



Modele 3d i analiza chmury punktów - geoinformatyka

Dr inż. Andrzej Łysko

Dr hab. inż. Wojciech Maleika

Wydział Informatyki ZUT





DTM (NMT)

NMT, Numeryczny Model Terenu – jest numeryczną, dyskretną (punktową) reprezentacją wysokości topograficznej powierzchni terenu wraz z algorytmem interpolacyjnym umożliwiającym odtworzenie jej kształtu w określonym obszarze.

W systemach komputerowych, przez oprogramowanie GIS najczęściej są tworzone dwa podstawowe typy DTM: regularny w postaci prostokątnej siatki punktów (GRID) i nieregularny w postaci siatki trójkątów (TIN).

DTM (NMT)

W czasach współczesnych cyfrowy model wysokościowy może zostać pozyskany na podstawie:

- **pomiarów terenowych** (np. przy użyciu niwelatorów i odbiorników GPS),
- **map topograficznych** (poprzez digitalizację poziomic),
- **opracowań fotogrametrycznych** (przez przetworzenie zdjęć lotniczych lub naziemnych, naloty dronem),
- **skaningu laserowego**,
- **obrazów radarowych** (np. dane SRTM).



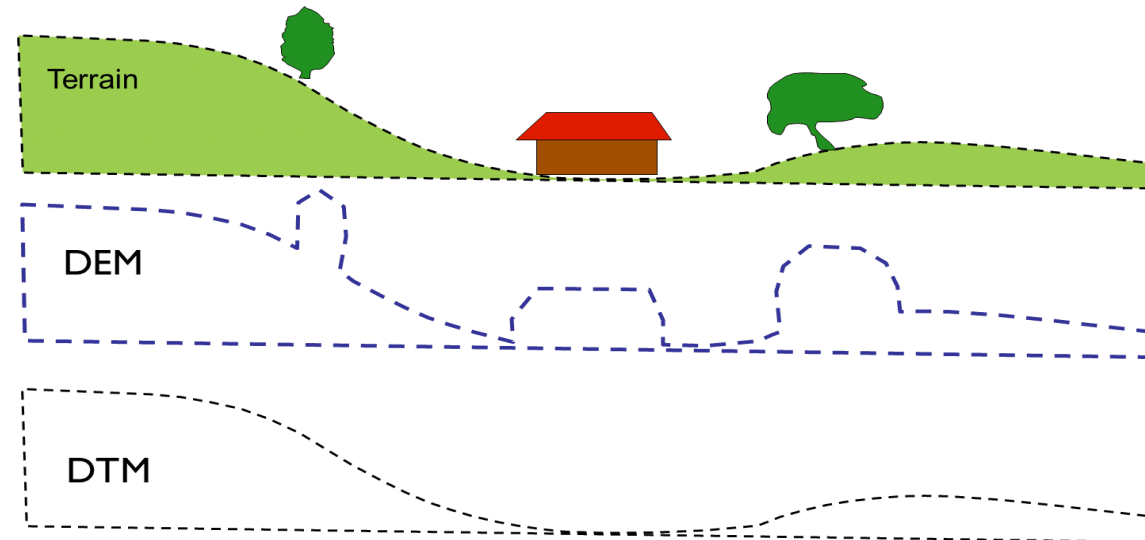
Model 3d ośrodek edukacyjny Świdwie.
Wykonał: Witold Maćków, Andrzej Łysko

DEM (CMW)

