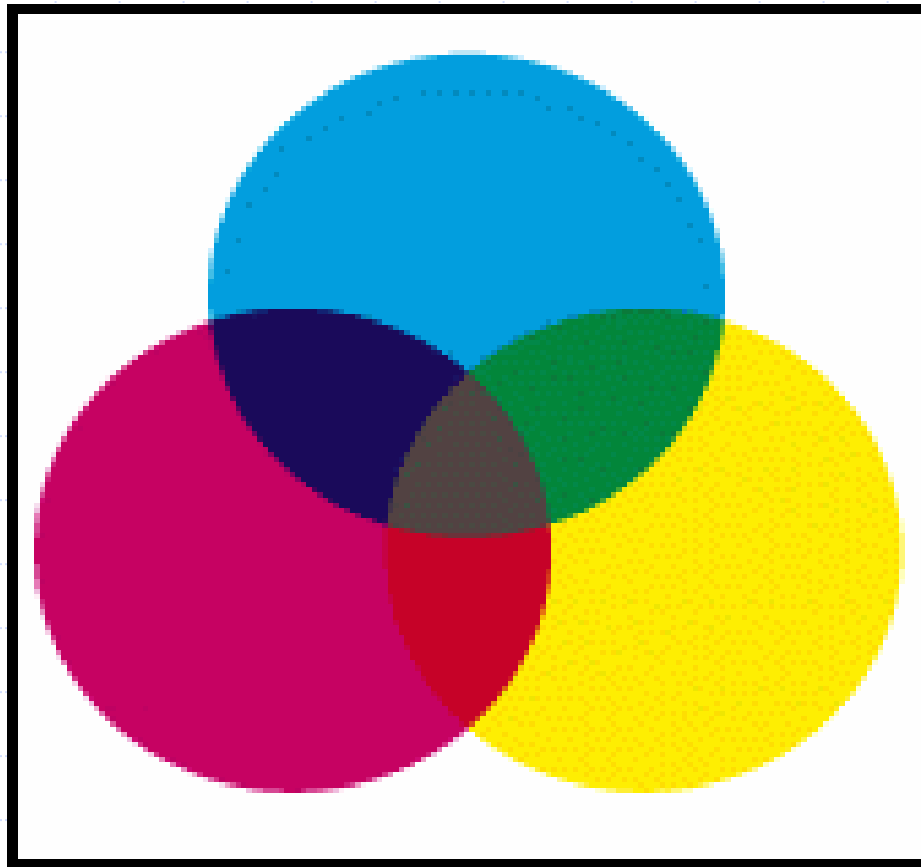
TRÓJSKŁADNIKOWA TEORIA BARW

Young -Helmholtz (1806 r):

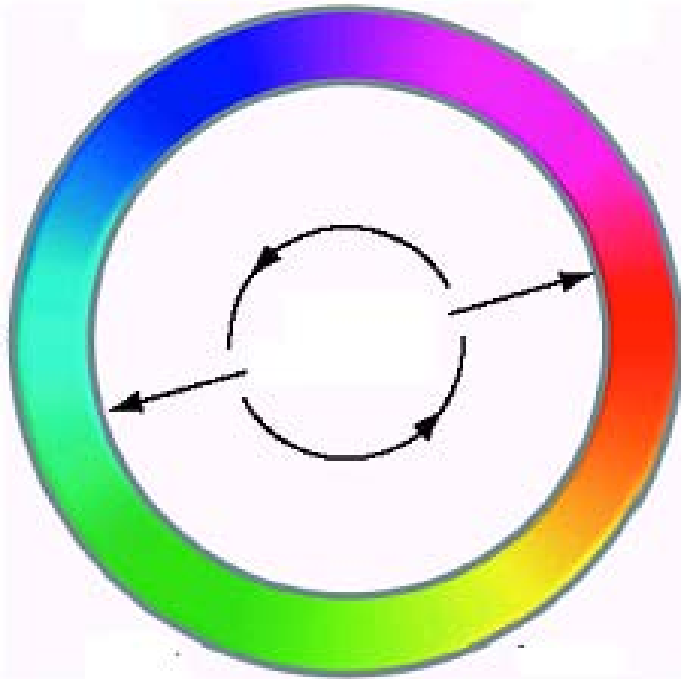
➤ Światło białe można otrzymać mieszając tylko TRZY barwy widma $C = rR + gG + bB$
{ *R czerwona; G zielona; B błękitna* }

➤ *Siatkówka oka zawiera TRZY rodzaje receptorów (czopków) o największej wrażliwości*

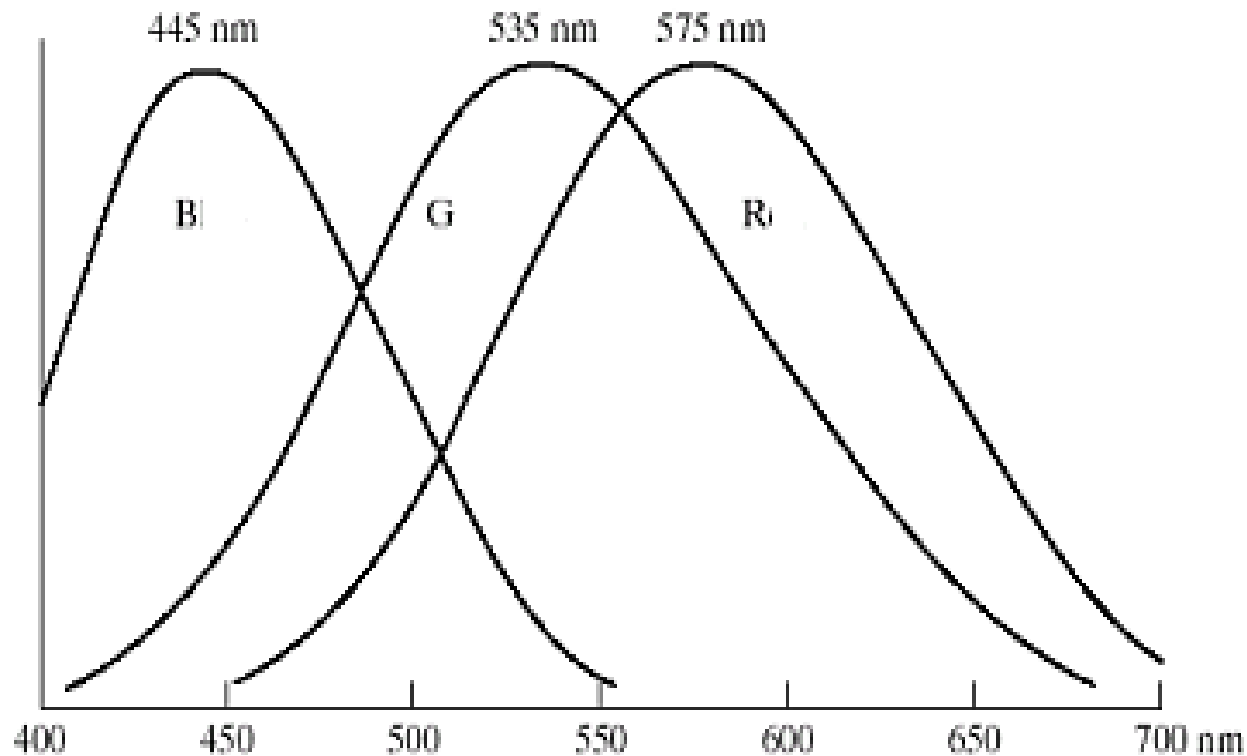
Model barw podstawowych RGB



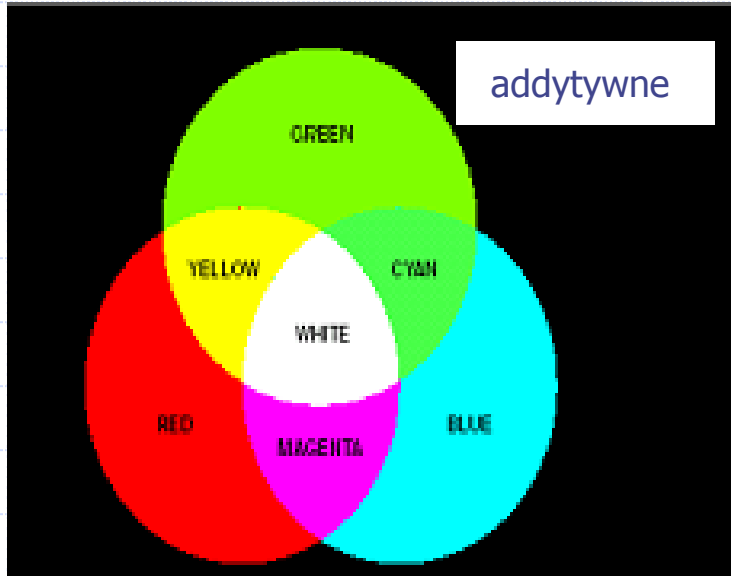
REPREZENTACJA KOLORÓW KOMPLEMENTARNYCH



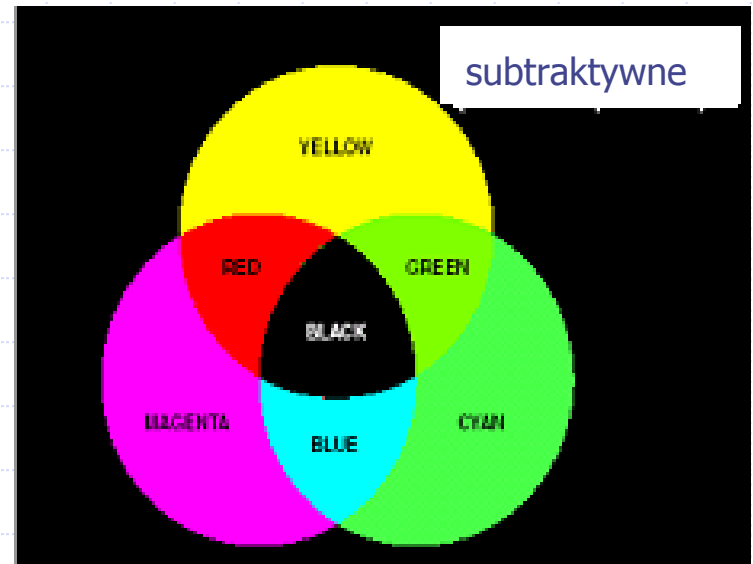
Poziomy absorpcji światła – R G B dla ludzkiego oka jako funkcje długości fali



Mieszanie kolorów dla światła (1) i barwników (2)

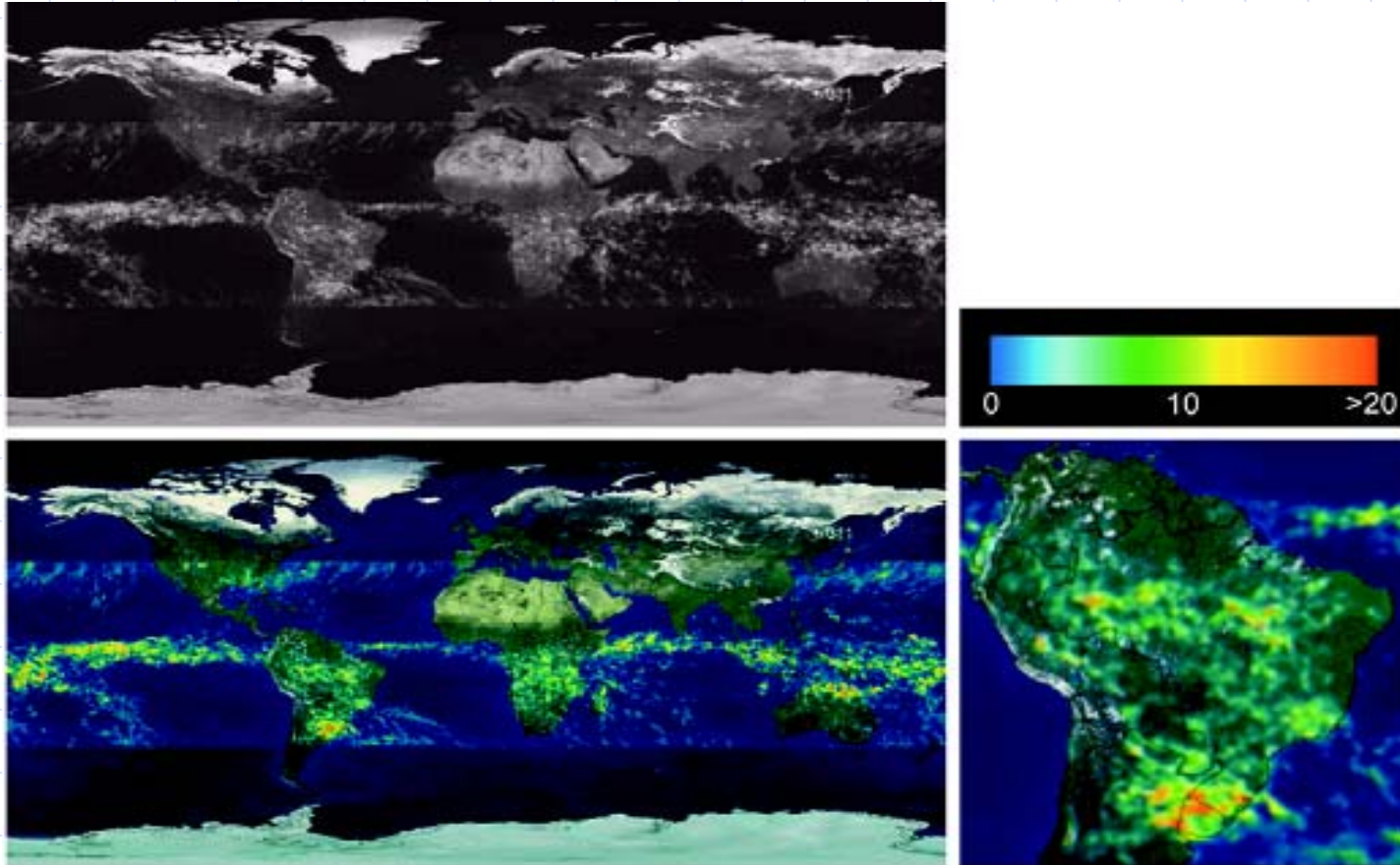


(1)



(2)

Obrazy w skali szarości kodowane pseudokolorem



ILE RÓŻNYCH BARW WIDZI CZŁOWIEK?

Badania psychofizjologiczne:

1975 rok 10 000 000

1990 rok 8 000 000

1990 rok 400 000

1991 rok 35 000

Wszystkie wrażenia percepcyjne nieliniowo są związane ze zjawiskami fizycznymi (postrzeganie jasności zależy logarytmicznie od strumienia, postrzeganie barwy zależy od otoczenia)

OKO BARDZIEJ CZUŁE NA STOSUNKI WARTOŚCI STRUMIENIA NIŻ NA WARTOŚCI BEZWGŁĘDNE

(np. tak samo odbierane są względne różnice strumienia światła 0.1, 0.11 oraz 0.5 i 0.55)

Przy wyborze względnych wartości strumienia reprezentujących poziomy szarości :

$I(j+1)/I_j=r=Const$, gdzie I = natężenie w [Cd]

oko nie jest w stanie rozróżnić 2 sąsiadujących wartości natężenie dla $r < 1.01$

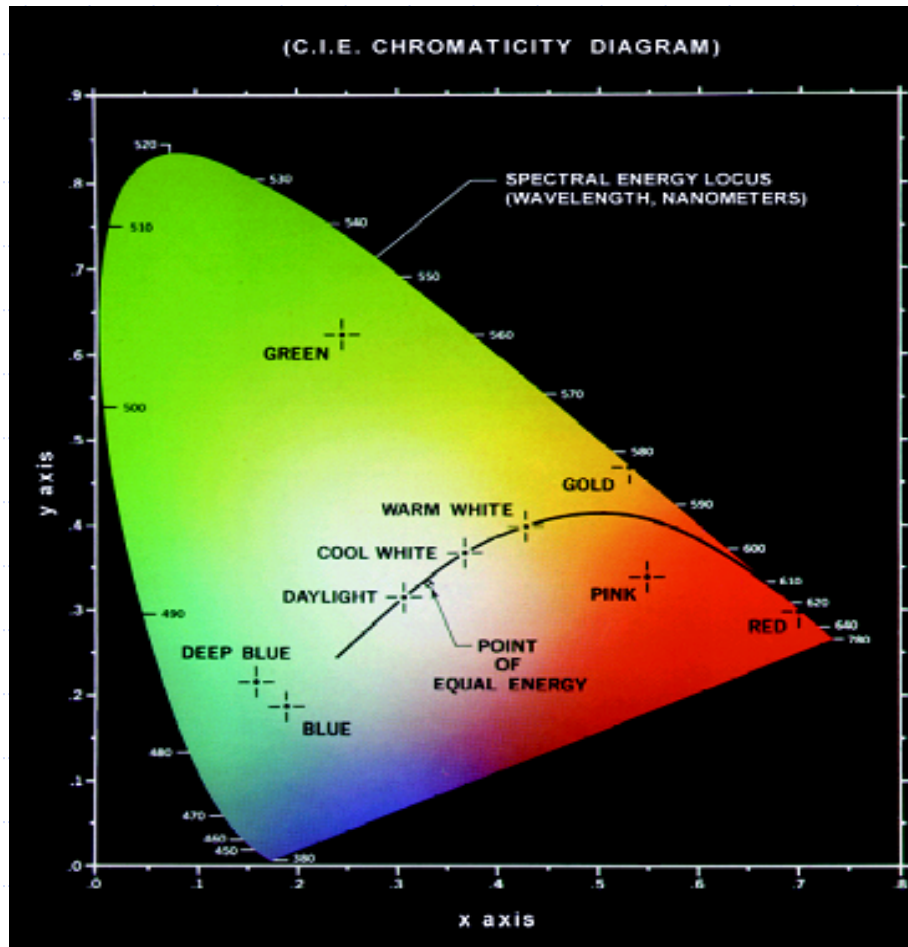
(stąd największa sensowna liczba poziomów szarości dla monitorów komputera 400-530)

OPIS I MODELOWANIE BARW(KOLORÓW)

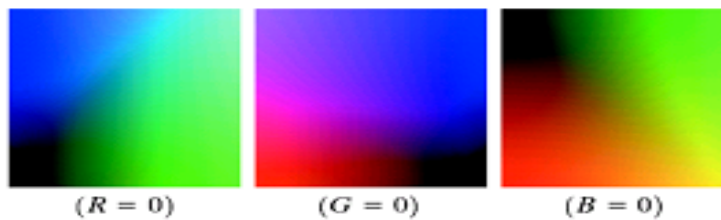
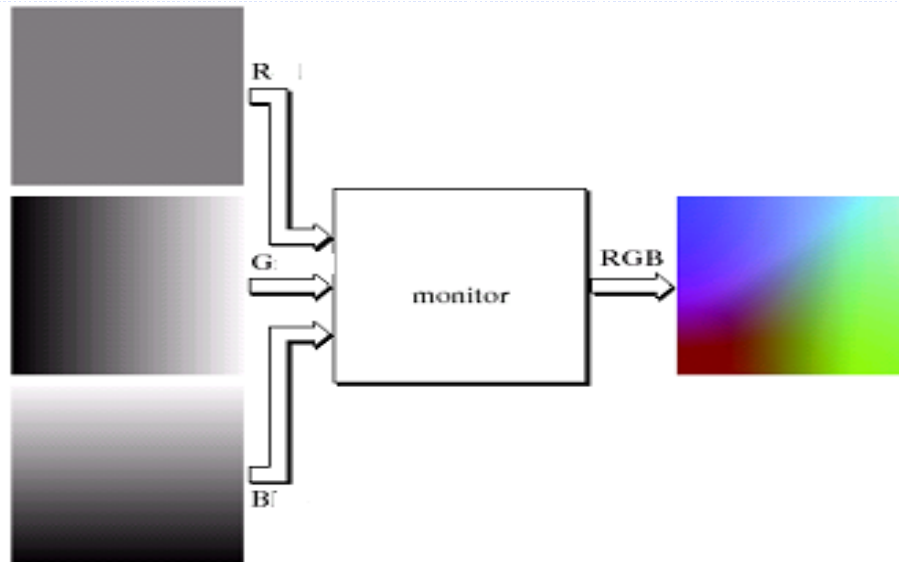
- TRZY RÓŻNE PODEJŚCIA:

