



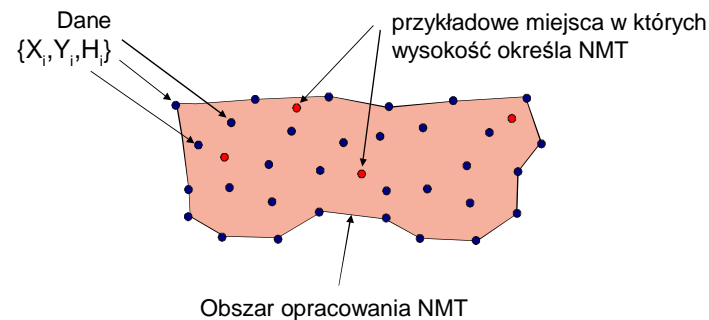
## Definicja NMT

Numeryczny Model Terenu jest numeryczną reprezentacją powierzchni terenu umożliwiającą określenie wysokości H dowolnego punktu o znanych współrzędnych XY, odtworzenie kształtu powierzchni terenu a także określenie wielkości pochodnych do kształtu.

określenie wysokości H dowolnego punktu o znanych współrzędnych XY – to podstawowa funkcjonalność, wskazujemy miejsce (punkt o wsp. XY) a otrzymujemy wysokość terenu w tym miejscu  
odtworzenie kształtu – w postaci przekrojów poziomych i pionowych, rzutów perspektywicznych, itp.  
określenie wielkości pochodnych do kształtu – spadek (1.pochodna), krzywizna (2.pochodna), wystawa zbcza

w NMT wyróżniamy:

- dane - jest to zorganizowany zbiór wybranych punktów powierzchni
- algorytm interpolacji wysokości w miejscu XY na podstawie danych zaimplementowany w programie komputerowym

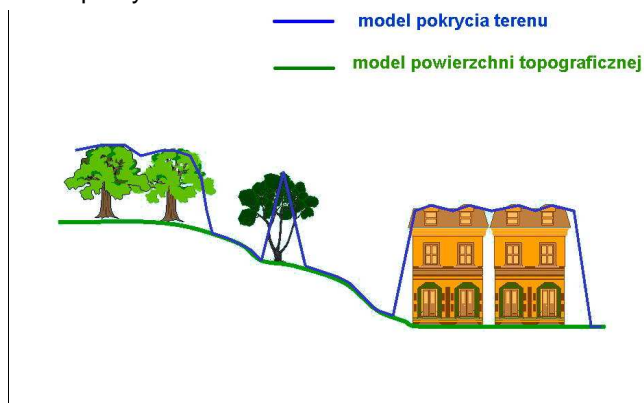


## NMT i NMPT

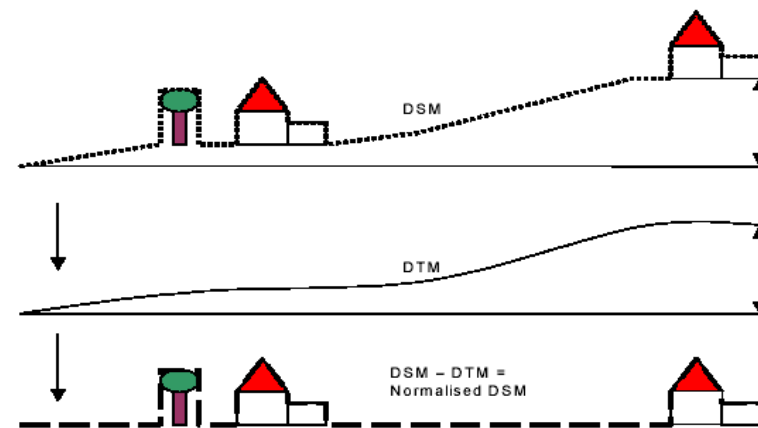


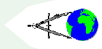
NMT ↔ DTM (Digital Terrain Model)  
 model pow. topograficznej (rzeźba terenu)

NMPT ↔ DSM (Digital Surface Model)  
 numeryczny model pokrycia terenu



## DTM, DSM, nDSM



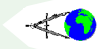


### Opracowanie NMT obejmuje

- pozyskiwanie danych => pomiar bezpośredni, fotogrametryczny, laserowy, radarowy,...
- przetwarzanie danych => od danych źródłowych do docelowej struktury NMT