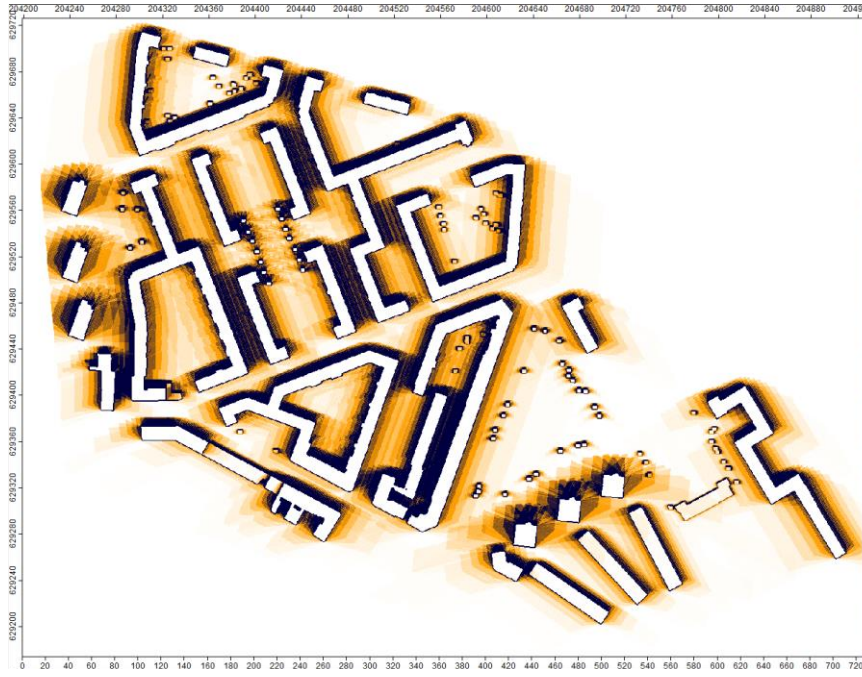
DEM (pol. Cyfrowy Model Wysokościowy) - dyskretna (punktowa) reprezentacja pewnej powierzchni, która wraz z algorytmem interpolacyjnym opisuje kształt powierzchni rozpiętej na obiektach znajdujących się na powierzchni terenu (budynkach, budowlach, drzewach i krzewach) lub bezpośrednio na terenie.

Proces pomiaru dowolnych powierzchni naturalnych prowadzi do generalizacji ich kształtu.