- obiektywne - fizyczny model barw (standard CIE Commission Internationale d'Eclairage 1931 rok: G=546.1 nm; B= 435.8nm;R~700nm)
- subiektywne - postrzeganie przez człowieka (przybliżone parametry percepcyjne: odcień (ang. Hue) , nasycenia (ang. Saturation), jasność (ang. Brightness, Value, Lightness, Value, Intensity))
- techniczne - odwzorowanie na monitorze (założenie o niezależności parametrów percepcyjnych)

Diagram kolorów wg CIE



Schemat reprezentacji kolorów w komputerze



PERCEPCYJNE MODELE BARW STOSOWANE W INTERAKCYJNEJ PRACY Z KOMPUTEREM:

- HSB
- HSV
- HSL

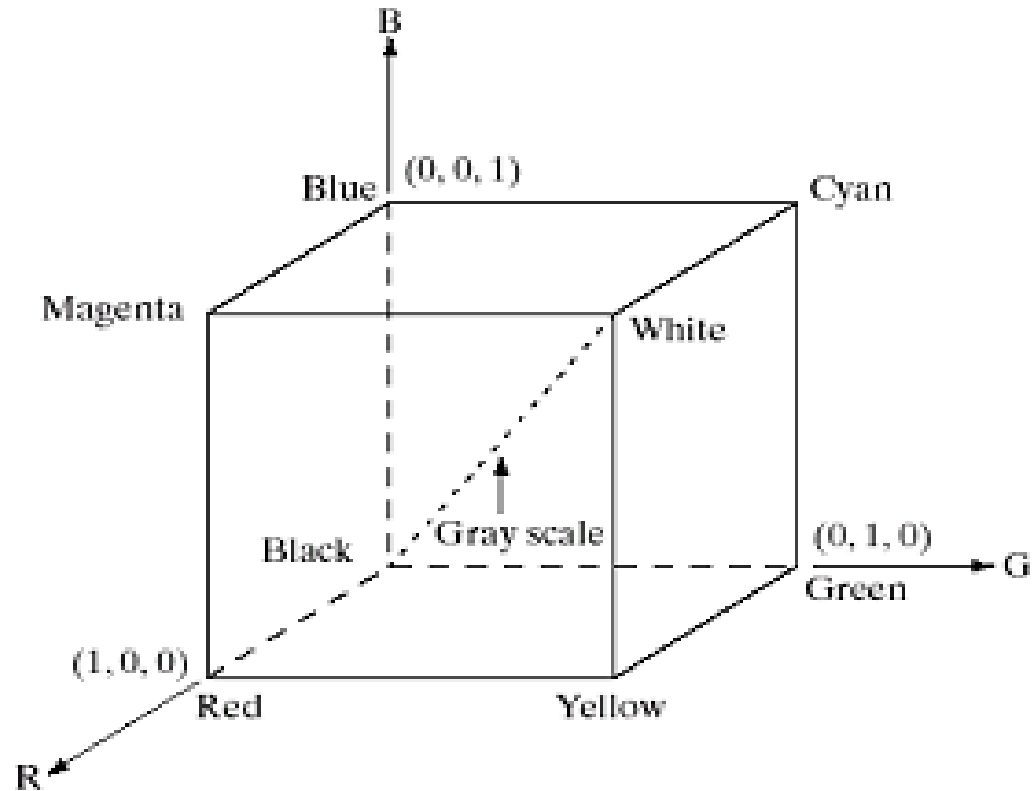
HUE - barwa, długość fali

SATURATION - nasycenie, ilość bieli

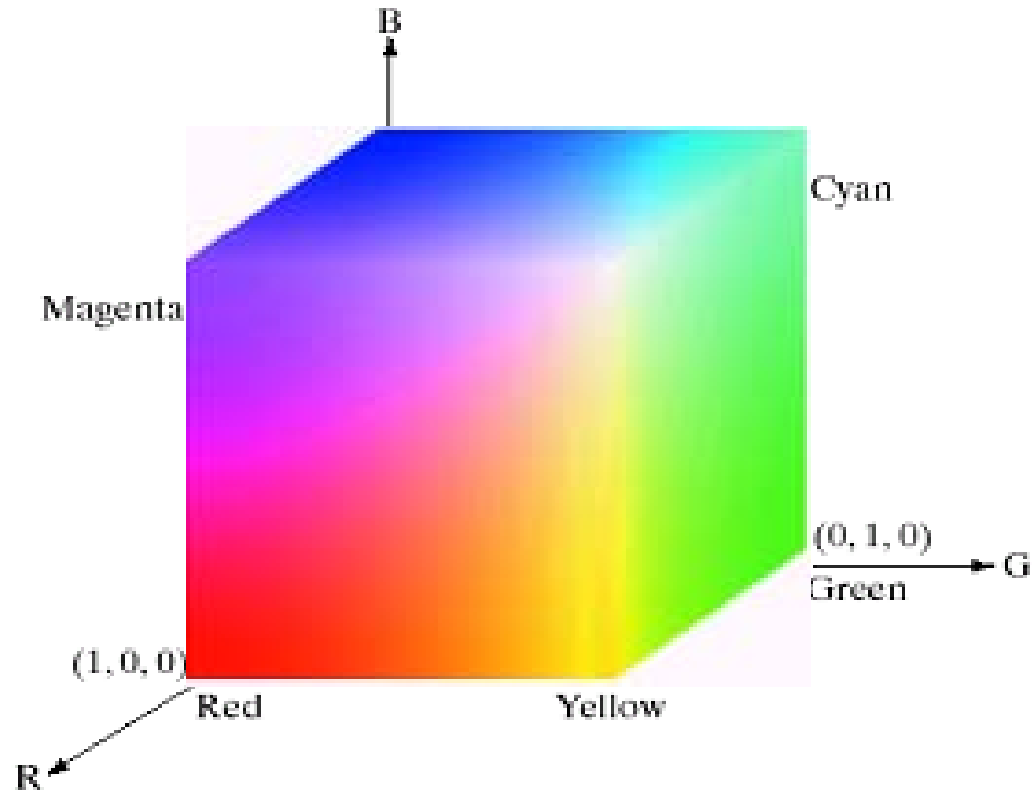
BRIGHTNESS, LIGHTNESS, VALUE

- jaskrawość, siła koloru

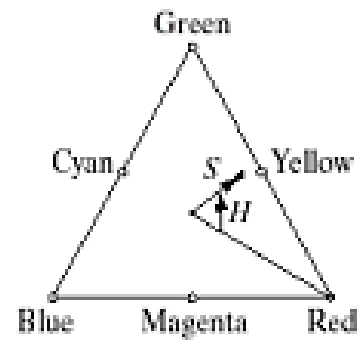
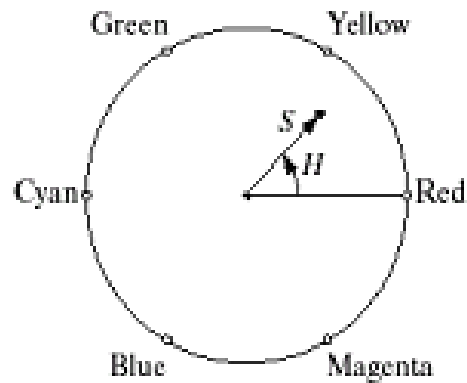
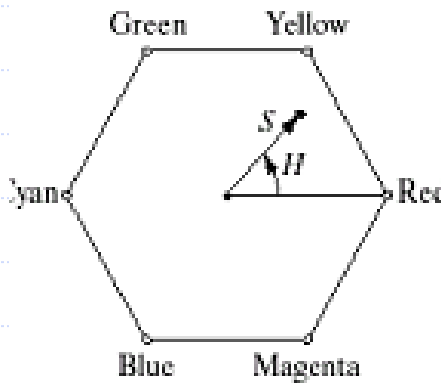
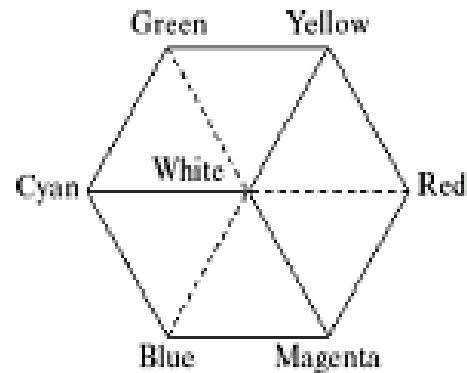
Schemat kolorów RGB



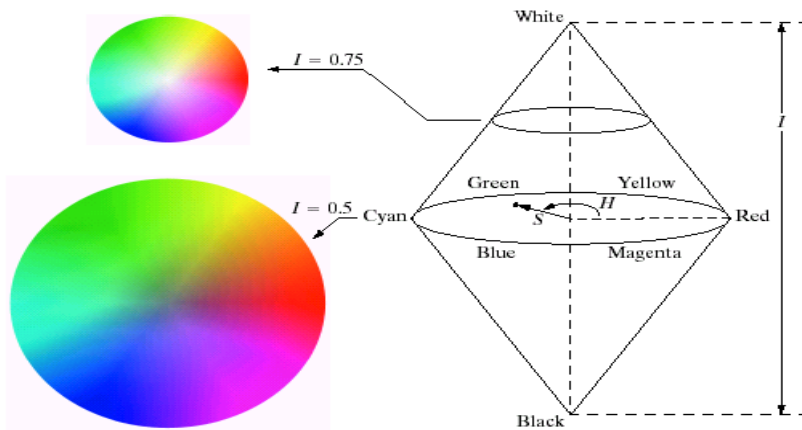
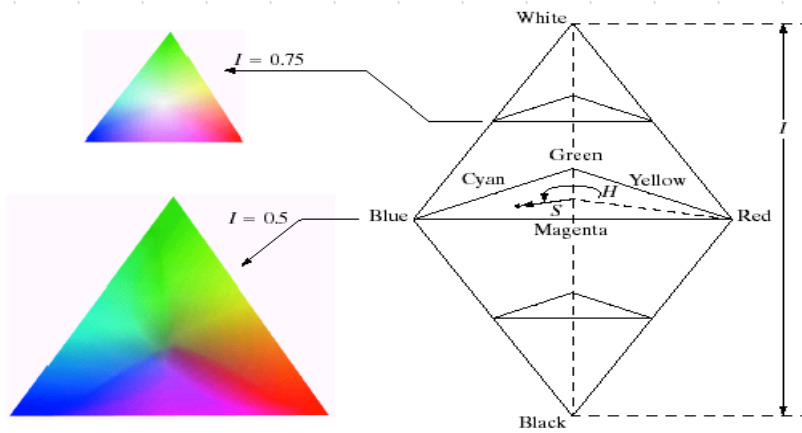
Schemat kolorów RGB



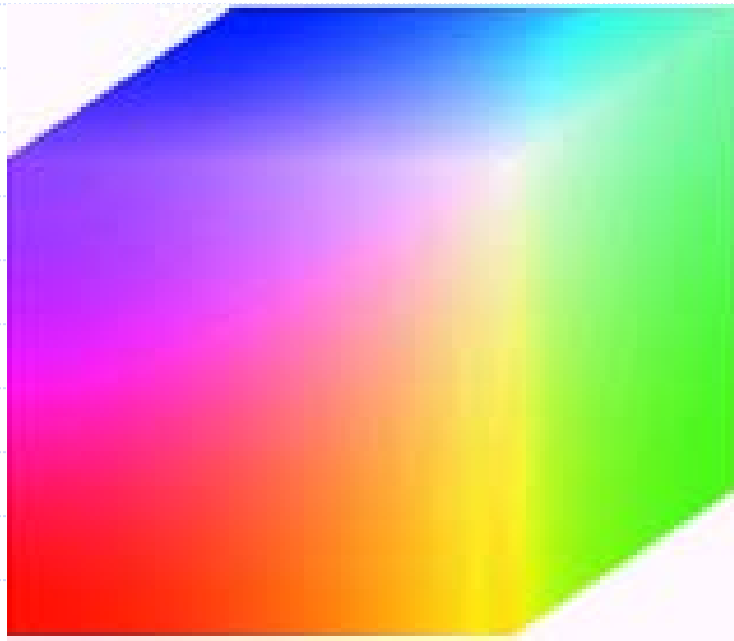
Schematy modeli kolorów



Schematy modeli kolorów



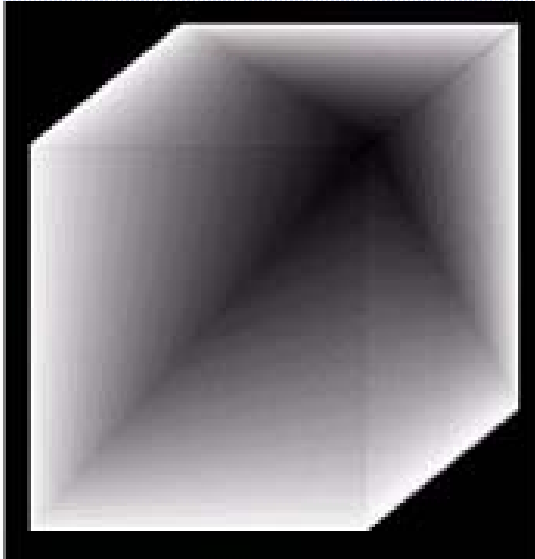
Schemat kolorów RGB w reprezentacji 24-bitowej



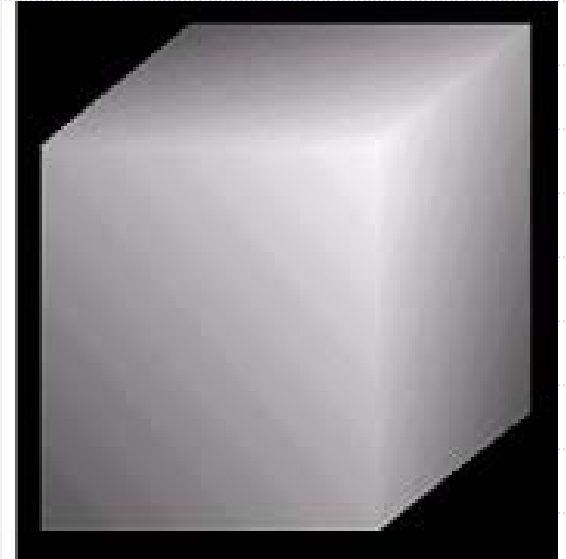
.....i reprezentacja w modelu HSI



Hue

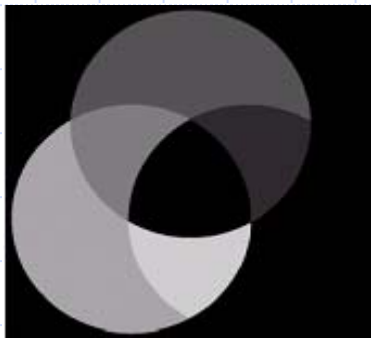


Saturation



Intensity

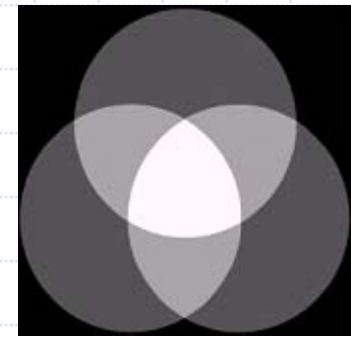
Reprezentacja RGB *versus* HSI



Hue



Saturation



Intensity

Modele kolorów



RGB



R



G

M. Berndt-Schreiber



B

Modele kolorów



RGB



H



S

M. Berndt-Schreiber



I

KOREKCJA GAMMA :

Konieczność jej wprowadzania wynika z nieliniowej natury zjawisk związanych z wyświetlaniem na monitorze.

Natężenie światła I emitowanego przez świecący luminofor zależy od liczby elektronów N w wiązce padającej na plamkę luminoforu:

$$I = k N^\gamma ,$$

gdzie k, γ Const

KOREKCJA GAMMA :

Dla większości monitorów parametr γ ma wartość: 2.2, ...2.5

W efekcie np. wyświetlany kolor może być ciemniejszy niż oryginał.

Tzw. korekcja gamma w programach komputerowych do przetwarzania obrazu pozwala na odpowiednie dopasowanie barwy obrazu na specjalnych wzorcach kolorów.

ODWZOROWANIA KOLORU:

- 256 kolorów 8 bitów/1 piksel
 - 65 tysięcy kolorów 16 bitów /1 piksel
 - 16.7 mln kolorów 24 bity / 1 piksel
- (wierny kolor, ciągły kolor, true color)*

Uwaga: każdy monitor może pokazywać nieco inne kolory - zależnie od poziomu jaskrawości, kontrastu, temperatury itp..

PARAMETRY MONITORÓW:

ZDOLNOŚĆ ROZDZIELCZA ~ 100 pkt/cal
(drukarka laserowa ~ 300 pkt/cal)

Wielkość plamki piksela: 0.25-0.42 mm

Pionowa częstotliwość odchylenia obrazu:
50 -120/s (kino 24/s, TV 25-30/s)

Pozioma częstotliwość odchylenia obrazu:
15 -64 kHz

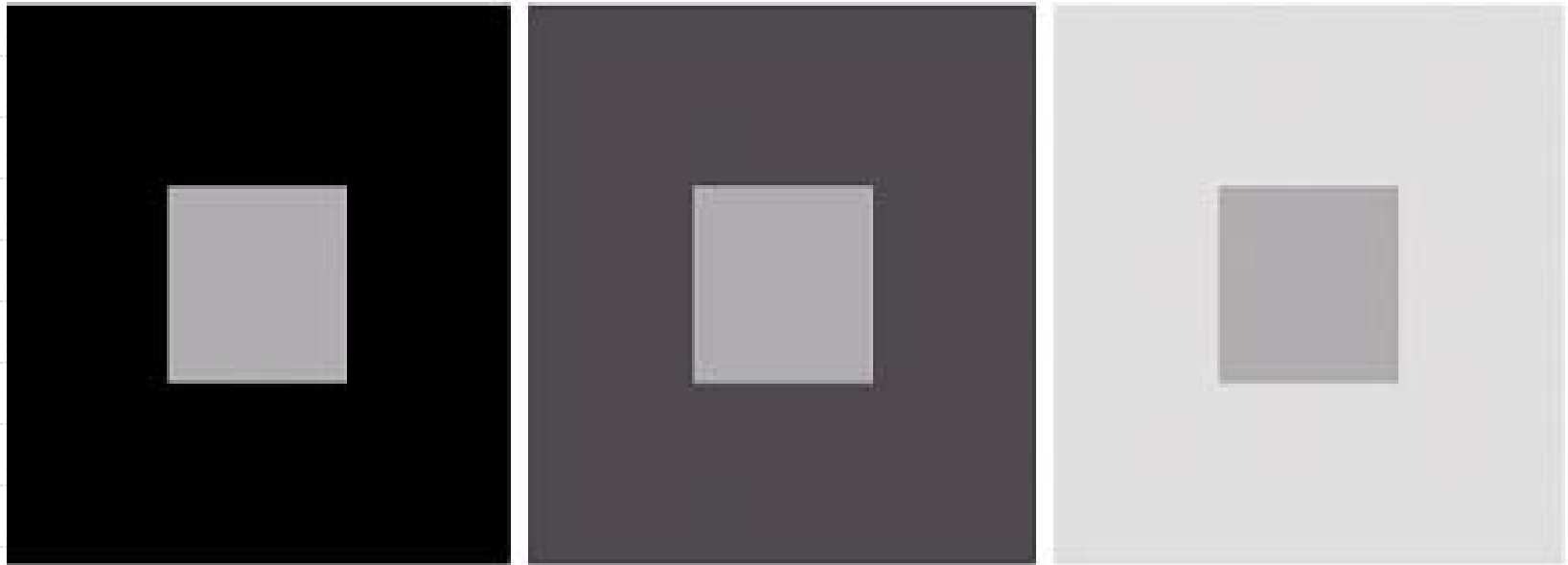
Przeplot (*ang. interlacing*) -wyświetlanie na zmianę linii parzystych i nieparzystych w kolejnych obrazach