### Użytkowanie

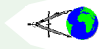
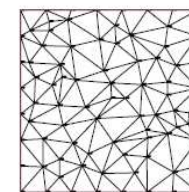
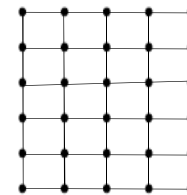
- jako obligatoryjny element w klasycznym procesie ortorektifikacji (korekta przesunięć radialnych)
- opracowywanie produktów pochodnych np. spadki, wystawa zboczy (aspekt)
- wizualizowanie NMT: warstwy, mapa hipsometryczna, cieniowana, rzuty perspektywiczne, itp.
- wykorzystanie NMT jako element składowy analiz np. modelowanie erozji, wyznaczenie obszarów do zalesiania, stref zalewowych



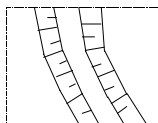
### Postacie NMT

czyli jak może być zorganizowany zbiór danych  $\{X_i, Y_i, H_i\}$

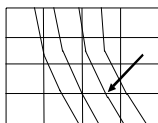
1. punktowy model regularny - siatka kwadratów, prostokątów (GRID)
2. punktowy model nieregularny zorganizowany w trójkąty - nieregularna sieć trójkątów (TIN - Triangular Irregular Network) (TIN)
3. hybrydowy: 1+2 (siatka regularna plus linie i punkty charakterystyczne)



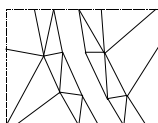
Sztuczne formy terenowe dokładniej reprezentuje model TIN ...



Droga w nasypie

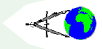


GRID – siatka pomija punkty załamania nasypu



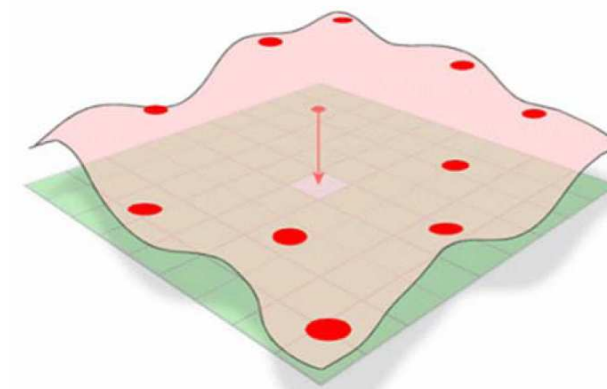
TIN – dobra charakterystyka nasypu

... ale w GIS częściej używamy postaci GRID



### Dwa zasadnicze problemy NMT

- 1) problem próbkowania (*sampling problem*)  
dobór charakterystycznych punktów powierzchni w celu uzyskania najlepszego efektu przy minimalizacji ilości danych
- 2) problem przedstawienia powierzchni (*representation problem*)





## GRID

### Zalety

1. Dogodny do przechowania i zarządzania
2. Łatwe przetwarzanie i analizowanie (np. wygładzanie, spadki, azymuty, komponent w analizach gridowych)
3. Prosta wizualizacja 3D w tym drapowanie
4. Łatwa wymiana danych (nie modelu)

### Wady

1. nadaje się do opisu terenów płaskich lub pofalowanych, bez elementów krawędziowych i nieregularnych form terenowych
2. Dla terenów górzystych konieczna duża gęstość siatki

## TIN

### Zalety

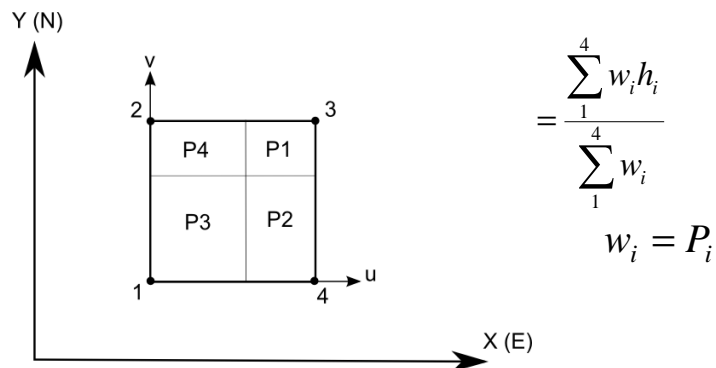
1. dobrze modeluje tereny urozmaicone, w tym zawierające nieciągłości
2. Zachowuje dokładność danych źródłowych