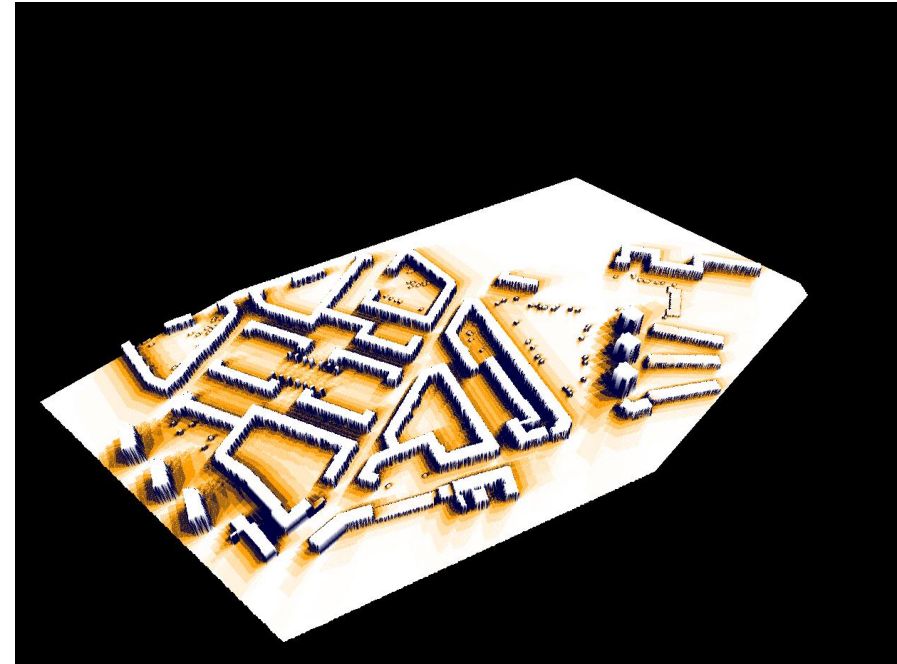
DTM vs DEM



DEM - przykłady



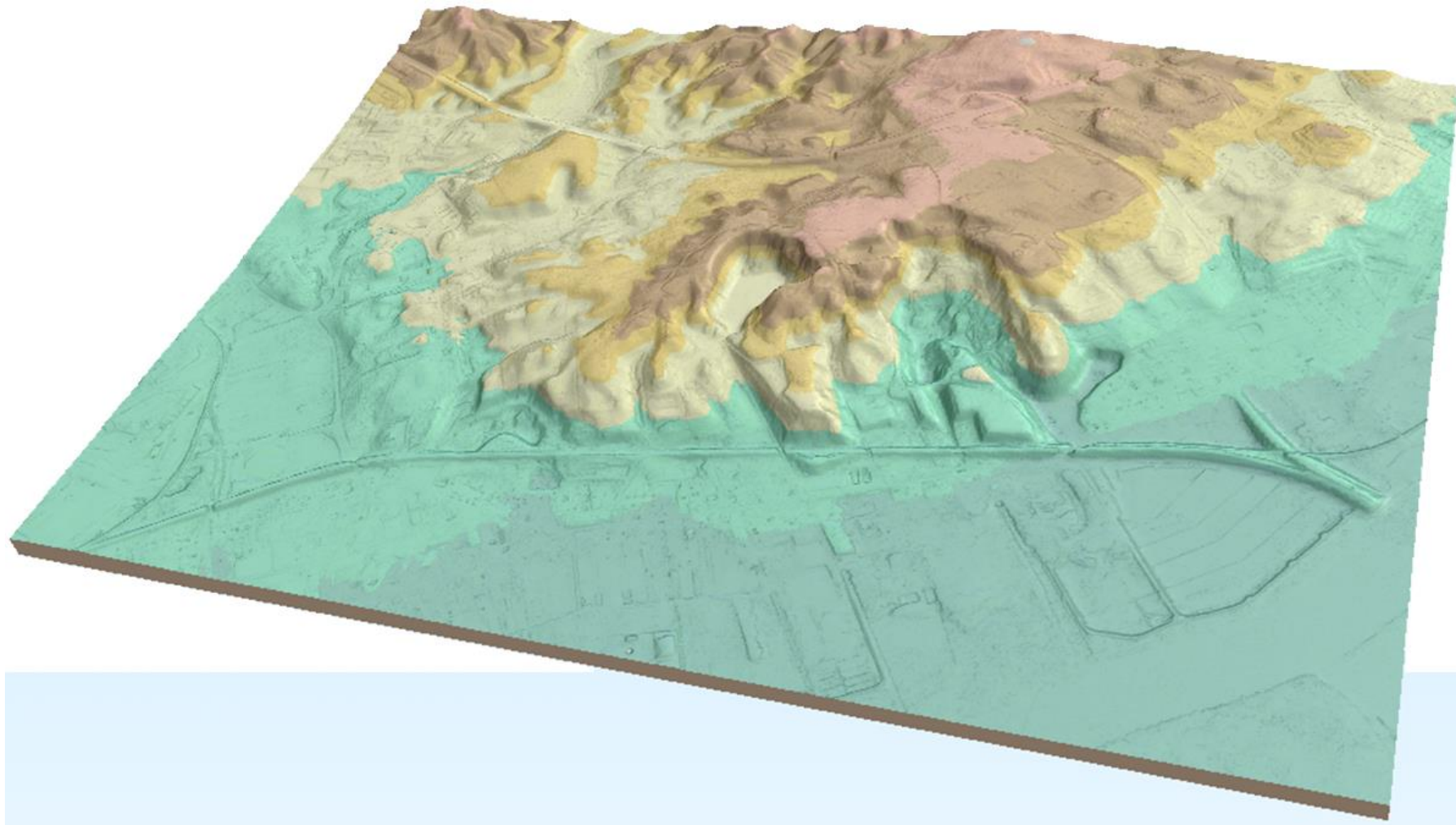
*Fragment opracowania analizy
zacienienia dla lokalizacji lamp
fotowoltanicznych w Szczecinie
(Łysko, 2013)*