EFEKTY SPECJALNE, ILUZJE, WIDZENIE PRZESTRZENNE

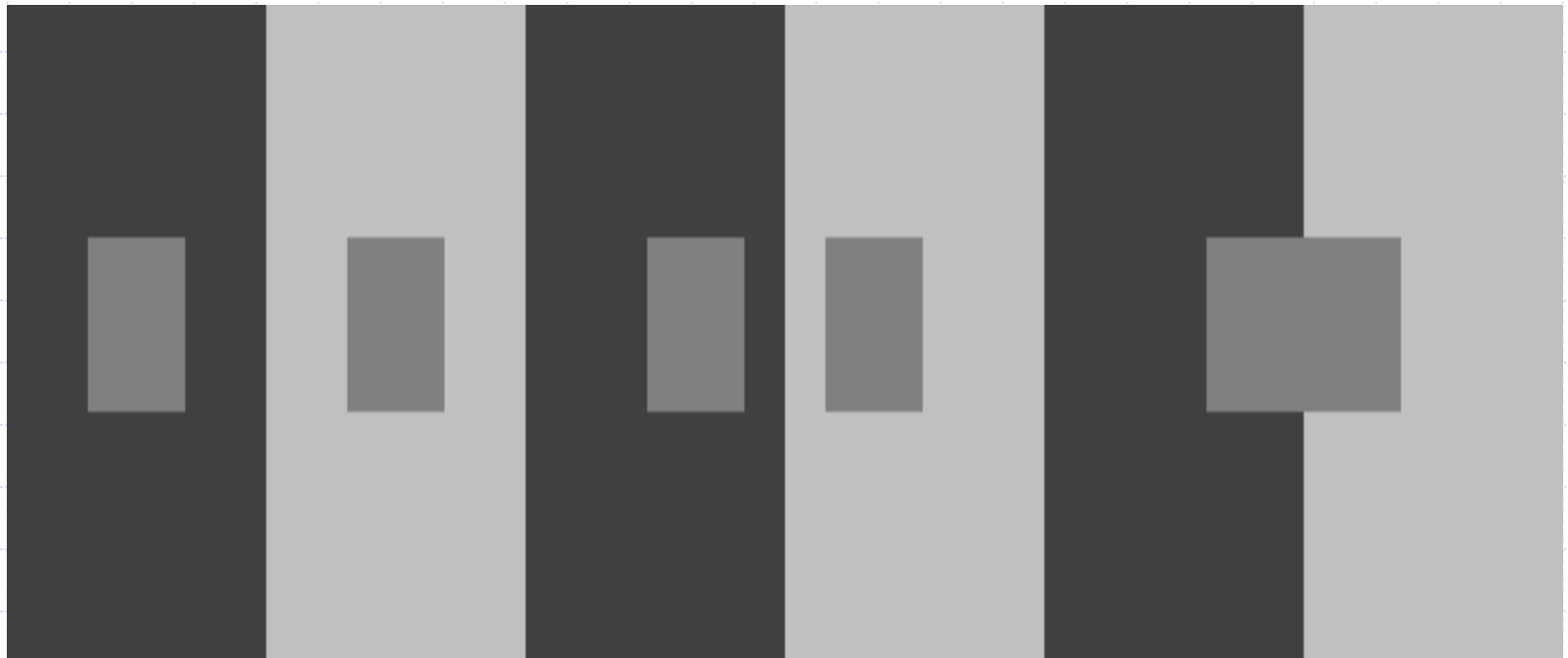
**Ograniczenia ludzkiego układu
widzenia w umiejętności określenia
bezwzględnych wartości:**

- poziomu szarości**
- odległości**
- powierzchni**

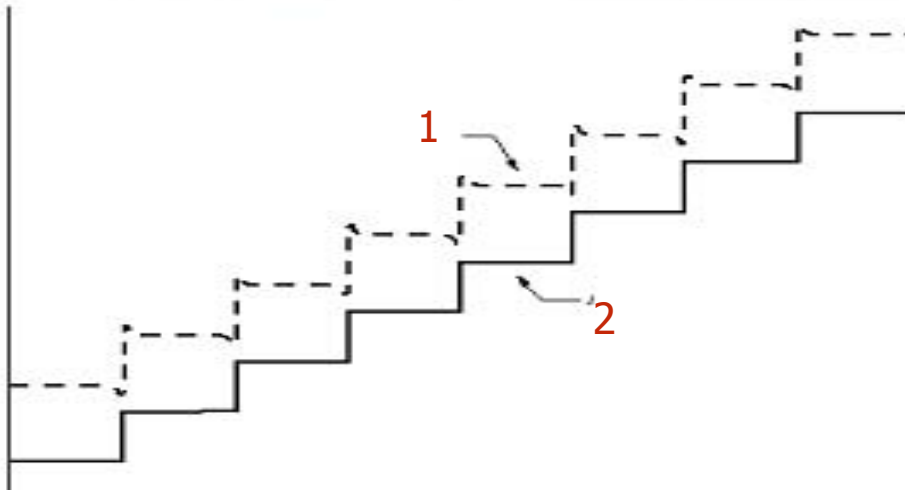
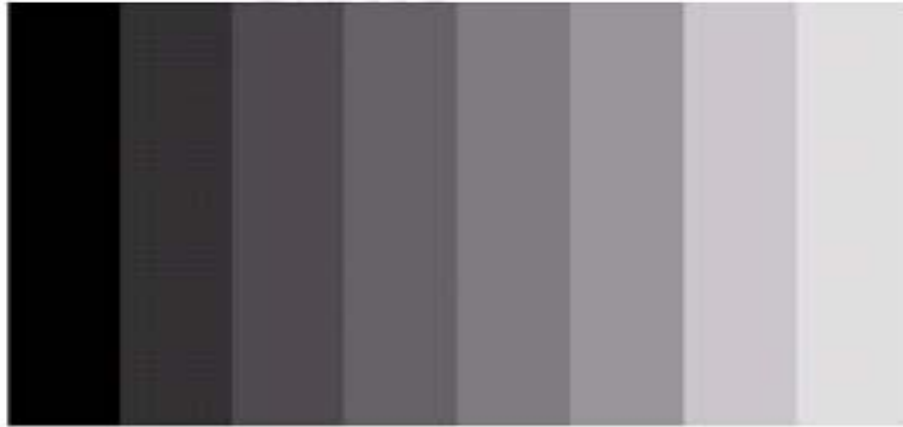
Percepcja poziomów szarości w różnych otoczeniach



Percepcja poziomów szarości w różnych otoczeniach



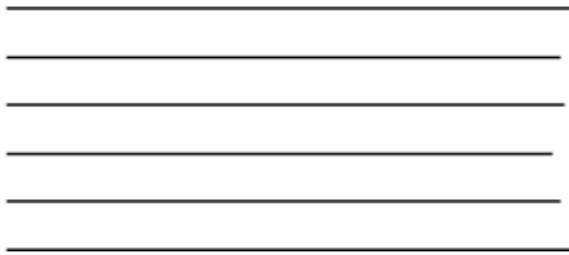
Percepcja poziomów szarości



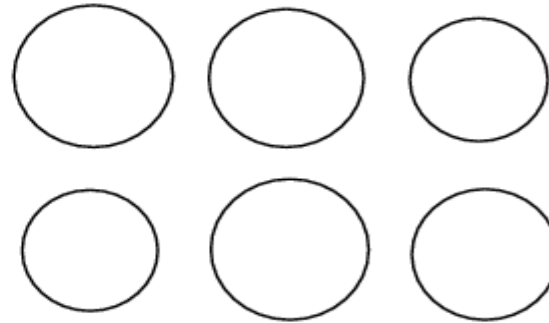
- 1 Poziom percepcji
- 2 Poziom faktyczny

Iluzje optyczne

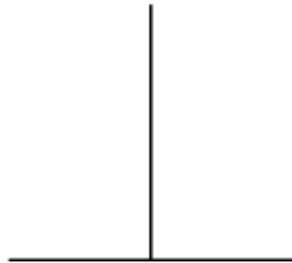
a



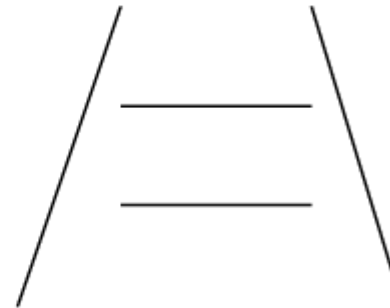
b



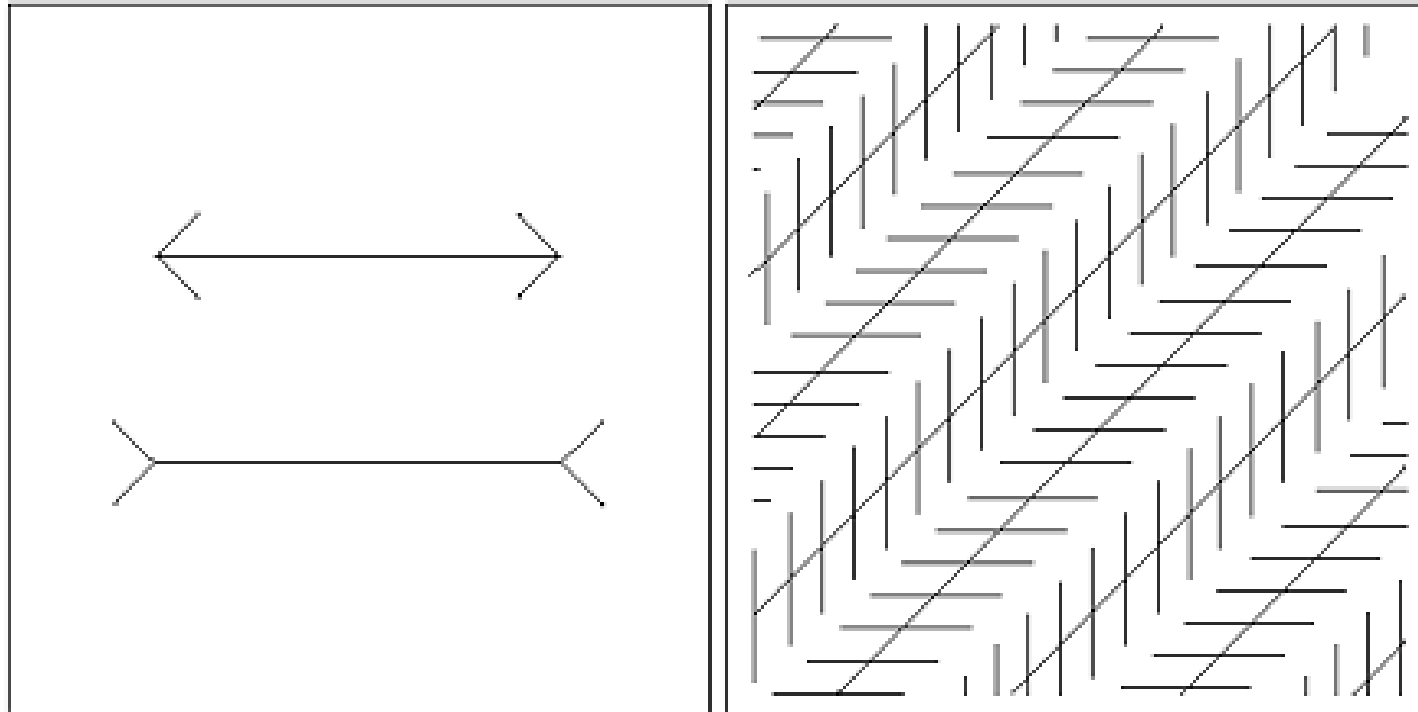
c



d



Iluzje optyczne



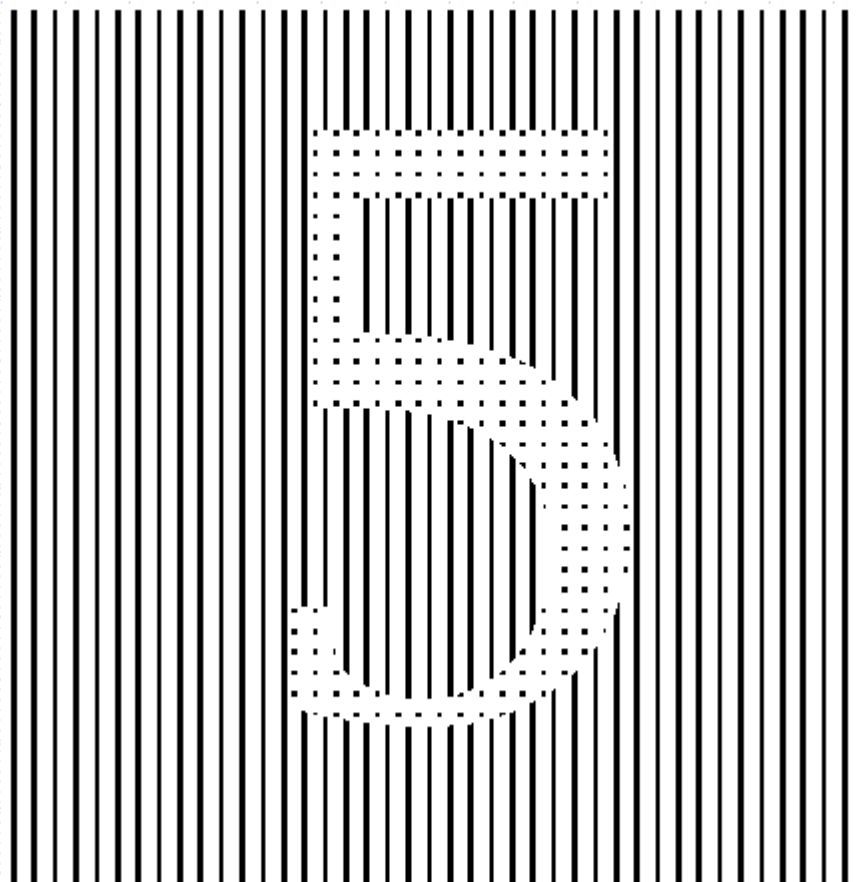
**FAKTYCZNIE JEDNAK NASZ
WZROK SPRZEŻONY Z MÓZGIEM
EFEKTYWNIJ ROZPOZNAJE
ORAZ INTERPRETUJE OBRAZY.**

Ukryte wymiary , 3D, Magiczne oko

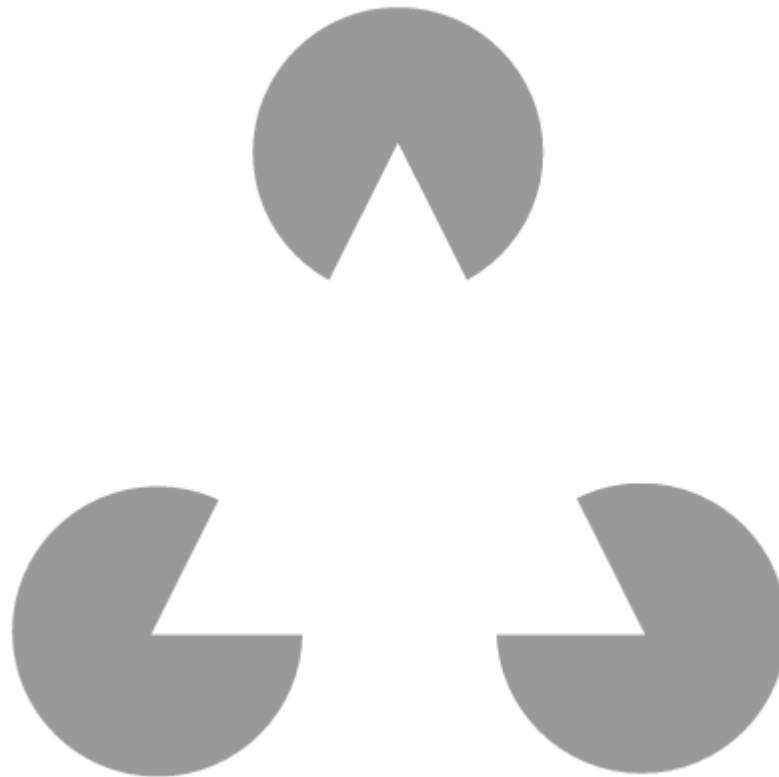
Stereoskopia 1838 rok C. Wheatstone

Autostereogramy 1983 rok C. Tyler, B. Julesz

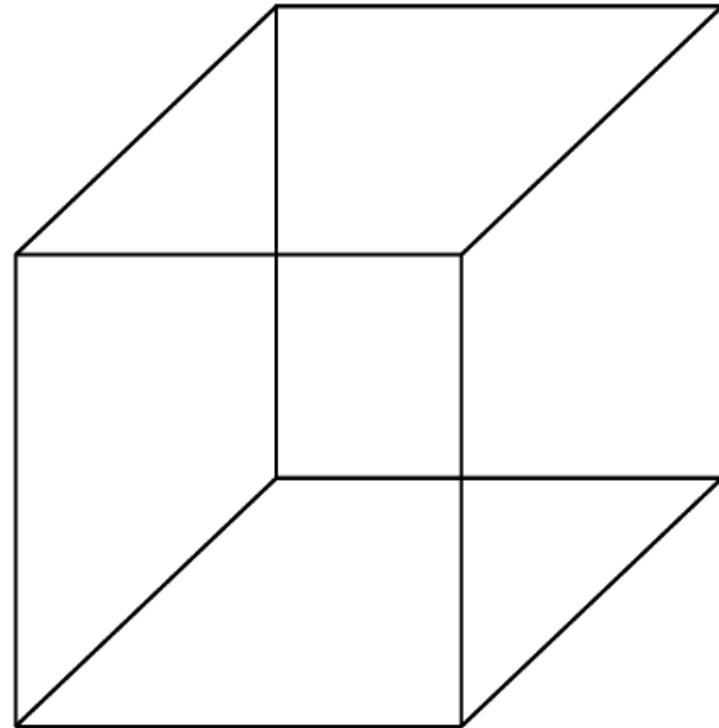
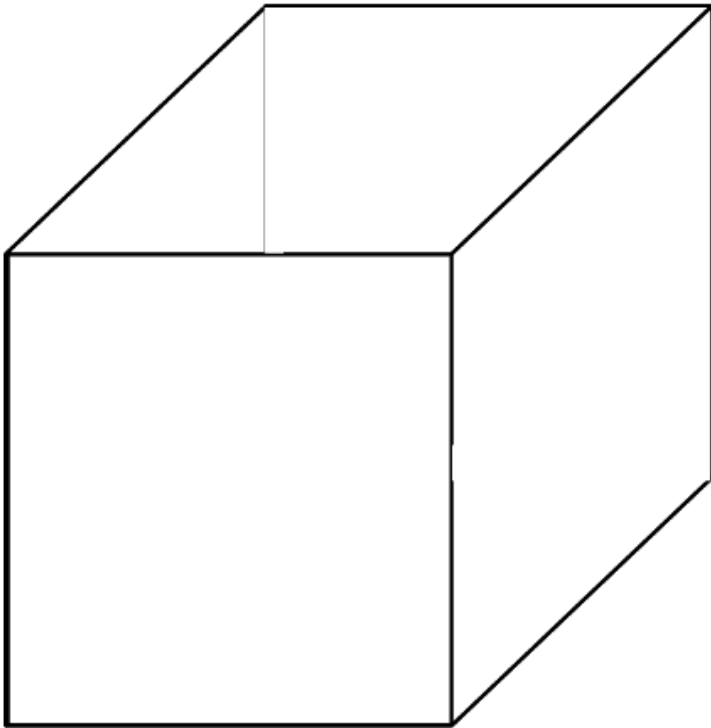
Rozpoznawanie/interpretacje obrazów