### Wady

1. Złożony proces triangulacji
2. Złożona postać zapisu (punkty i powiązania w trójkąty)
3. Trudne przetwarzanie (np. wygładzanie)
4. Brak standardu wymiany

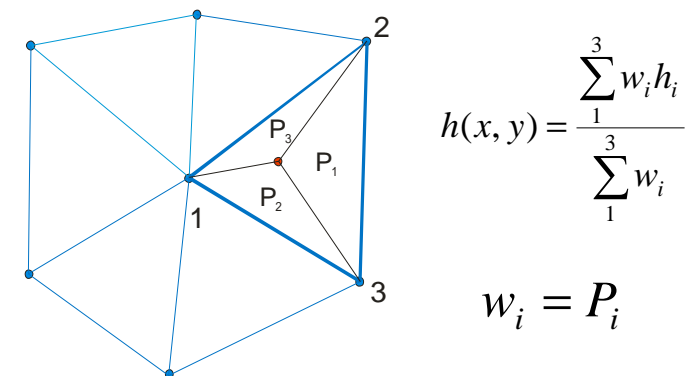
## Interpolacja w modelu GRID

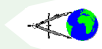
Najczęściej interpolacja paraboloidą hiperboliczną:



## Interpolacja w modelu NMT

Najczęściej interpolacja planarna



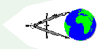


### Typowe produkty pochodne z NMT

- Spadki terenu – mapa spadków
- Ekspozycja zboczy (aspekt) – mapa ekspozycji
- Formy wklęsłe i wypukłe – mapa ...

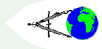
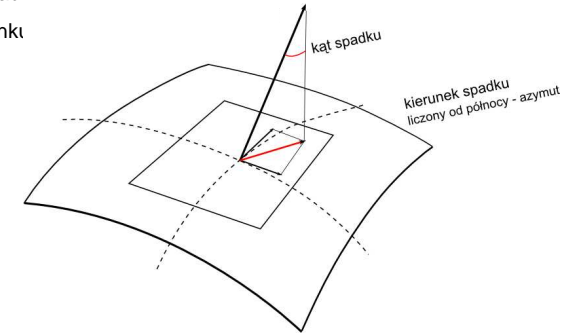
### Typowe sposoby prezentacji NMT

- Mapa warstwiczna
- Mapa hipsometryczna
- Relief cieniowany
- Rzuty perspektywiczne



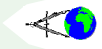
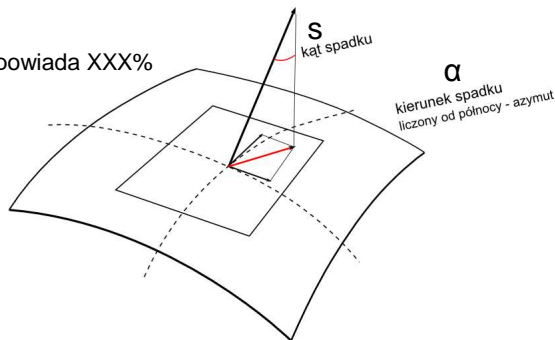
### Spadek (nachylenie) terenu :

1. kąt nachylenia stycznej do terenu do poziomu w określonym kierunku; szczególny przypadek - w kierunkach E, N (spadek w przekrojach pionowych XH, YH)
2. **Maksymalny (wypadkowy)**
  - wektor styczny do terenu o kierunku wyznaczonym przez rzut normalnej do powierzchni; ma kierunek (azymut-kąt poziomy) i kąt spadku (kąt pionowy albo długość - jako funkcja nachylenia do poziomu); kierunek odpowiada linii spad
  - kąt nachylenia ... do poziomu w kierunku



Spadek jest wyrażany:

- jako kąt w stopniach
- jako tangens kąta
- jako tangens kąta w %
- Uwaga: spadek 45° odpowiada XXX%