DEM - przykłady



*Opracowanie własne dla potrzeb edukacyjnych na podstawie LAS Geoportal
(A. Łysko)*



Model typu DTM - Wzgórza Bukowe – geoportal NMT
(opracowanie własne, A. Łysko)



Model typu DTM - Wzgórze Bukowe z nałożoną ortofotomapą – geoportal NMT
(opracowanie własne, A. Łysko)

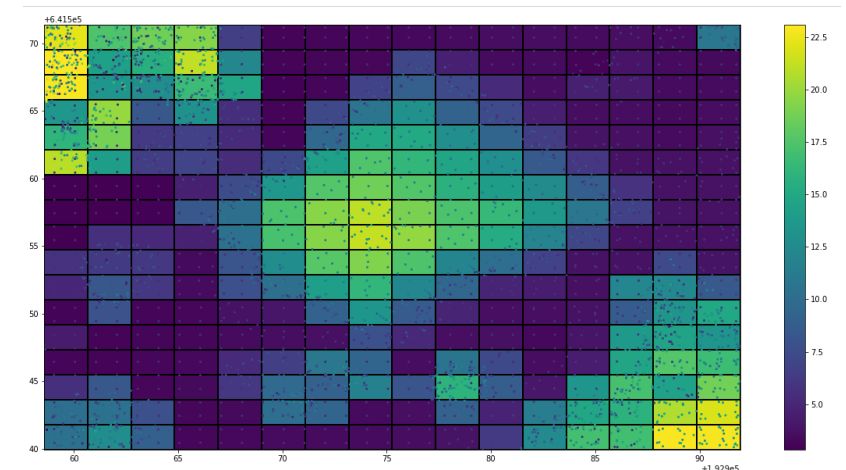
Model DTM

Model GRID (model rastrowy) - wykorzystuje do reprezentacji rzeźby terenu macierz elementów, zwanych też oczkami siatki, komórkami czy gridami.

Każdy element macierzy przechowuje średnią wysokość pola elementarnego, którego wymiar zależy od przyjętej **rozdzielczości przestrzennej DTM**. Musi ona być dobrana w taki sposób, aby mogła prawidłowo odzwierciedlać elementy rzeźby terenu, które charakteryzują się największą nieregularnością. Najczęściej spotyka się gridy o rozmiarze 1 lub 10 metrów.

Wady: zapis danych w modelu rastrowym wykazuje miejscami nadmiar informacji, np. dla fragmentów, gdzie dominuje krajobraz równinny.

Zalety: prostota zapisu danych, łatwość w obliczaniu charakterystyk morfometrycznych, łatwość tworzenia modeli na podstawie danych pomiarowych.



Opracowanie własne: Andrzej Łysko

Model TIN

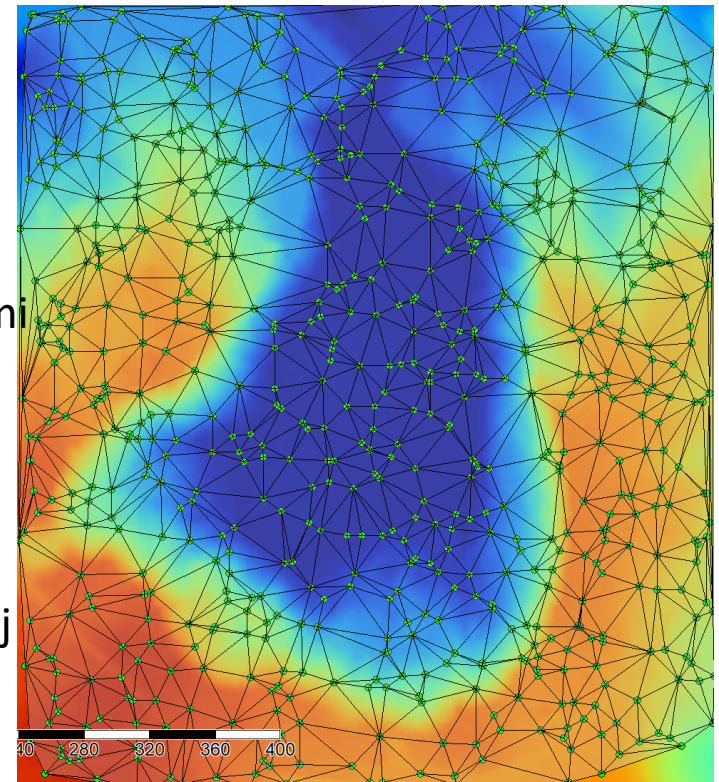
Model TIN (triangulacyjny) - powierzchnia terenu jest dzielona na trójkąty elementarne, których wierzchołki odpowiadają punktom wysokościowym (pomiarowym). Model ten pozwala na obliczanie charakterystyk morfometrycznych rzeźby, jednak wymaga to zwiększenia stopnia skomplikowania takich obliczeń.