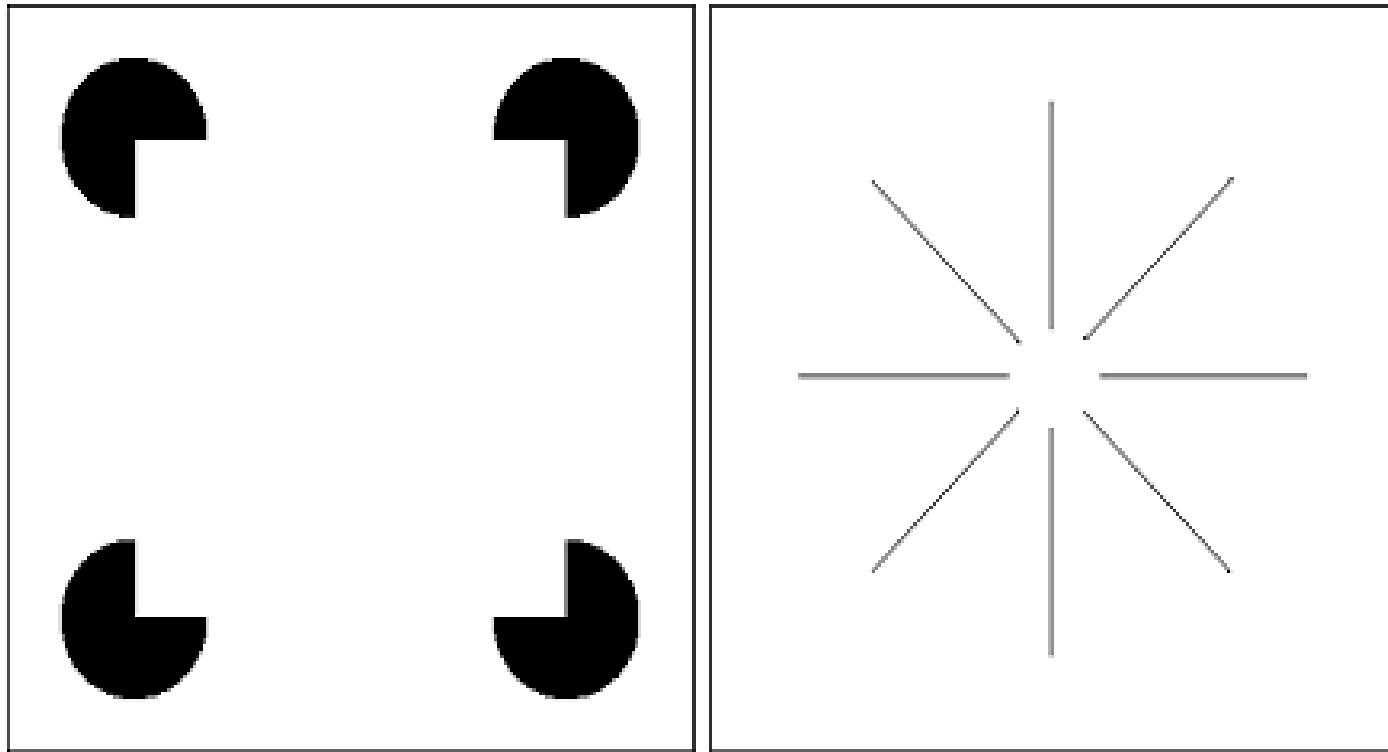
Rozpoznawanie/interpretacje obrazów



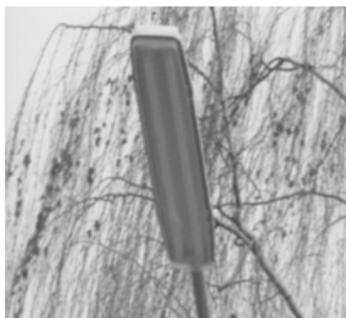
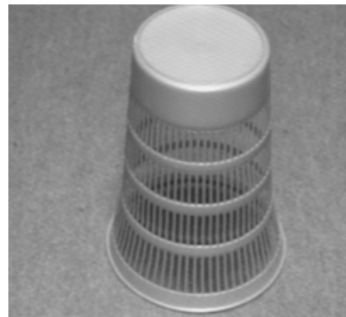
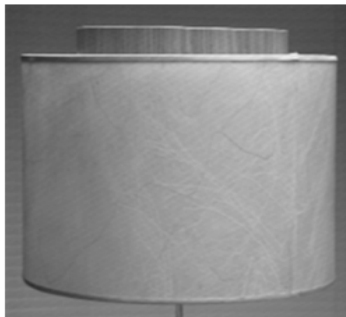
Iluzje optyczne/interpretacje



Iluzje optyczne/interpretacje



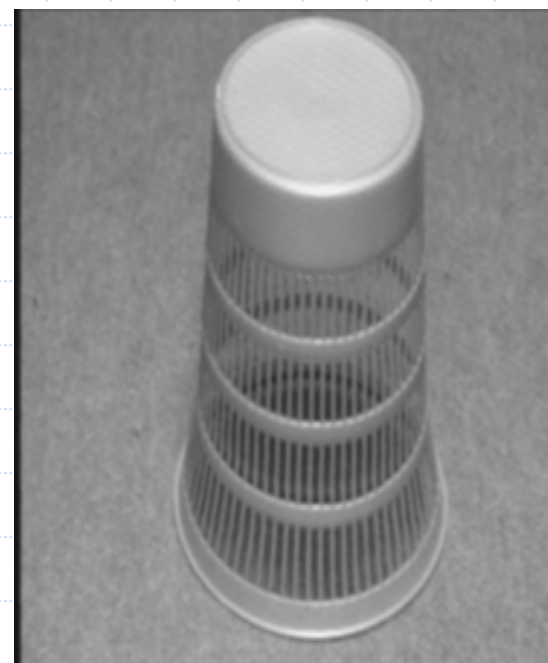
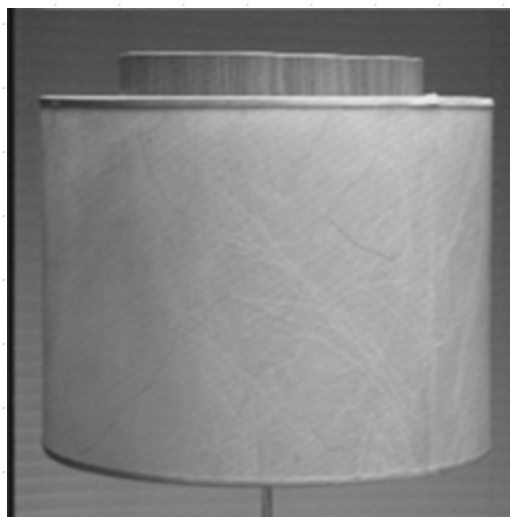
Rozpoznawanie/interpretacje obrazów



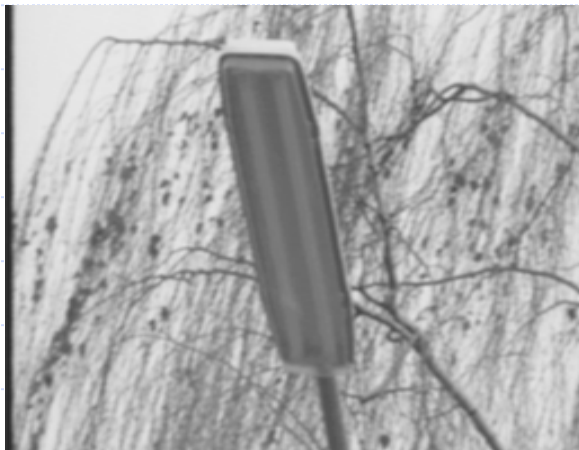
Rozpoznawanie/interpretacje obrazów



Rozpoznawanie/interpretacje obrazów

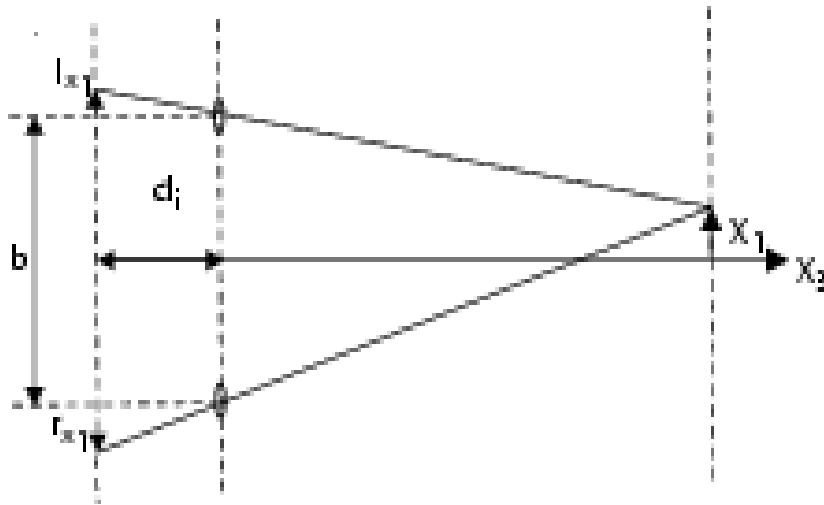


Rozpoznawanie/interpretacje obrazów



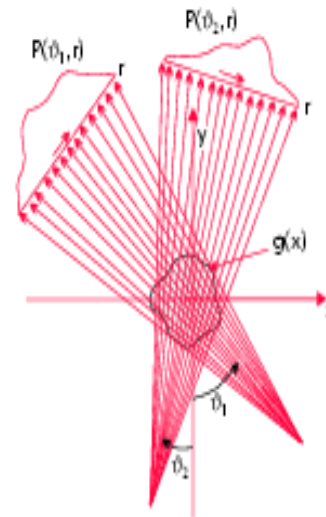
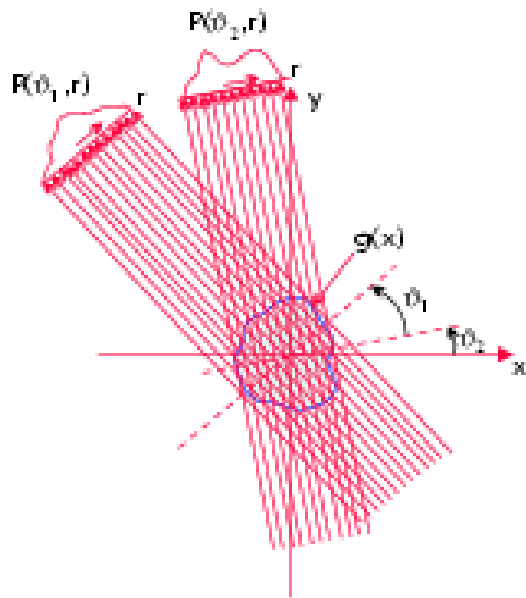
Zasady stereoskopii