### Przykładowy algorytm obliczania spadków dla NMT w postaci GRID

NMT w postaci GRID  $h = f(i + \Delta X, j + \Delta Y)_{i=1..I; j=1..J}$

GRID zawiera I x J węzłów, interwał  $\Delta X, \Delta Y$

	$H_1$	$H_2$	$H_3$
	$H_8$	$H_0$	$H_4$
	$H_7$	$H_6$	$H_5$

#### Algorytm obliczenia spadku

Algorytm Rittera / Fleminga-Hoffera (Idrisi, Surfer)

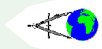
$$\Delta H_x = H_8 - H_4$$

$$\Delta H_y = H_6 - H_2$$

$$s_x = \frac{\Delta H_x}{2\Delta X}$$

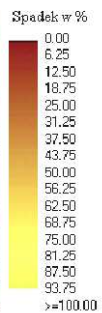
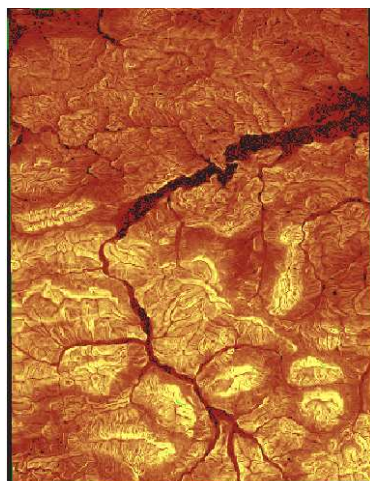
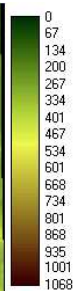
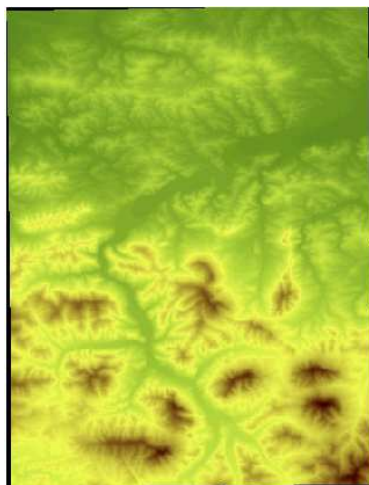
$$s_y = \frac{\Delta H_y}{2\Delta Y}$$

$$s_{xy} = \text{arc tg} \sqrt{s_x^2 + s_y^2}$$



Mapa hipsometryczna

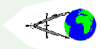
Mapa spadków



Kpyka

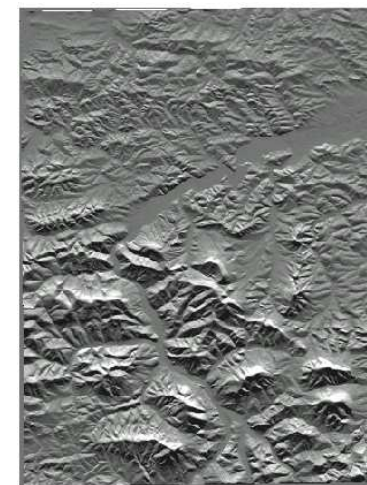
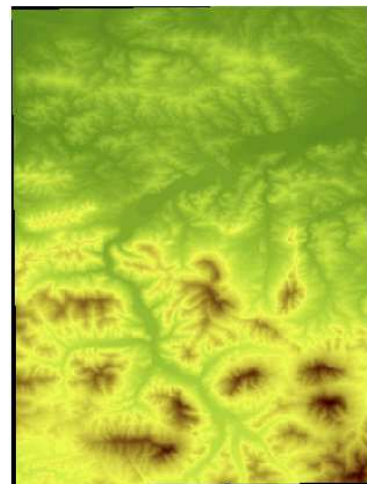
SIP IŚ - NMT