Niewątpliwie zaletą takiego sposobu zapisu danych jest **zmienna rozdzielczość przestrzenna**, pozwalająca na oszczędny zapis danych w miejscach, gdzie rzeźba terenu jest wyrównana i może zostać opisana mniejszą ilością punktów.

Model TIN jest często stosowany w programach GIS, wykorzystujących wektorowy model danych oraz tam, gdzie wymagana jest duża precyzja CMW.

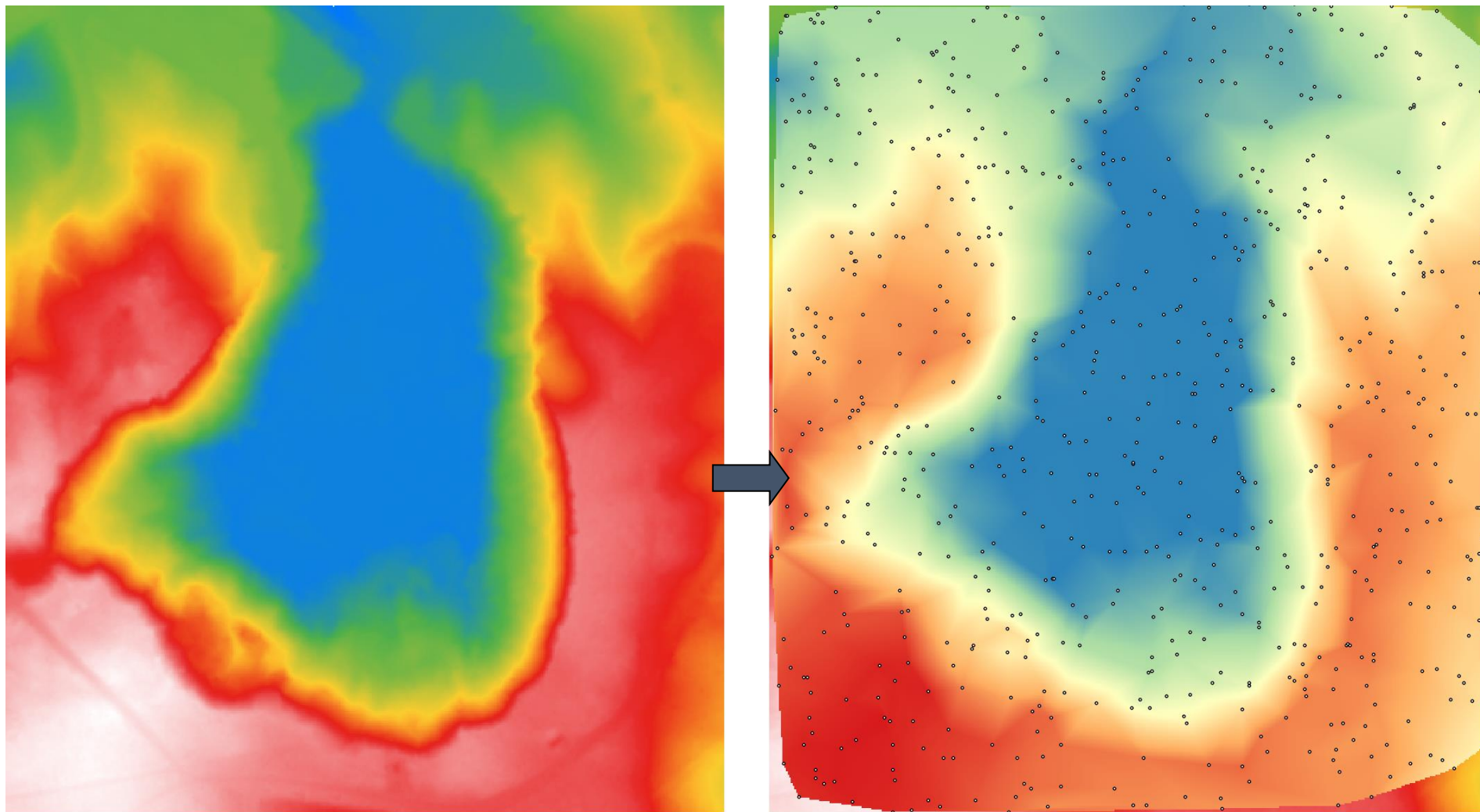
Sąsiadujące punkty są łączone liniami (krawędziami), i w efekcie powstaje siatka nieregularnych trójkątów