lewa

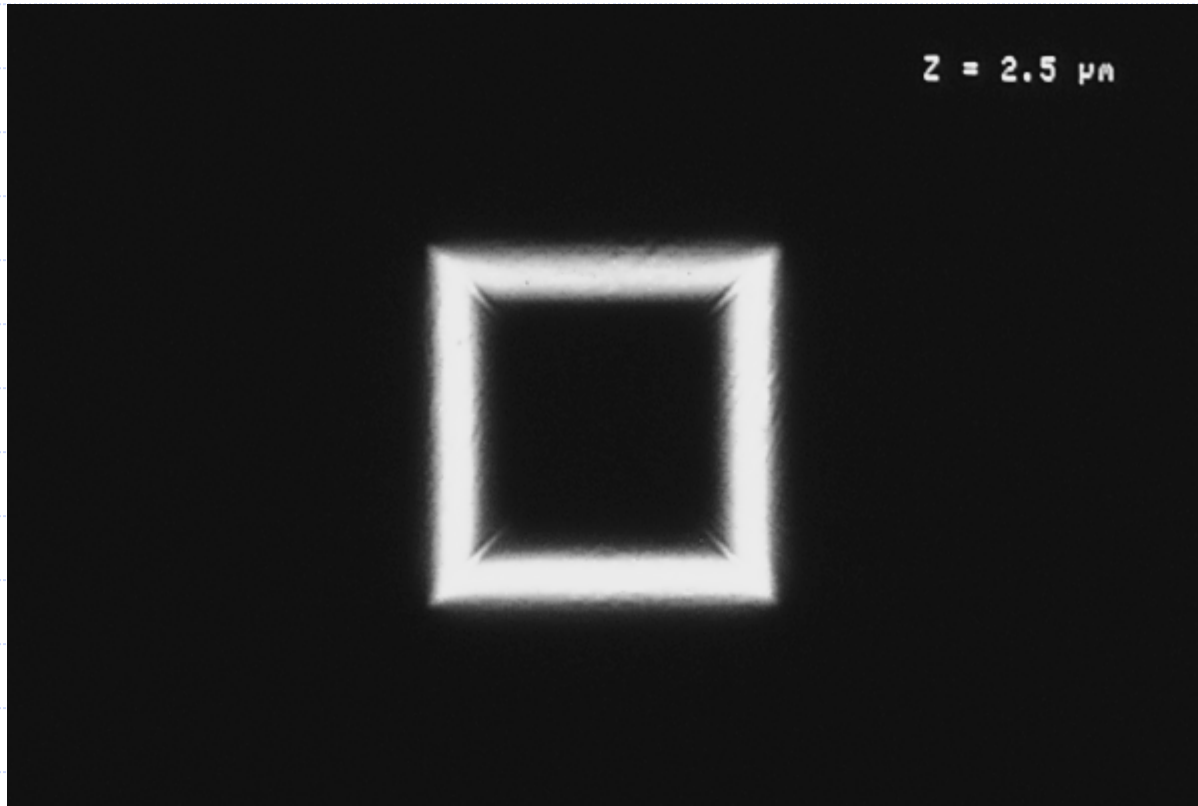


prawa

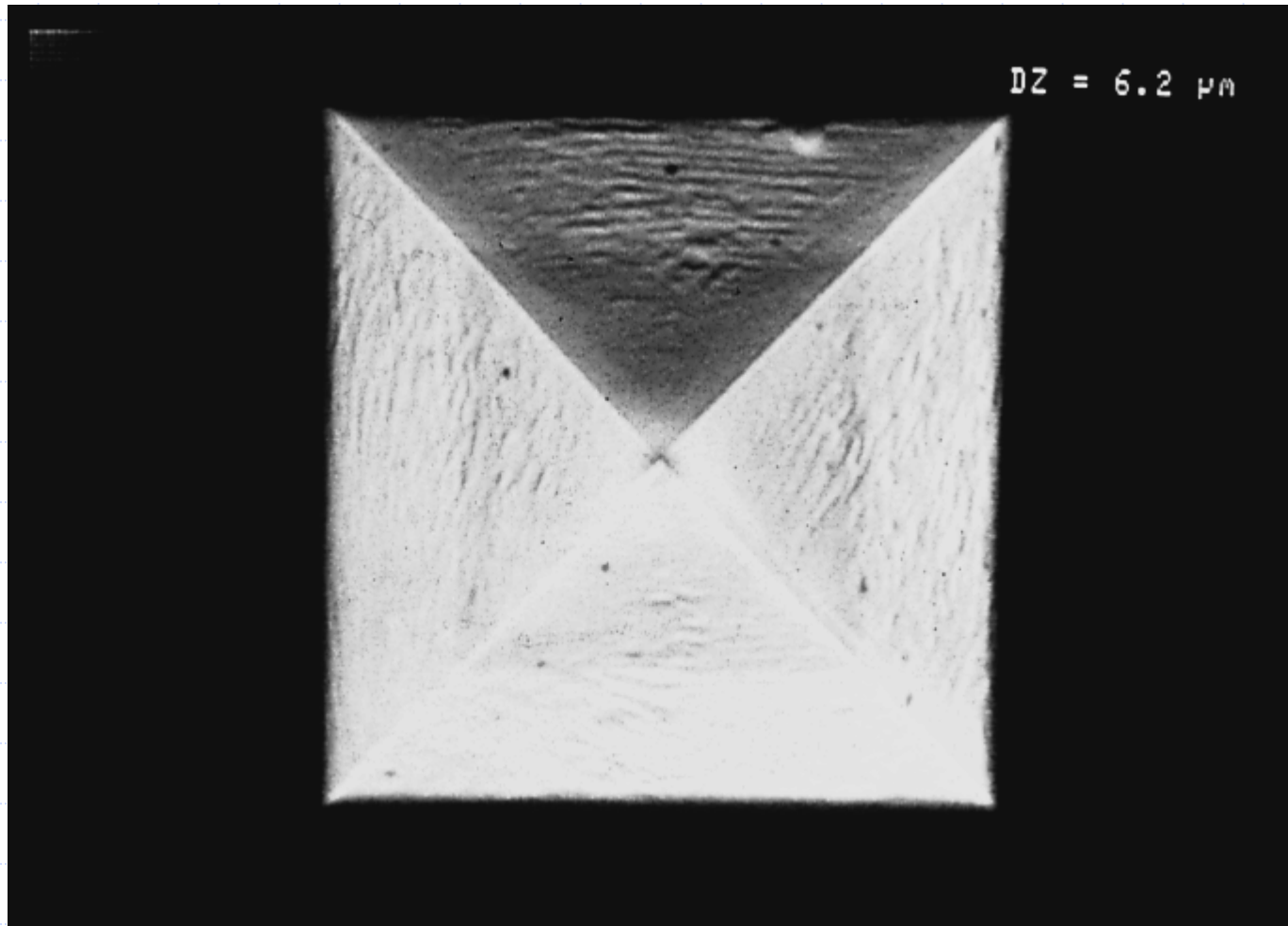
Zasady tomografii – obrazowania 3D



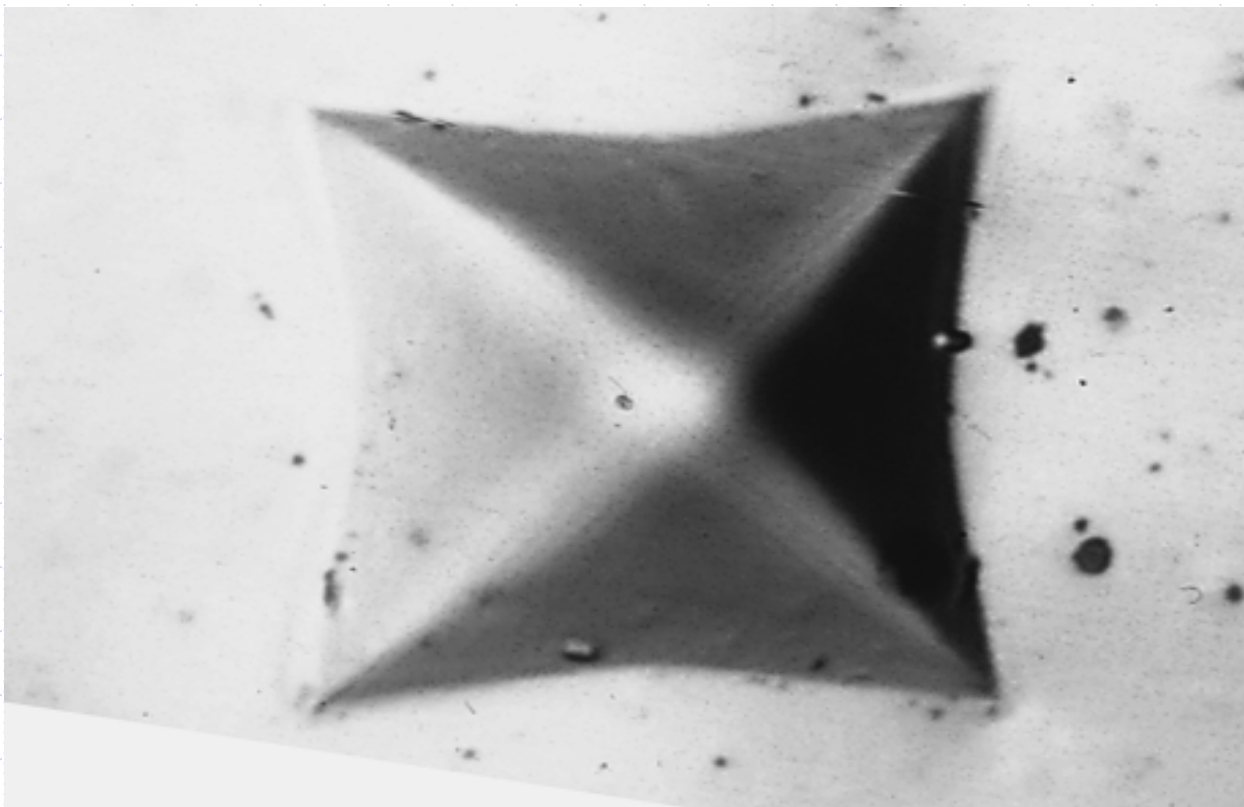
Obrazowanie 3D



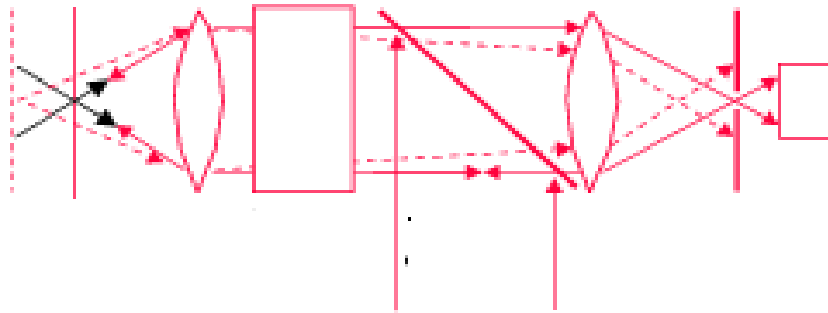
Obrazowanie 3D



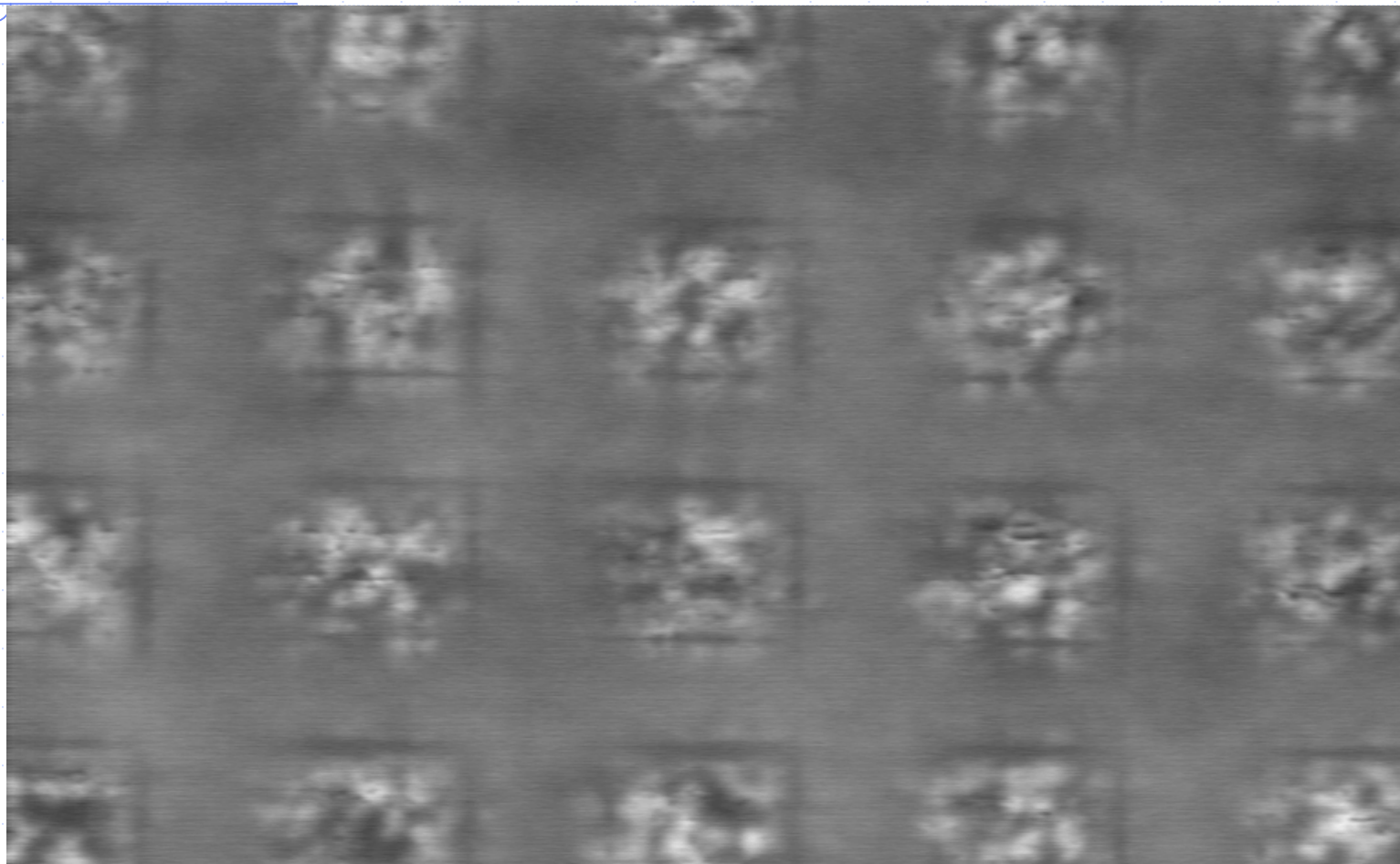
Obrazowanie 3D



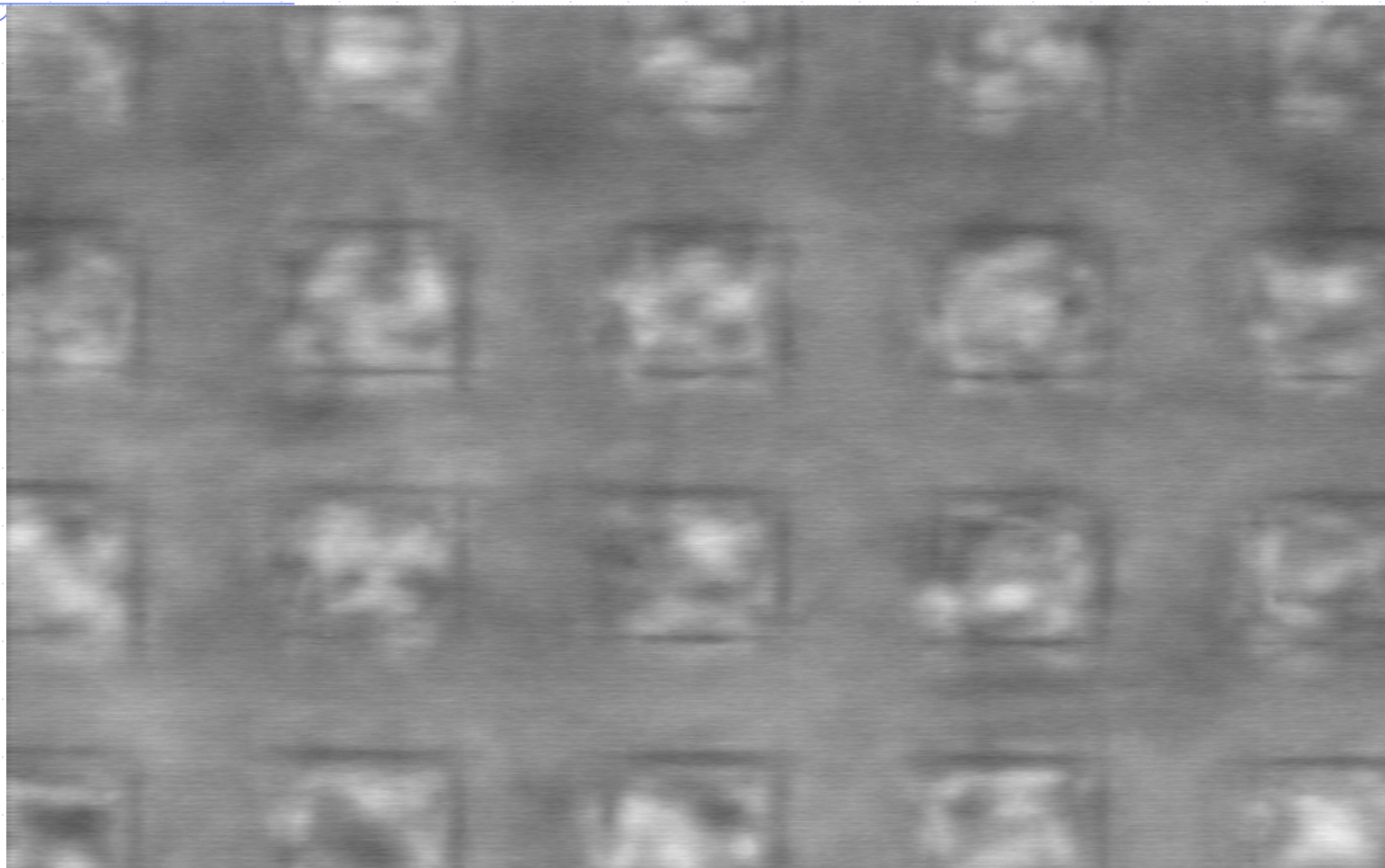
Konfokalna mikroskopia skanningowa



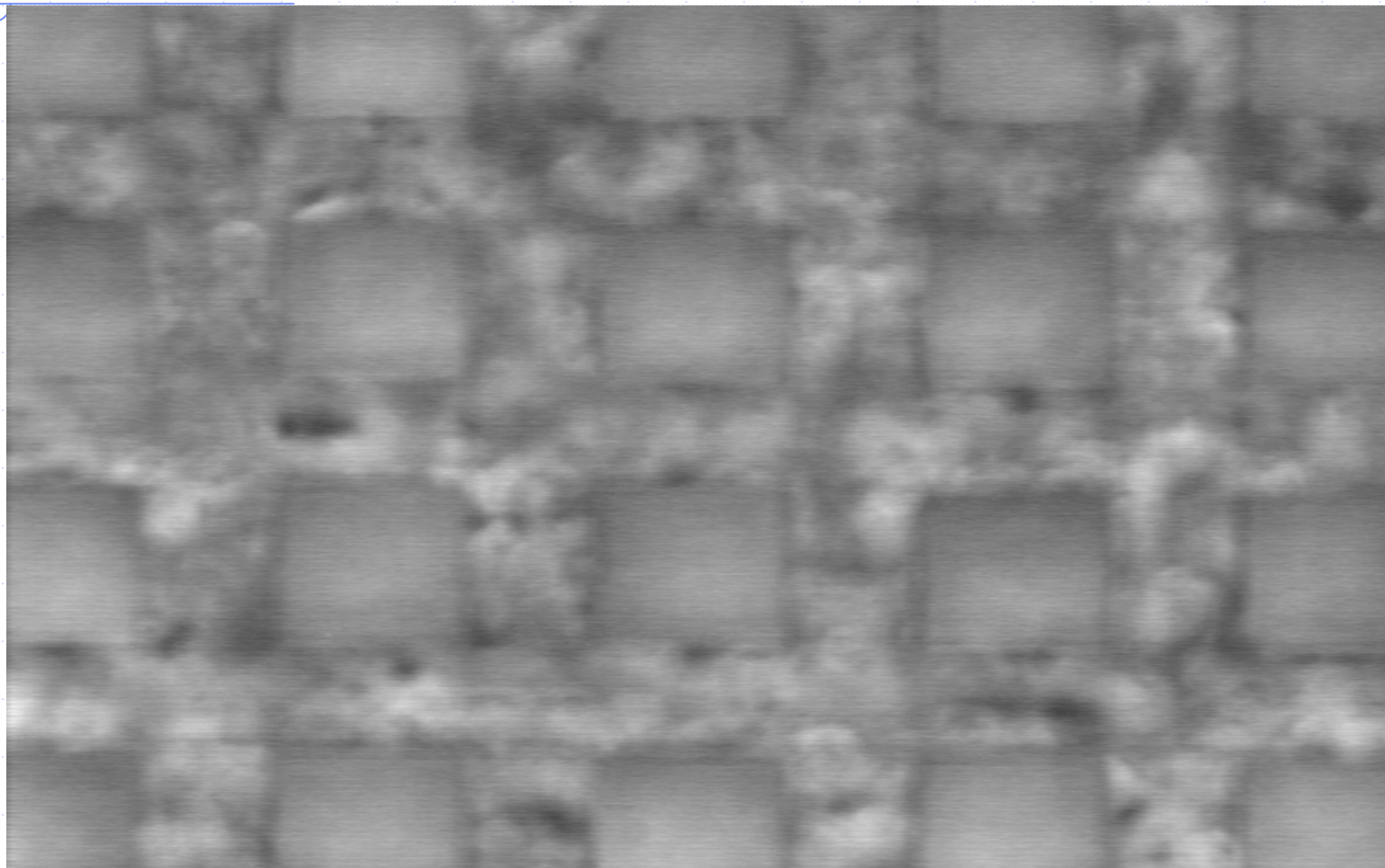
Obrazowanie 3D



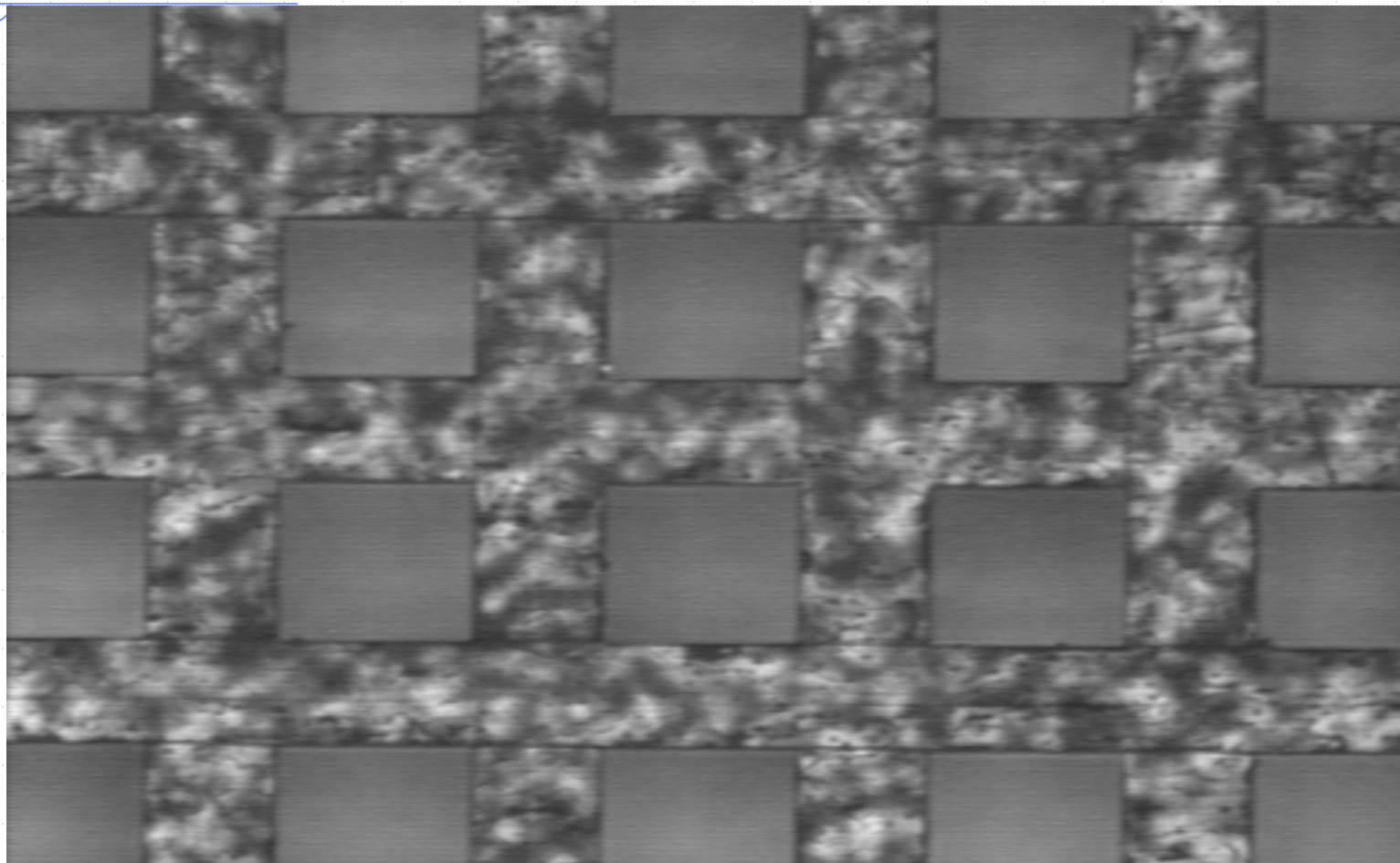
Obrazowanie 3D



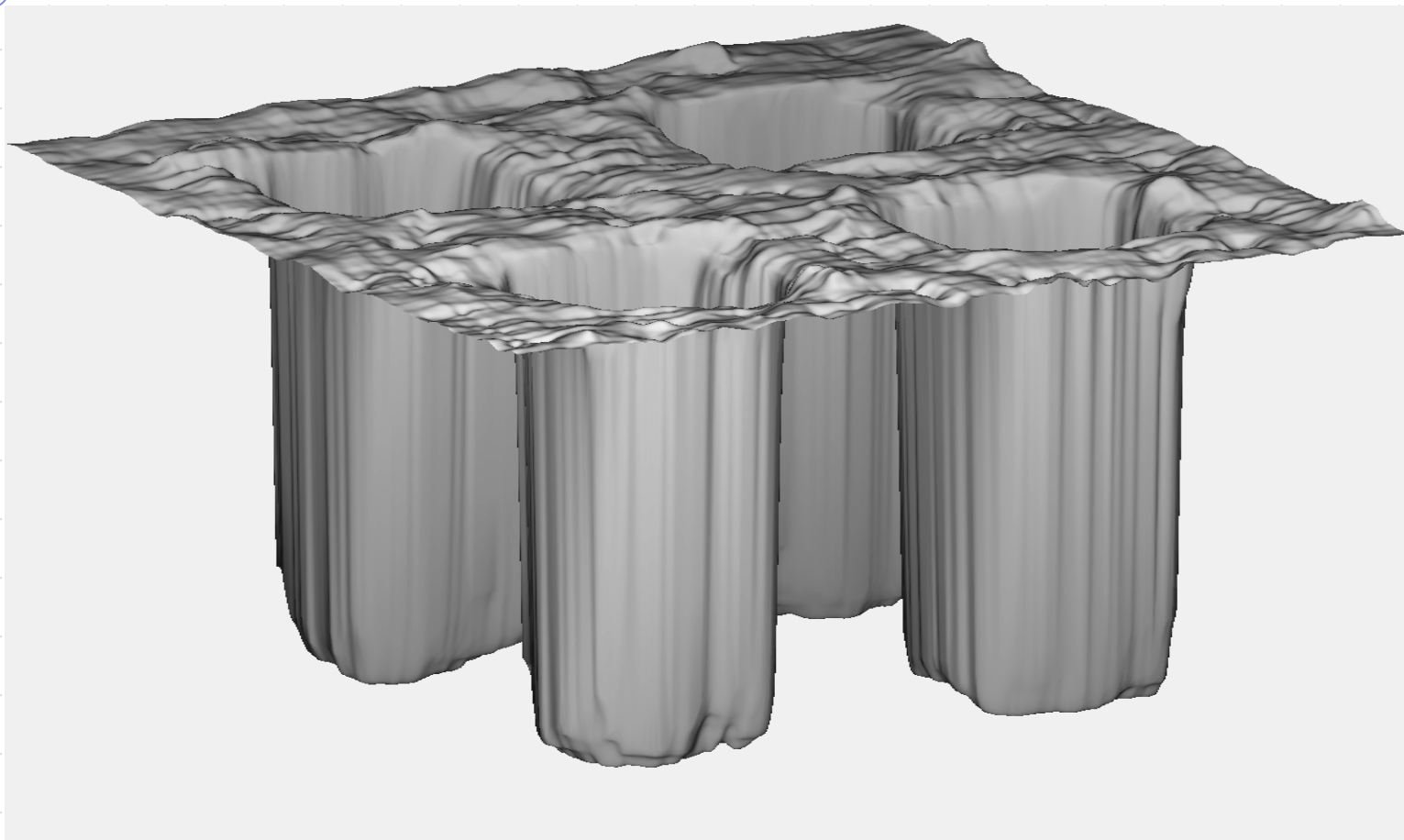
Obrazowanie 3D



Obrazowanie 3D



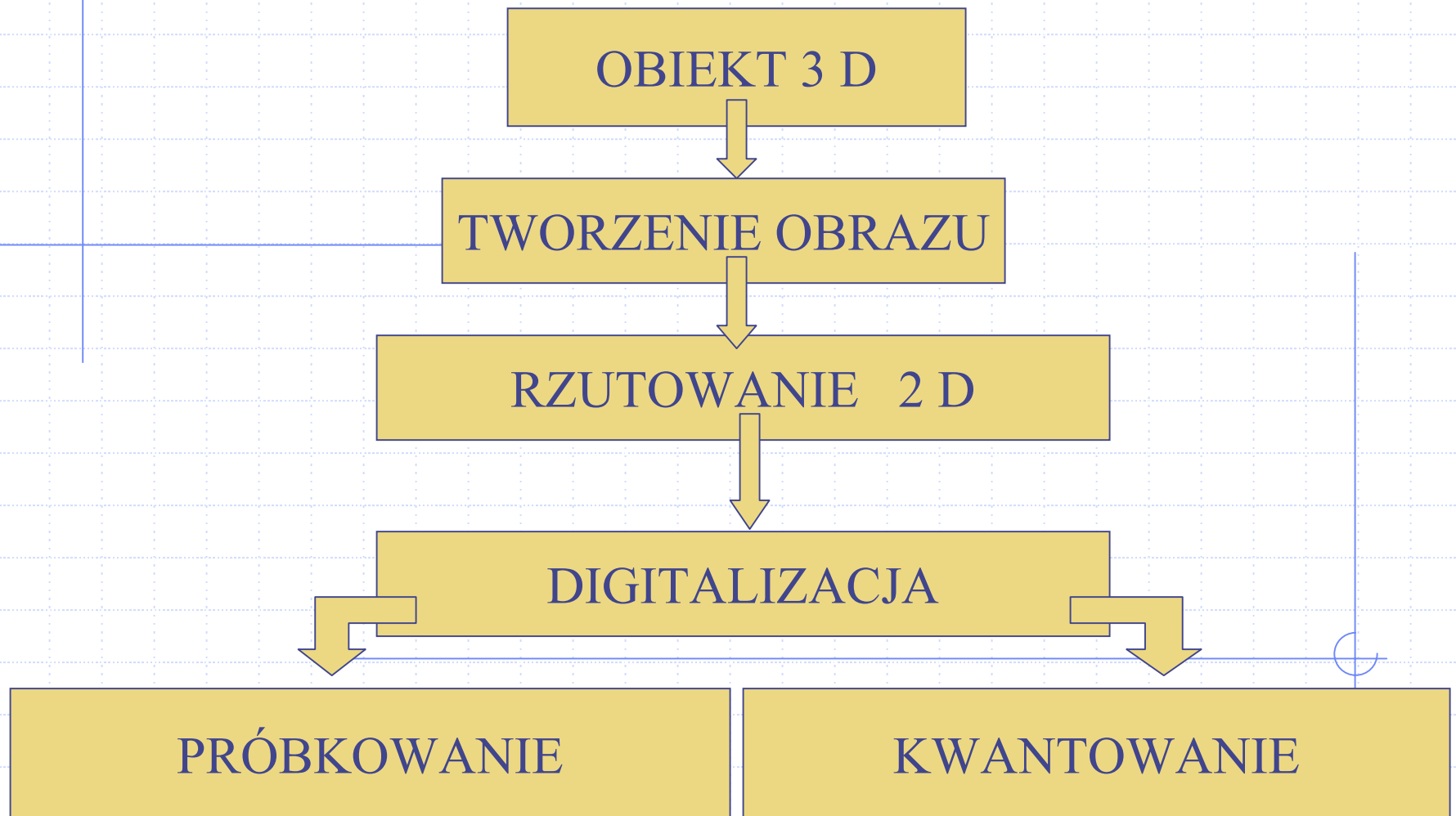
Obrazowanie 3D



Ad II.