17



Mapa hipsometryczna

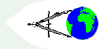
Relief cieniowany



Kpyka

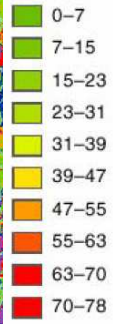
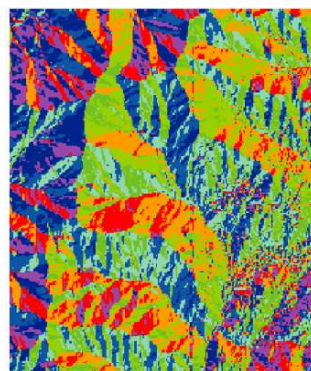
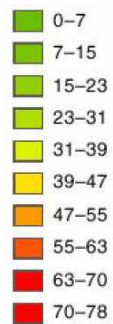
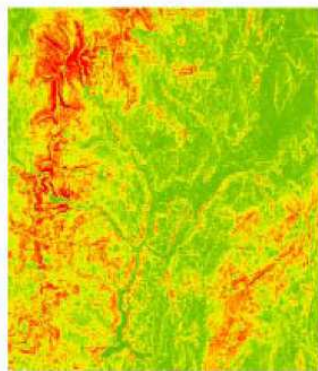
SIP IŚ - NMT

18



Mapa spadków

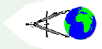
Mapa ekspozycji



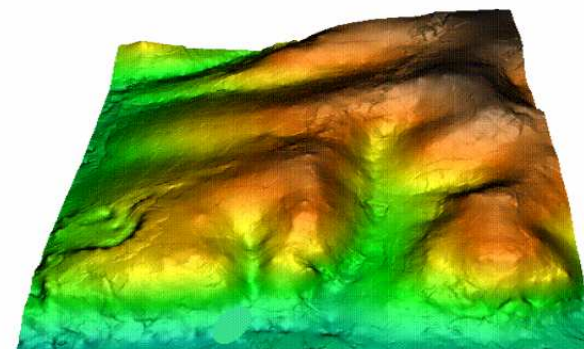
Kpyka

SIP IŚ - NMT

19



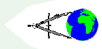
Rzut perspektywiczny



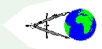
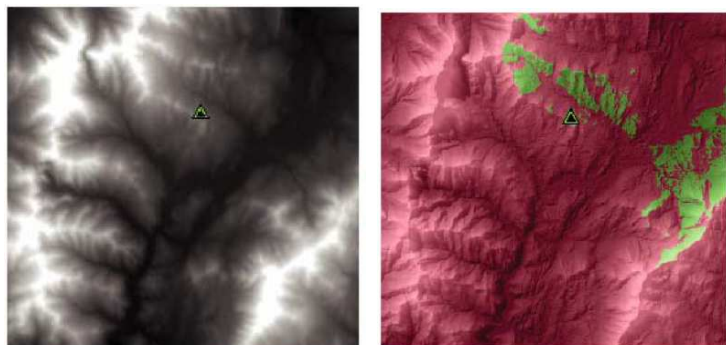
Kpyka

SIP IŚ - NMT

20

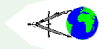


### Analiza widoczności na podstawie NMT

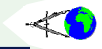
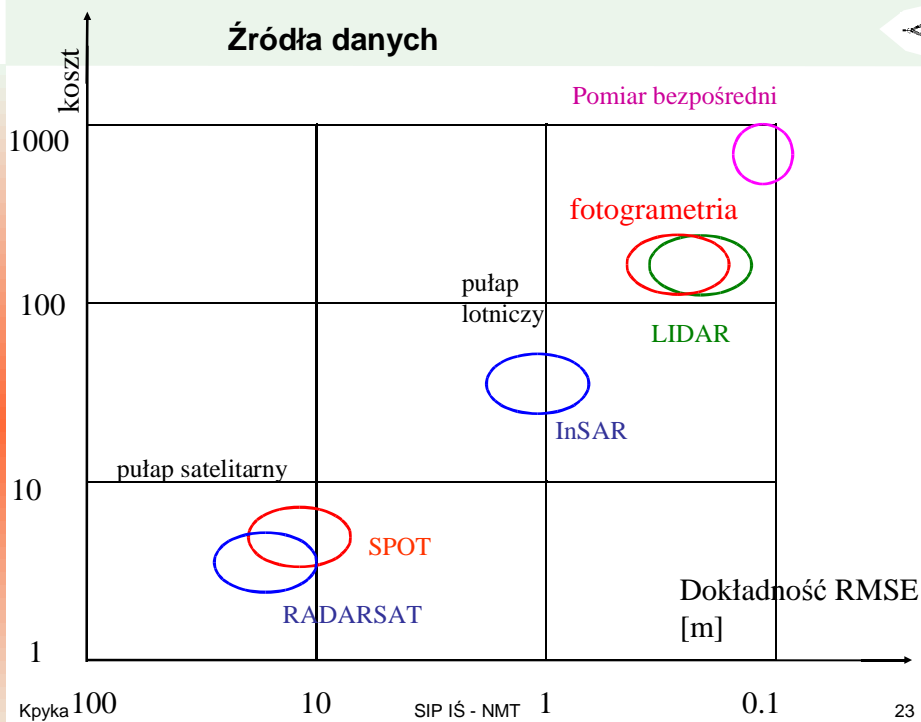