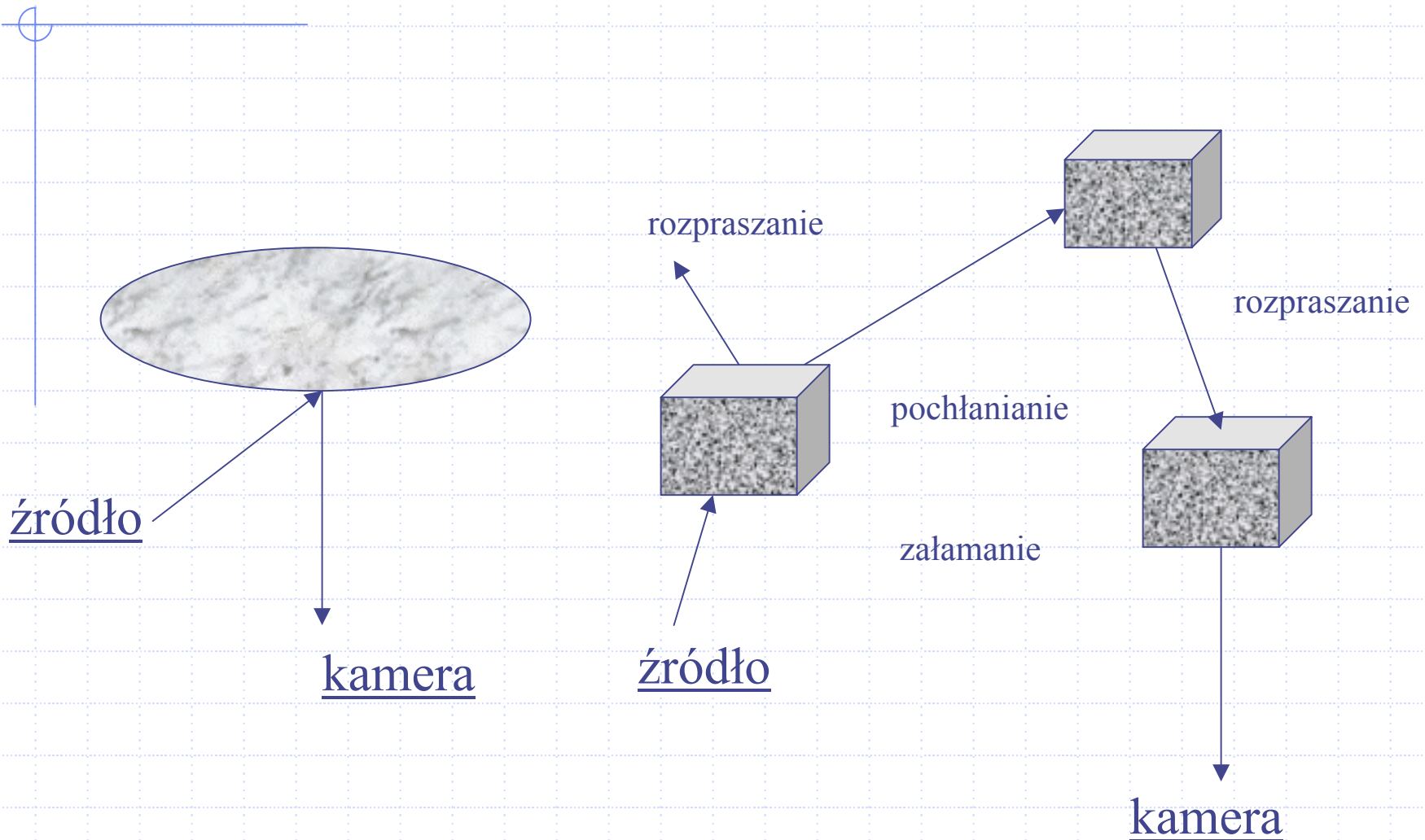
Pozyskiwanie obrazów - etapy i czynniki wpływające na jakość obrazu końcowego

POZYSKIWANIE (AKWIZYCJA) OBRAZÓW CYFROWYCH



TWORZENIE OBRAZU

SCHEMATY ODDZIAŁYWAŃ: promieniowania elektromagnetycznego z materią o różnych właściwościach



UWAGA:

Długość fali elektromagnetycznej,
pozwalająca na zobrazowanie obiektu,
musi być porównywalna
lub mniejsza
niż badany obiekt.

Np. molekula wody ma wymiary rzędu 10^{-10}m
i możemy ją badać przy pomocy promieniowania
far UV lub *soft X-ray*

RZUTOWANIE 2 D

Odpowiedni układ optyczny zbiera promieniowanie odbite od obiektu i rzutuje obiekt (przestrzeń trójwymiarową) na dwuwymiarową płaszczyznę obrazu (utrata informacji)
por. CAMERA OBSCURA



DIGITALIZACJA

KWANTYZACJA

-przypisanie każdemu punktowi
obrazu intensywności
reprezentowanej przez
odpowiednie skończone
wartości
poziomów szarości

PRÓBKOWANIE

- przetwarzanie ciągłego obrazu na obraz dyskretnych punktów na płaszczyźnie

Twierdzenie Shannona o próbkowaniu:

Jeśli funkcja okresowa jest próbkowana z częstotliwością równą lub większą od połowy okresu tej funkcji, jej oryginalna wielkość może być odtworzona na podstawie próbkowania.

Częstotliwość próbkowania dla obrazów oznacza ilość próbek na jednostkę powierzchni.

Uwaga:

*W praktyce dla obrazów dyskretnych
- za wyjątkiem szczególnych przypadków -
nie możemy spełnić warunków twierdzenia*

Tzw. **Liczba Nyquista** określa optymalną częstotliwość próbkowania, umożliwiającą odtworzenie obrazu/sygnału.

Akwizycja obrazów cyfrowych

Technologia CCD
- Charge Coupled Device –
układy scalone

Zasada działania:

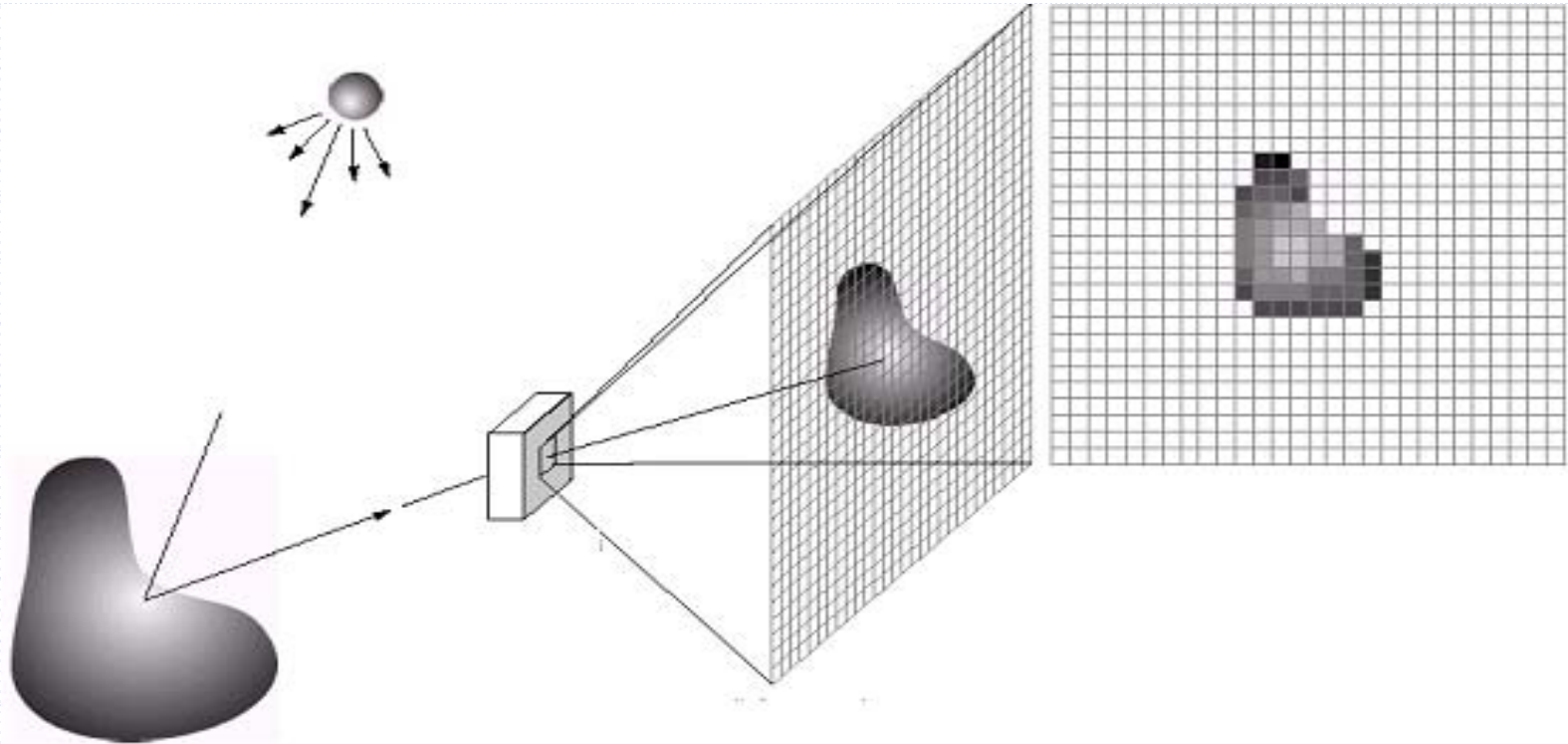
Struktury krzemowe są detektorami natężenia promieniowania:

- ładunek elektryczny jest proporcjonalny do ilości padającego promieniowania
- konwerter analogowo-cyfrowy (A/C) zamienia rejestrowany ładunek elektryczny na postać cyfrową zapisywaną i przetwarzaną na komputerze

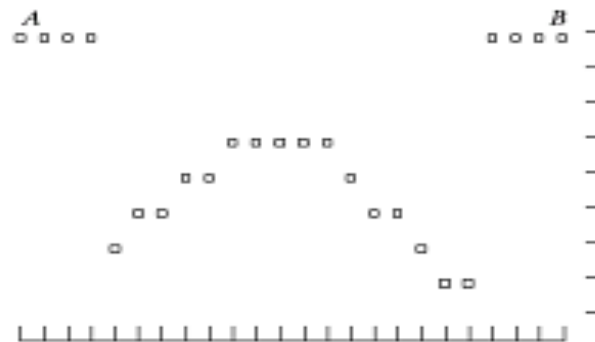
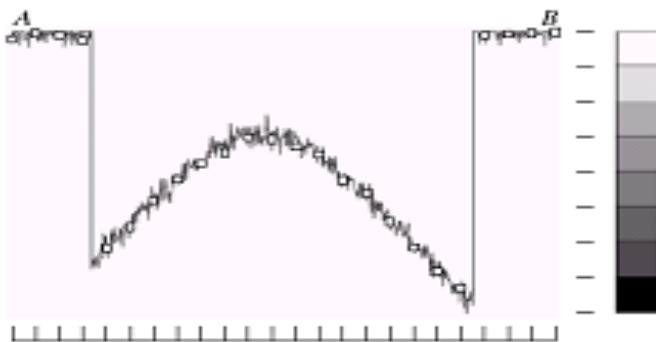
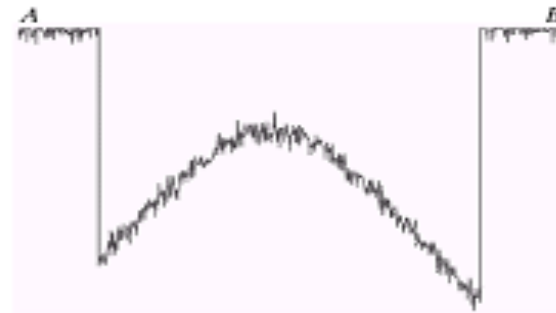
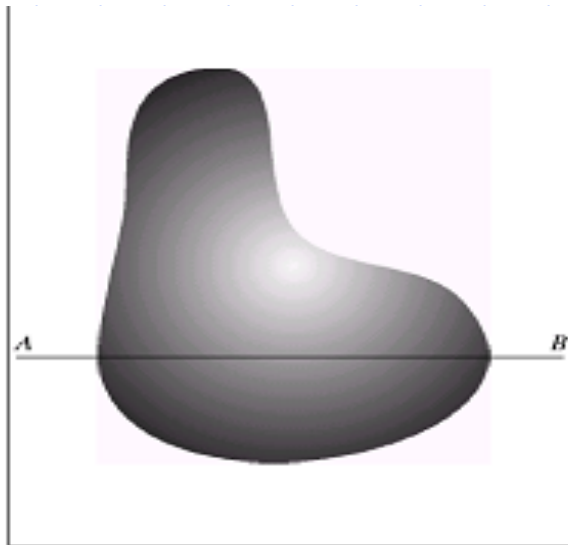
Uwaga:

- Tablica liczb (macierz) odpowiada rzeczywistemu fizycznemu obszarowi (matrycy) w strukturze CCD
(Typowe wymiary 800x800; 1024x1024..)
- Problemy techniczne:
 - szum termiczny (przerywanie wiązań krzemowych)
 - nierównomierna czułość (rozrzut do 10 %)
- Istotna rola układu optycznego (kamery, skanera itp.)

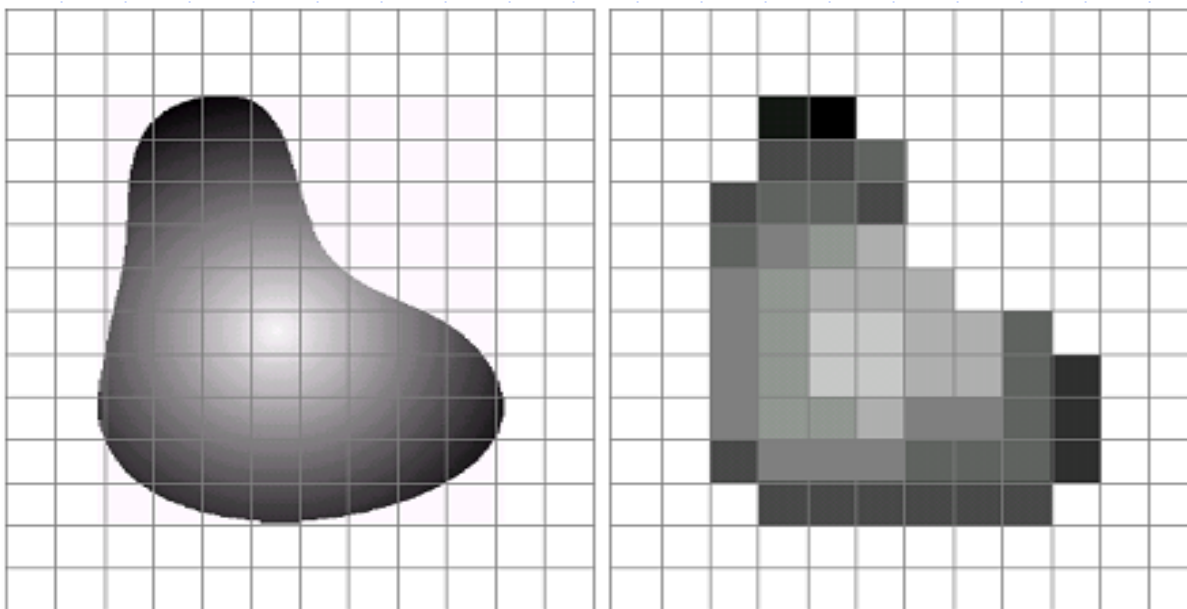
Tworzenie obrazu



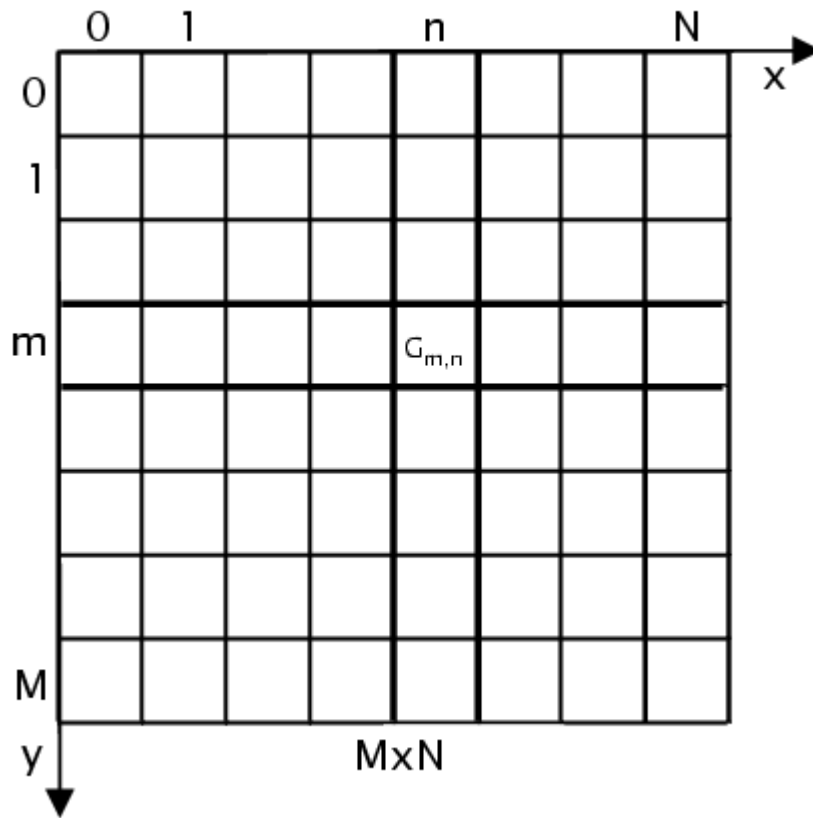
Digitalizacja obrazu – próbkowanie i kwantyzacja



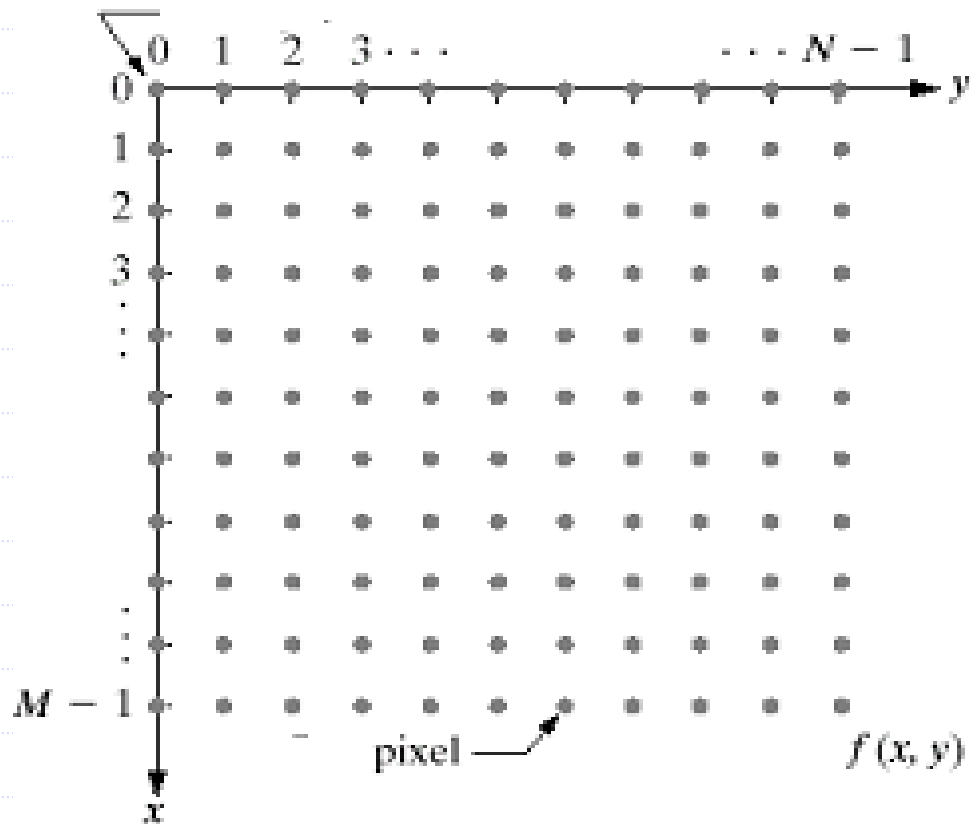
Obraz ciągły – *versus* obraz cyfrowy (próbkowany i kwantowany)



Reprezentacja macierzowa obrazów cyfrowych 2D (pixele)

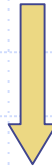


Reprezentacja macierzowa obrazów cyfrowych



W procesie digitalizacji - generalnie utrata informacji:

Nieskończona ilość poziomów szarości



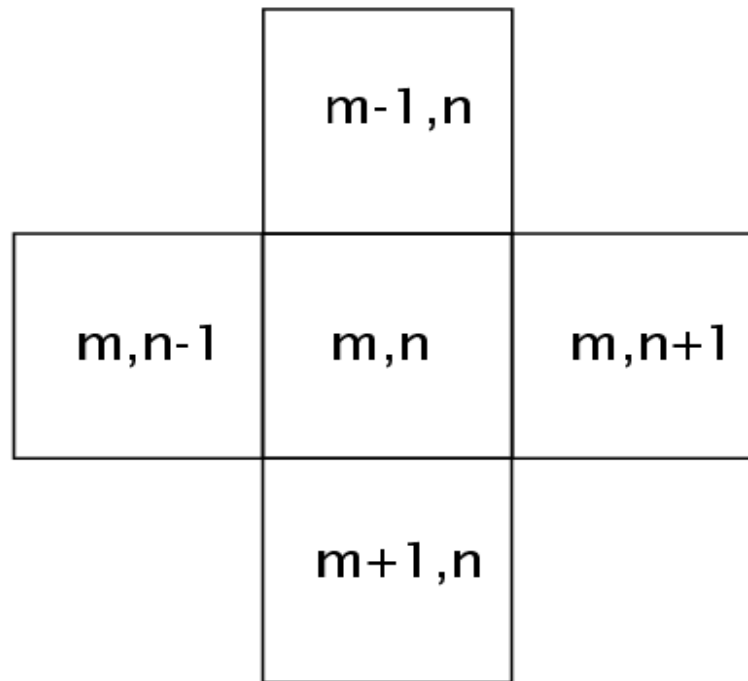
Skończona ilość punktów

**PYTANIE: JAK REKONSTRUOWAĆ CIĄGŁY OBRAZ NA
PODSTAWIE PRÓBKI PUNKTÓW ?**

Ważne:

- definicje sąsiedztwa (4 -,6 -,8 -)
- rotacje zdefiniowane tylko dla określonych punktów
- kłopoty z prezentacją linii prostych

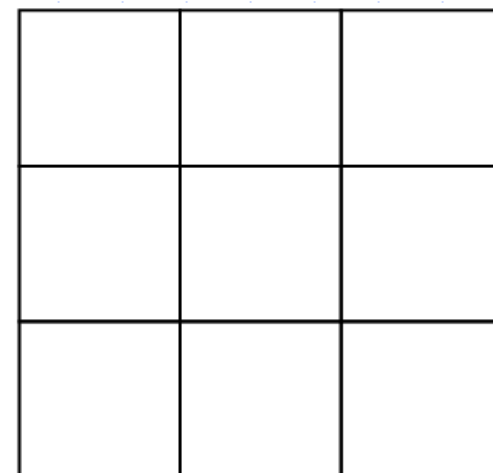
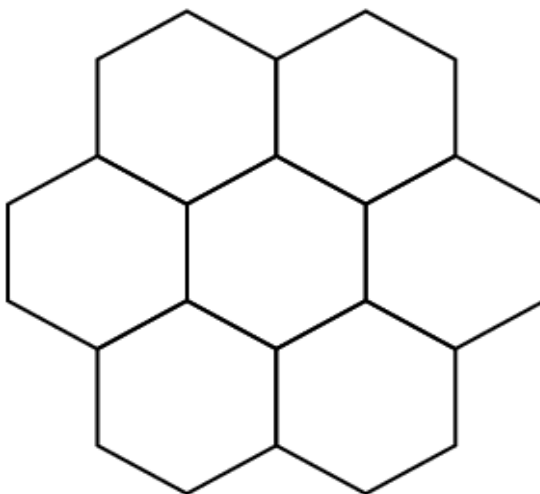
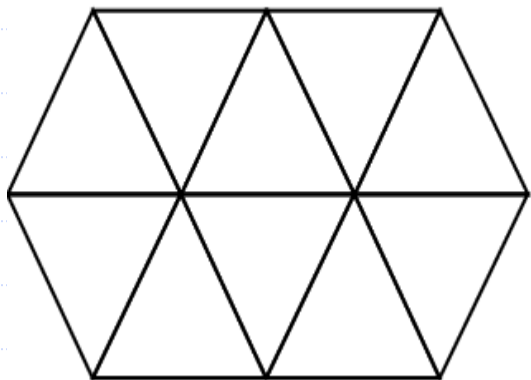
Sąsiedztwa typu - 4



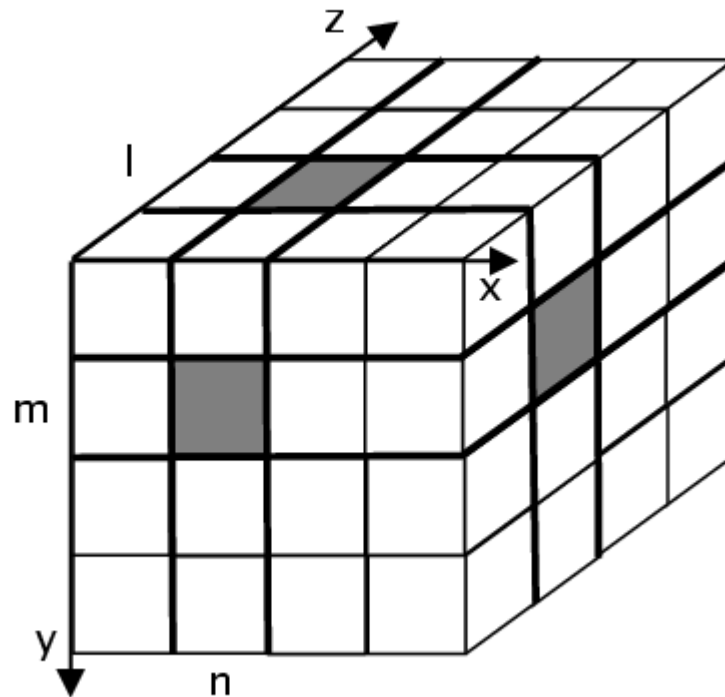
Sąsiedztwa typu - 8

$m-1, n-1$	$m-1, n$	$m-1, n+1$
$m, n-1$	m, n	$m, n+1$
$m+1, n-1$	$m+1, n$	$m+1, n+1$

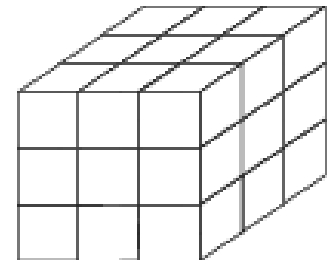
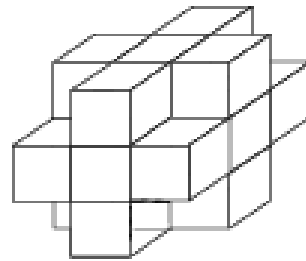
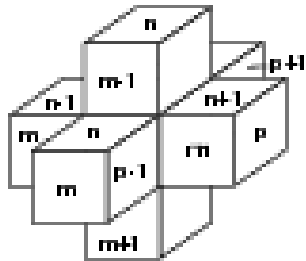
Możliwe typy regularnych siatek dla reprezentacji obrazów



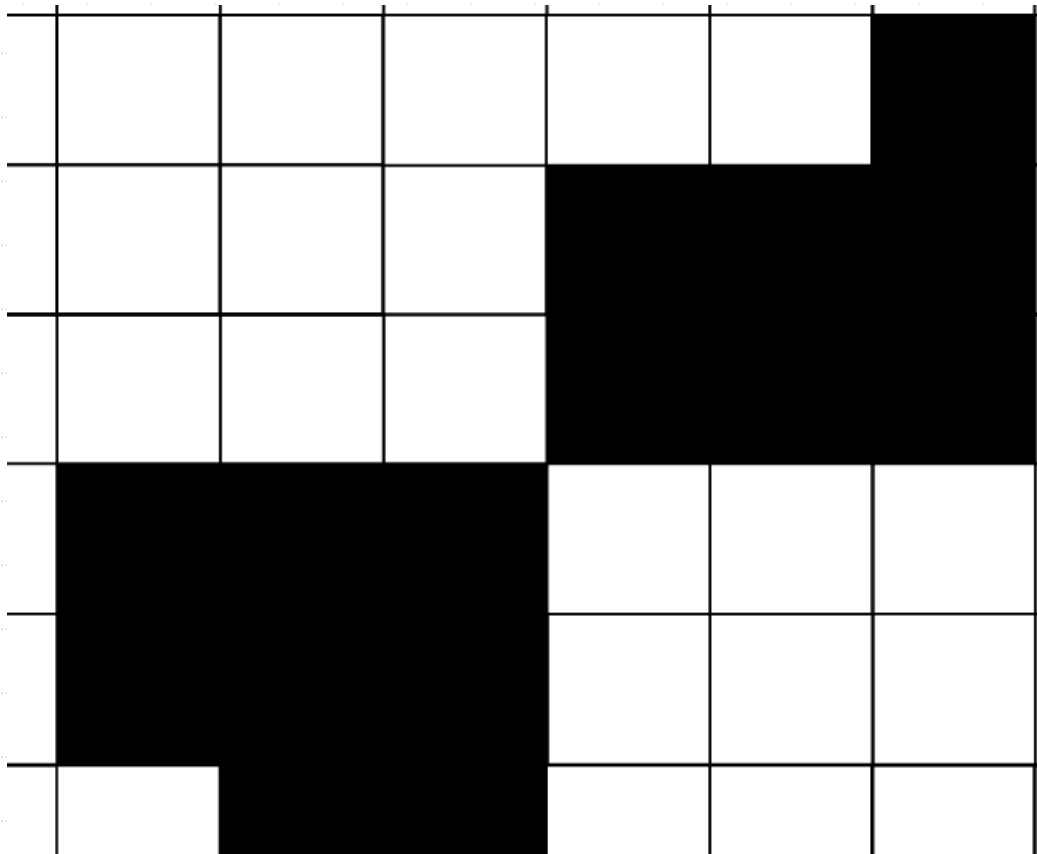
Reprezentacja macierzowa obrazów cyfrowych 3D (voxele)



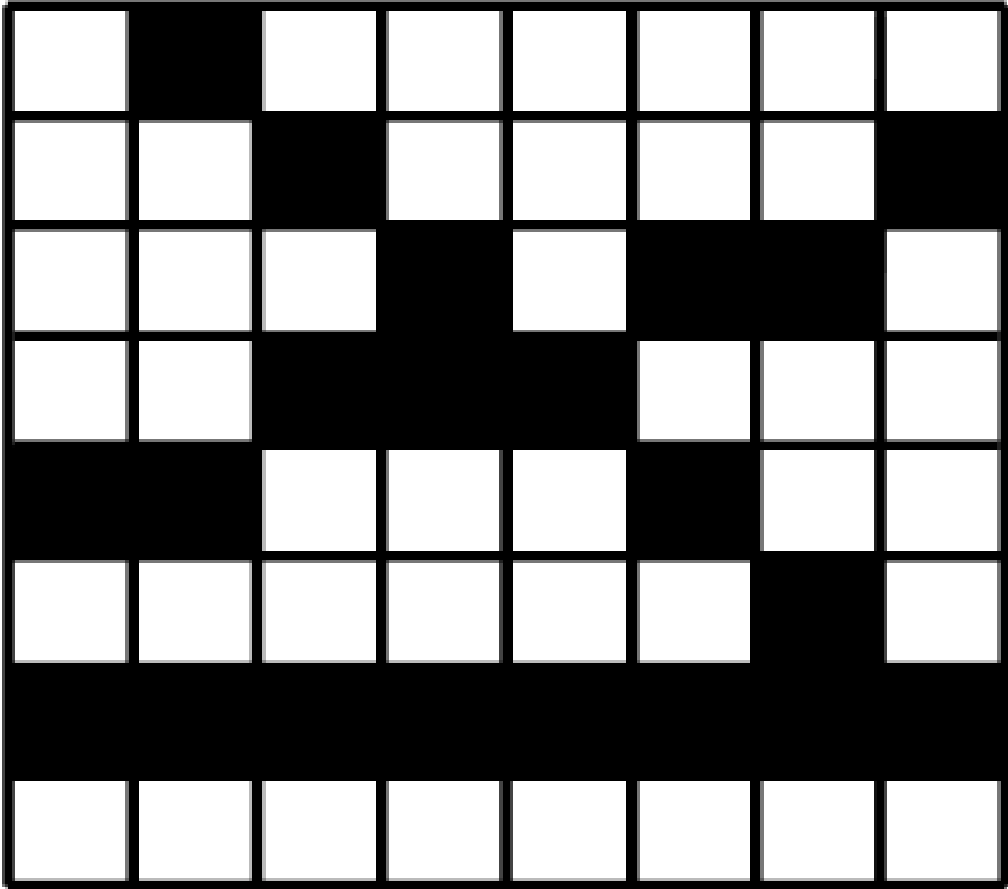
Trzy typy sąsiedztwa dla voxelu



Obiekty sąsiednie?...



Linia prosta?



Digitalizacja obrazu wymaga wyboru:

- wymiaru macierzy $M \times N$, gdzie M i N to liczby całkowite
- L poziomów szarości dla elementów obrazu (pikseli); L równomiernie rozłożone i całkowite

Typowa skala dla ilości poziomów szarości jest postaci
 $L=2^k$;

*ilość bitów dla obrazu cyfrowego wynosi **$b=M \times N \times K$***

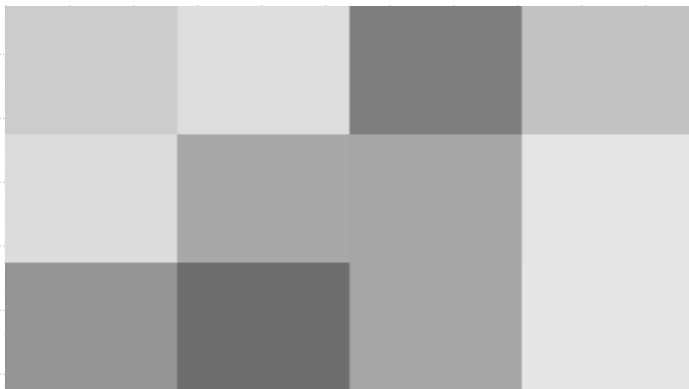
Liczba bitów dla różnych wartości N oraz k

N/k	1 ($L = 2$)	2 ($L = 4$)	3 ($L = 8$)	4 ($L = 16$)	5 ($L = 32$)	6 ($L = 64$)	7 ($L = 128$)	8 ($L = 256$)
32	1,024	2,048	3,072	4,096	5,120	6,144	7,168	8,192
64	4,096	8,192	12,288	16,384	20,480	24,576	28,672	32,768
128	16,384	32,768	49,152	65,536	81,920	98,304	114,688	131,072
256	65,536	131,072	196,608	262,144	327,680	393,216	458,752	524,288
512	262,144	524,288	786,432	1,048,576	1,310,720	1,572,864	1,835,008	2,097,152
1024	1,048,576	2,097,152	3,145,728	4,194,304	5,242,880	6,291,456	7,340,032	8,388,608
2048	4,194,304	8,388,608	12,582,912	16,777,216	20,971,520	25,165,824	29,369,128	33,554,432
4096	16,777,216	33,554,432	50,331,648	67,108,864	83,886,080	100,663,296	117,440,512	134,217,728
8192	67,108,864	134,217,728	201,326,592	268,435,456	335,544,320	402,653,184	469,762,048	536,870,912

Uwaga:

- ✓ Próbkiwanie decyduje o przestrzennej rozdzielczości obrazu cyfrowego - określa najmniejszy widoczny szczegół na obrazie (np. ilość linii na mm)
- ✓ Rozdzielczość w skali szarości dotyczy rozróżniania jako oddzielnych dwóch, różnych poziomów szarości na obrazie. Jest to zwykle proces subiektywny (typowe poziomy 8, 16 bitowe)