### Źródła danych dla NMT/NMPT

- Pomiar geodezyjny bezpośredni – pomiar lokalny, mapy syt.-wys.
- Materiały kartograficzne – początki GIS, szybkie załadowanie danych
- Pomiar fotogrametryczny – duże obszary, pomiar konieczny dla ortofotomapy
- Lotnicze skanowanie laserowe – dokładność H ok. 0,1 - 0,3 m
- Interferometria radarowa – dokładność ok. 1 m



### Źródła danych



1

### Creation of Digital Elevation Models in Lower Saxony

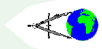
Until 1965 ground surveys only

1965 – 1997 Photogrammetry supplemented by ground surveys

Since 1997 laser scanning only

University of Hannover

Institute for Photogrammetry and GeoInformation

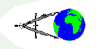


### Od GIS 2D do GIS 3D

- GIS 2D → geometria obiektów jest płaska (x,y) ( klasyczny GIS)
- GIS 2+1D → NMT jako warstwa GIS (obiekt ciągły)
- GIS 2.5D → atrybutami obiektów GIS są wysokości (jedna wysokość dla całego obiektu)
- GIS 3D → geometria obiektów jest trójwymiarowa (x,y,h)

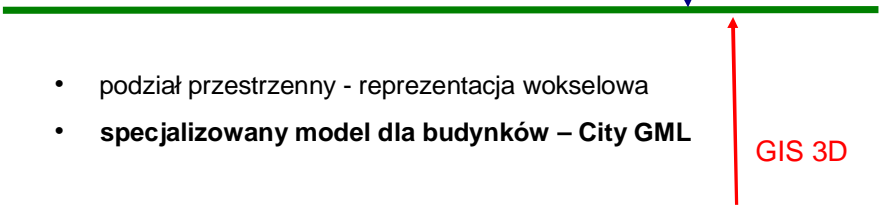
GIS 3D – początkowa faza rozwoju

Modelowanie 3D dla celów wizualizacji (grafika 3D) - intensywny rozwój – *kartografia 3D*



### Podział metod modelowania budynków

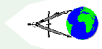
- reprezentacja szkieletowa
- reprezentacja płaszczyznowa



- podział przestrzenny - reprezentacja wokselowa
- **specjalizowany model dla budynków – City GML**

W GIS obiekty muszą mieć swoją tożsamość aby stanowiły dane do analiz  
W kartografii jest tylko rysunek obiektów

## 2



### Model szkieletowy (krawędziowy, drutowy) *wire - frame model*

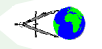
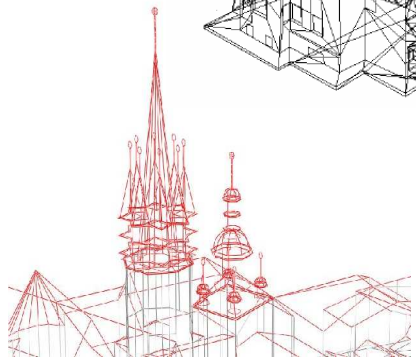
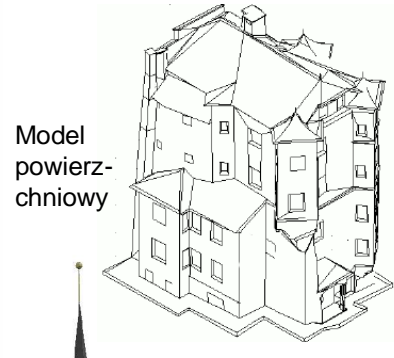
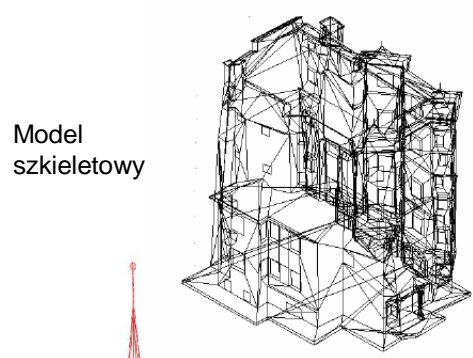
Jest zbudowany jest z punktów i krawędzi łączących punkty.