Reprezentacje obrazów w pikselach – różne próbkowania



3x4



12x16



48x64

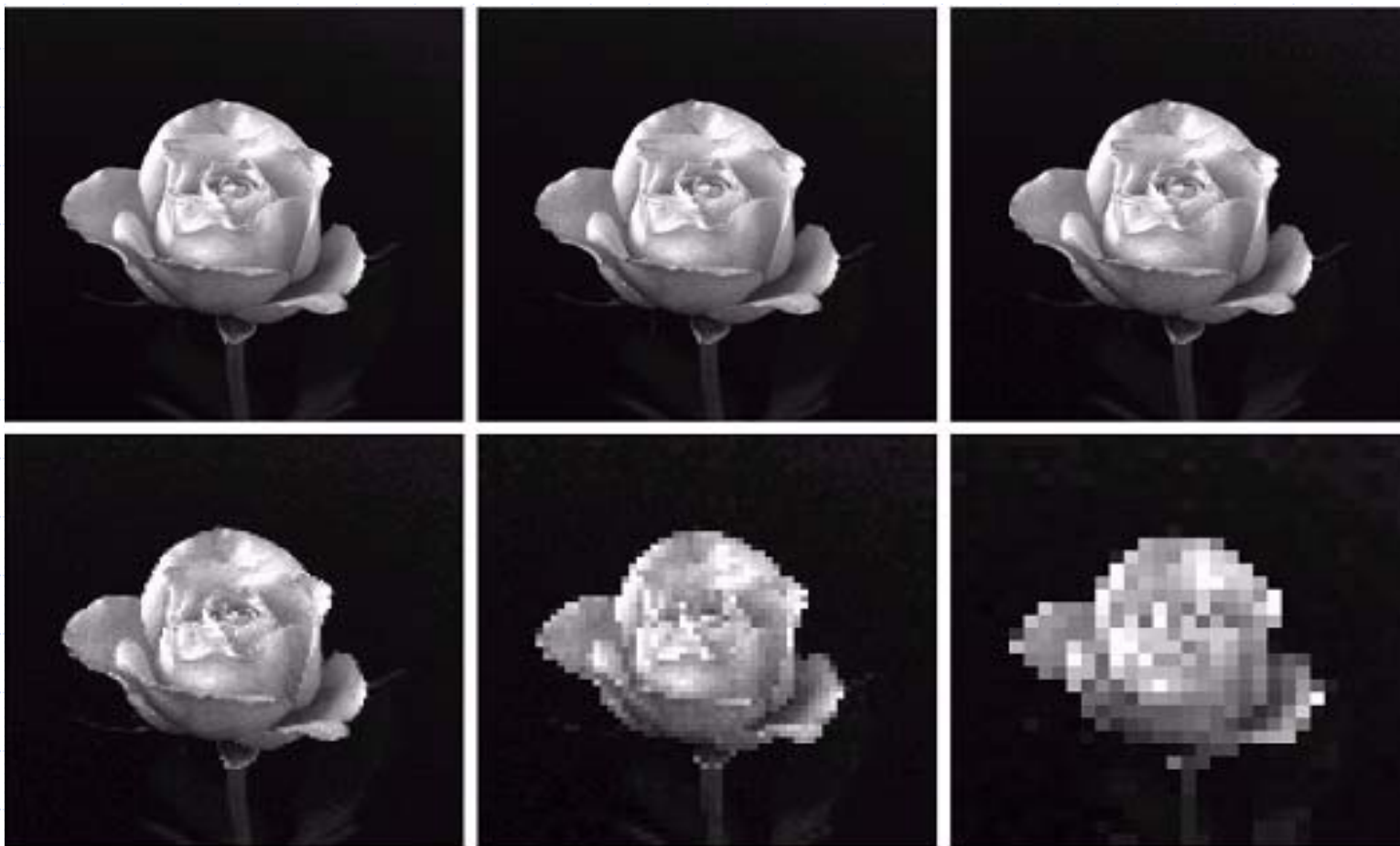


192x256

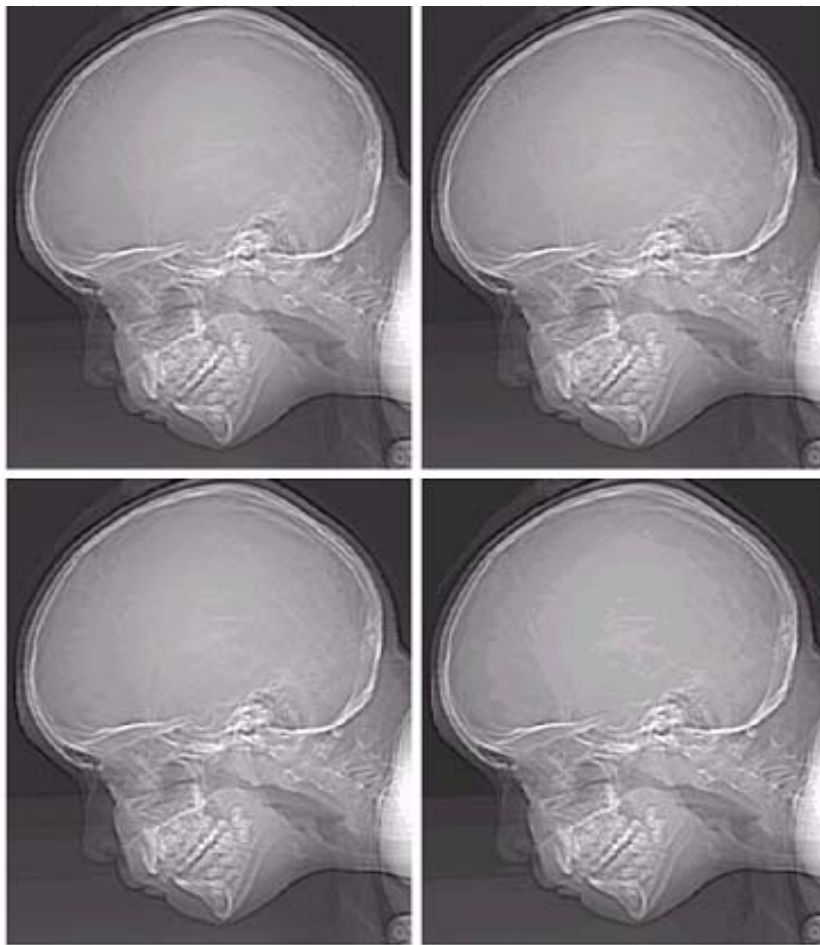
Obrazy 8-bitowe dla 256 poziomów kwantyzacji (różne próbkowania)



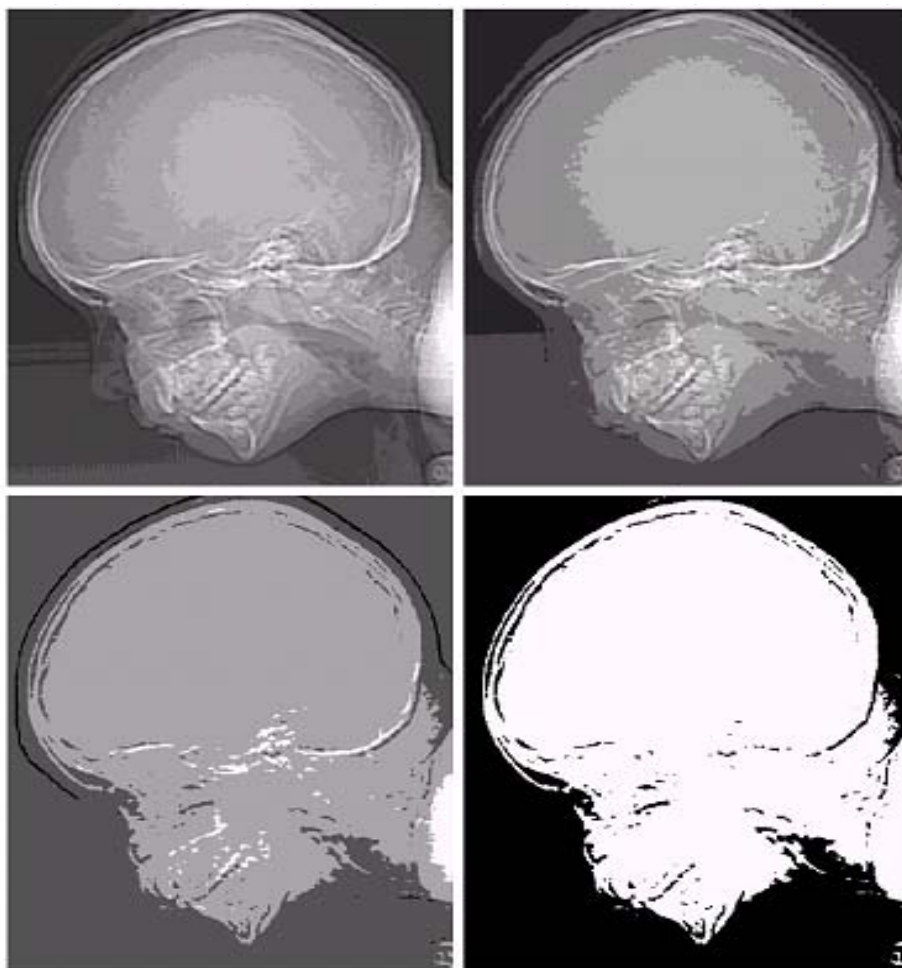
Obrazy 8-bitowe dla 256 poziomów kwantyzacji (o rozmiarach 1024 x 1024)



Poziomy kwantyzacji - 256, 128, 64, 32



Poziomy kwantyzacji - 16, 8, 4, 2



Ilustracja efektów kwantyzacji



L=16

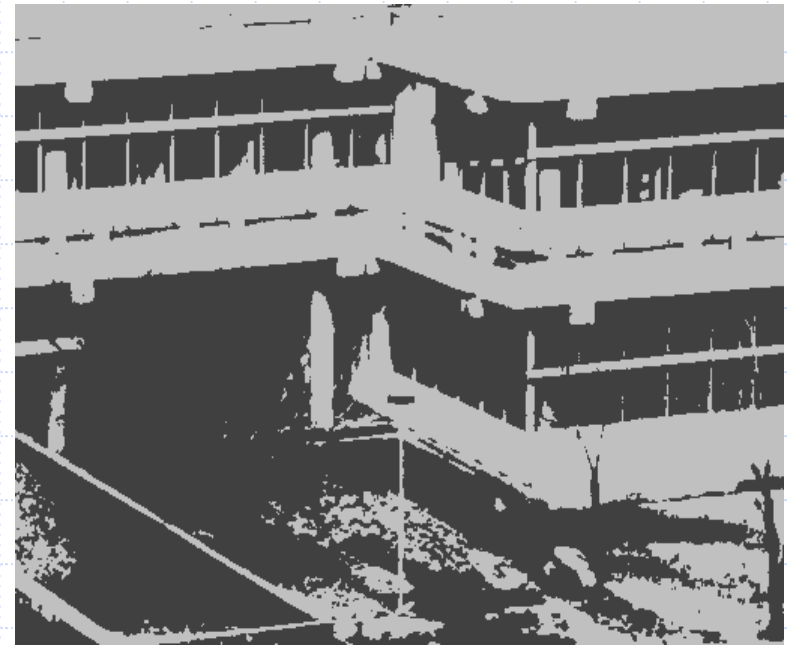


L=8

Ilustracja efektów kwantyzacji



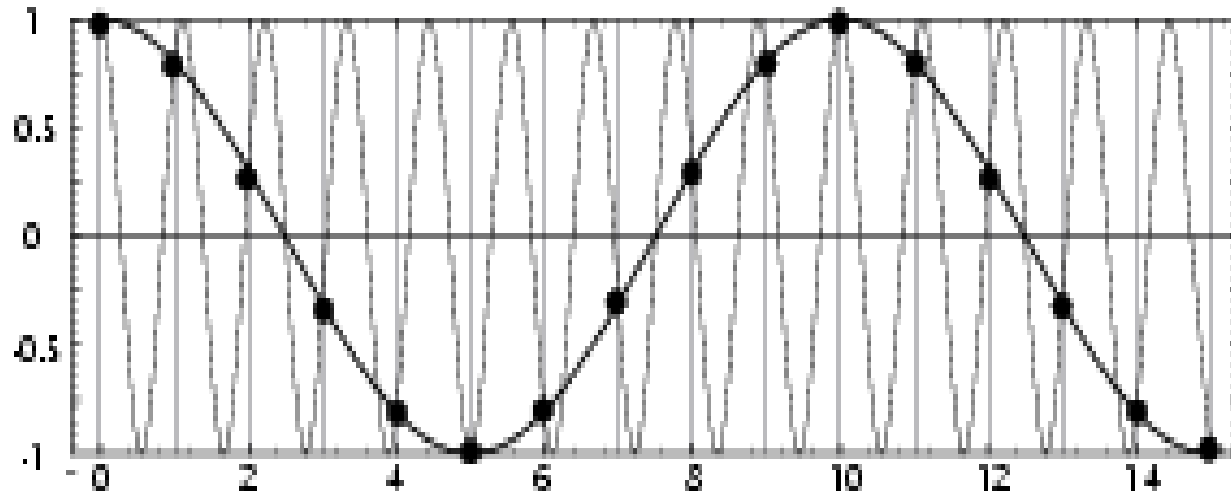
L=4



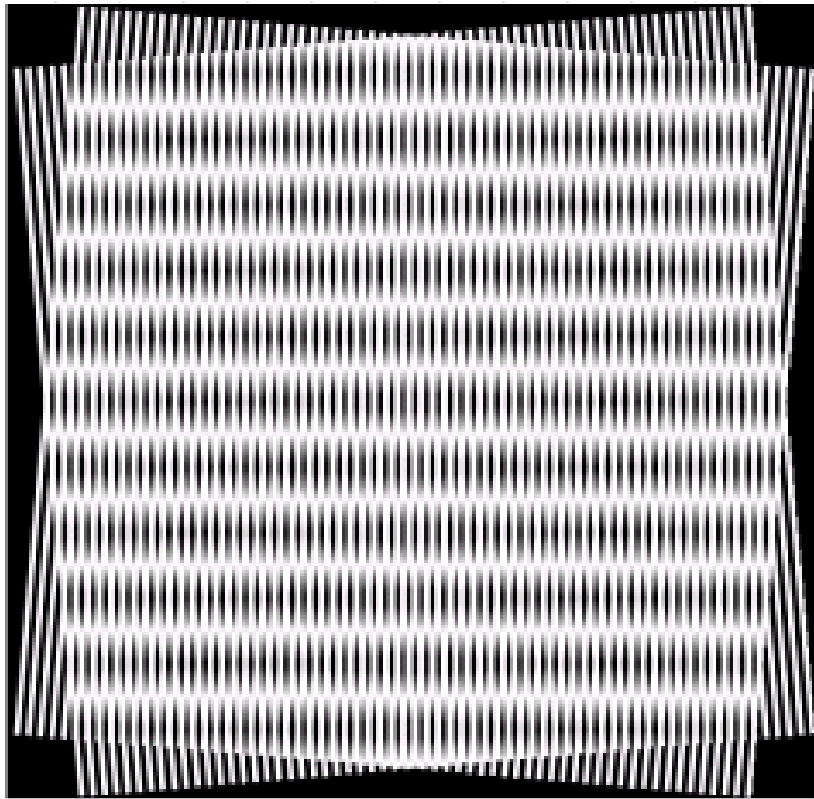
L=2

ARTEFAKTY W PROCESIE DIGITALIZACJI...

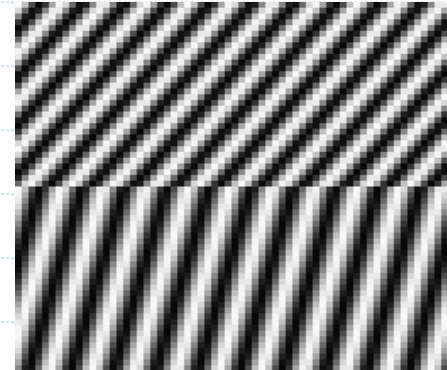
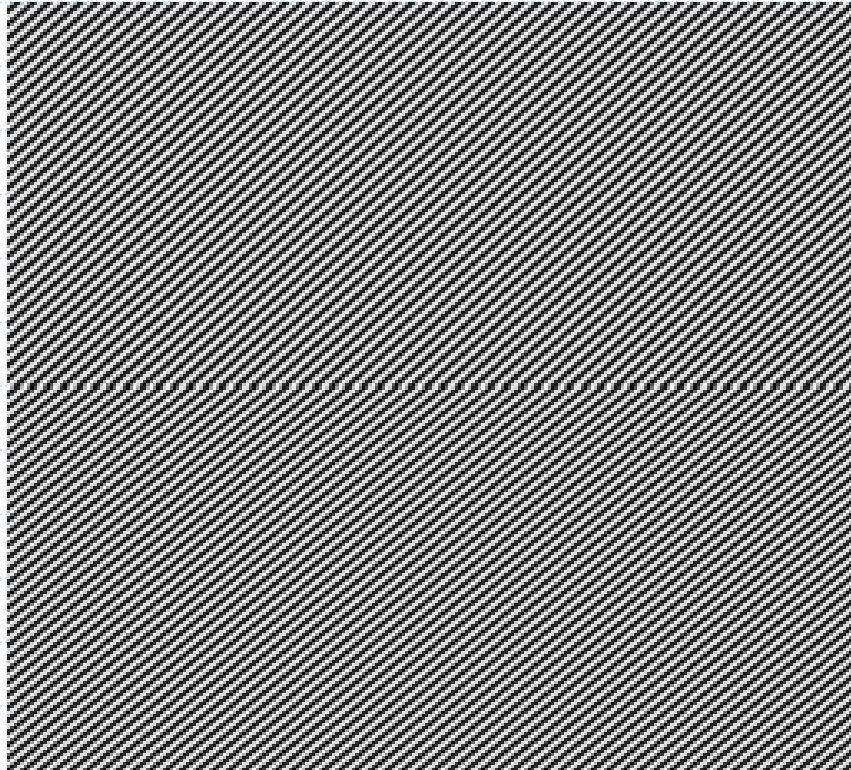
Efekt aliasingu - intermodulacji



Efekty MOIRE'A



Efekty MOIRE'A



Operacje na obrazach

→ operacje na macierzach

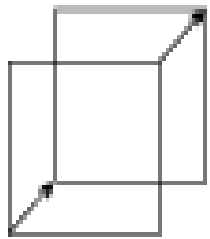
Uwaga:

Dzielenie macierzy niezdefiniowane...

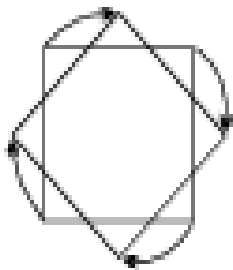
ALE dzielenie obrazu przez obraz rozumiane specyficznie jako odnoszące się do wartości pikseli dla dwóch obrazów.

Np. dzielenie obrazu A przez B oznacza dzielenie odpowiednio wartości pierwszego piksela A przez B itd., przy założeniu, że żaden piksel obrazu B nie jest równy zero

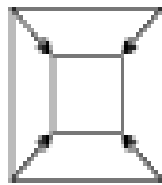
Elementarne operacje geometryczne na obrazach



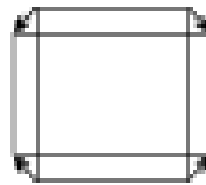
1



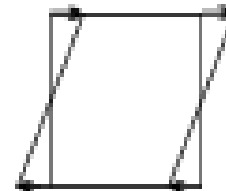
2



3



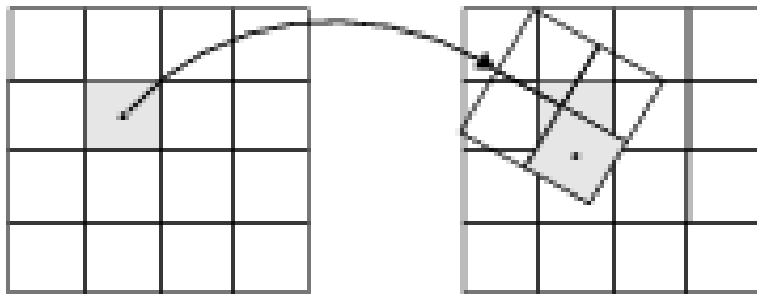
4



5

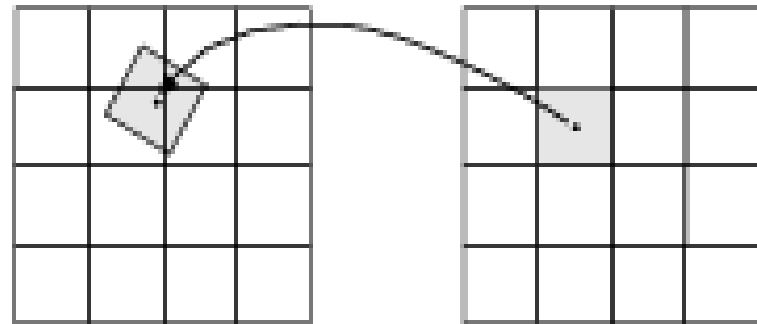
1 rotacja; 2 rotacja; 3 zweężanie; 4 rozciąganie; 5 skręcanie

Transformacije na obrazach



input

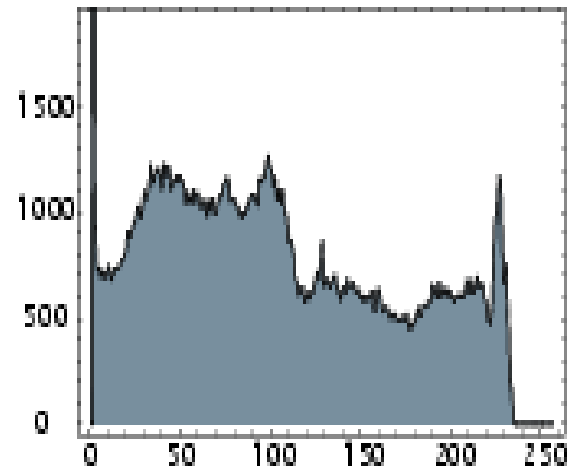
output



input

output

Informacja o obrazie w postaci histogramu



Informacja o obrazie w postaci histogramu

elements (section 4.3.2b).
of an optical system is a perspective
a) models the imaging geometry and
y described by the position of the
focal length (section 4.3.2c). For th
determine the distance range that
of field, section 4.3.2d) and to lear
d hypercentric optical systems (se
eal optical system from a perfect