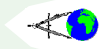
Najczęściej jest pierwszym etapem budowania modelu powierzchniowego.

### Model płaszczyznowy

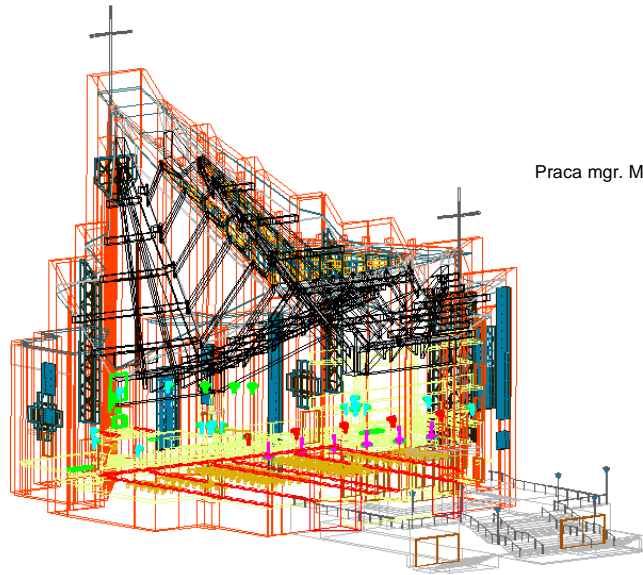
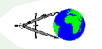
Jest zbudowany z punktów, krawędzi i powierzchni rozciągniętych pomiędzy krawędziami – złożony z wieloboków, najczęściej trójkątów lub prostokątów.

Model opisuje tylko powierzchnie bez wiedzy o wnętrzu.





2

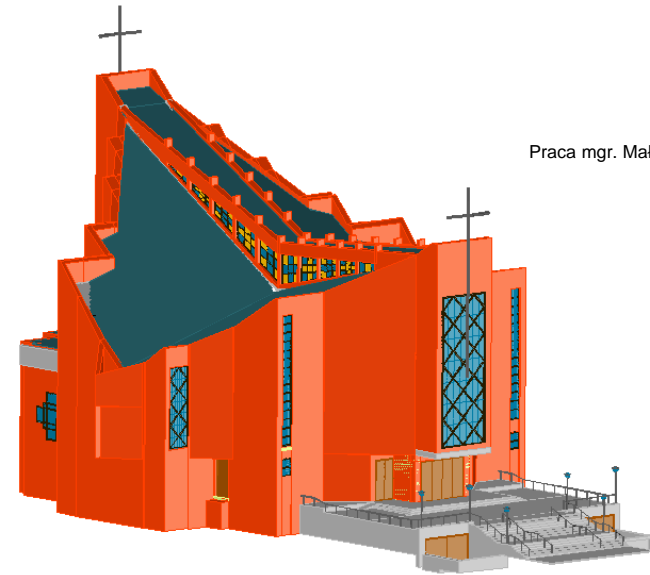


Praca mgr. Małgorzata Siwek

Kpyka

SIP IŚ - NMT

29

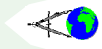


Praca mgr. Małgorzata Siwek

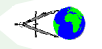
Kpyka

SIP IŚ - NMT

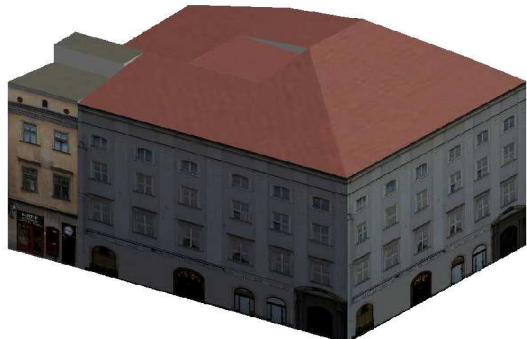
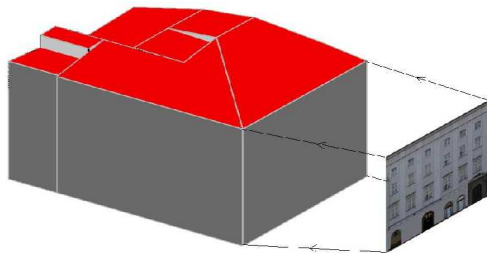
30



2



Tworzenie modelu budynków z teksturą fotorealistyczną



Kpyka

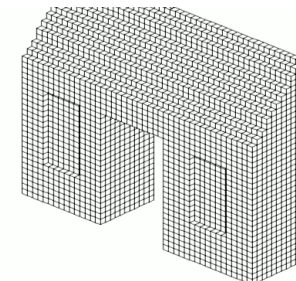
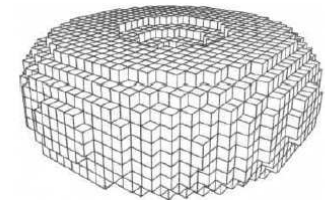
SIP IŚ - NMT

M.Guzik / Compass

31

### reprezentacja wokselowa

Woksel jest trójwymiarowym odpowiednikiem piksela. Prezentacja ta polega na dekompozycji obiektu 3D na identyczne komórki uporządkowane według regularnej siatki



Kpyka

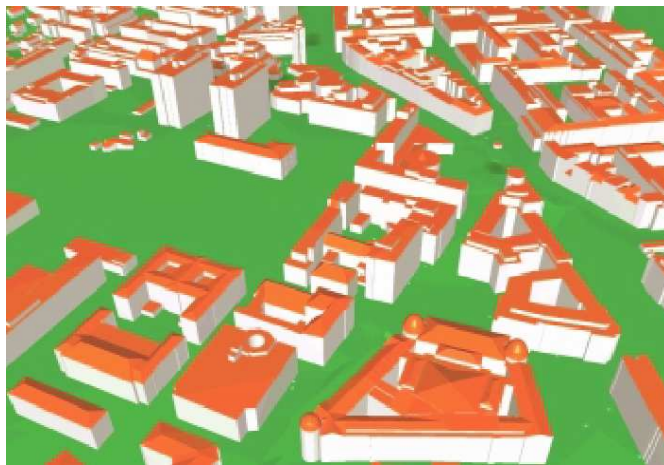
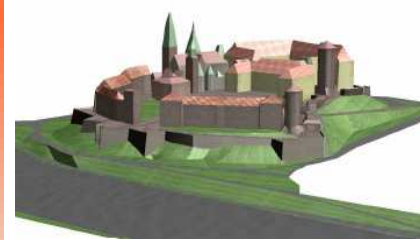
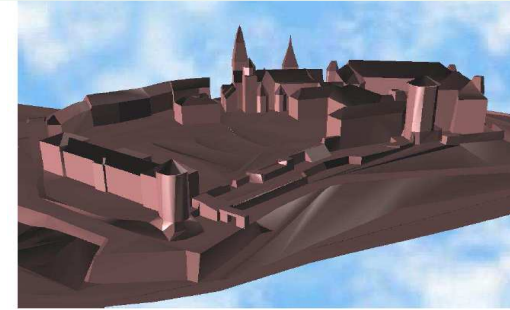
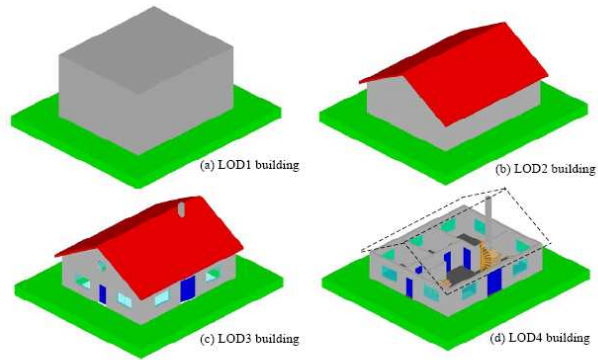
SIP IŚ - NMT

32





## Poziomy szczegółowości w projekcie CityGML



## Kartografia 3D czy GIS 3D?



## Modele 3D w Internecie

Większość modeli 3D nie ma wydzielonych obiektów które posiadają swoją tożsamość, nie ma topologii

Jest to kartografia 3D a nie GIS 3D