- Obliczenia rzeczywistej odległości między punktami danych w przestrzeni trójwymiarowej przy pomocy trygonometrii
- Obliczenia interpolowanej wartości z położenia na płaszczyźnie przechodzącej przez trzy sąsiadujące ze sobą punkty pomiarowe



opracowanie własne, A. Łysko

Przykład TIN

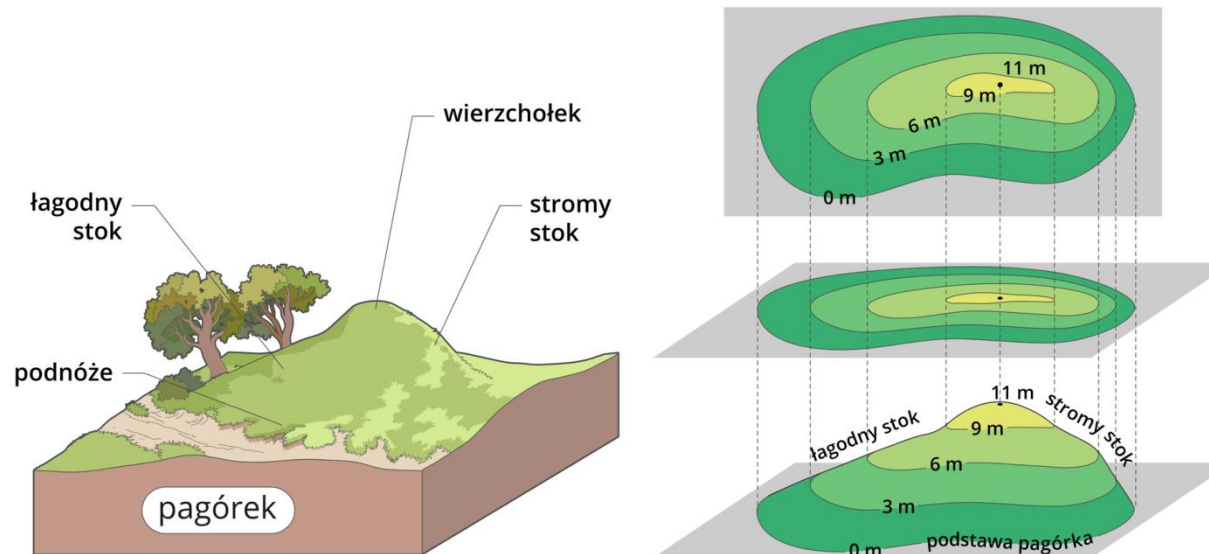


opracowanie własne, A. Łysko

Model poziomicowy (izolinie)

Model poziomicowy - deskrypcja (opis) rzeźby terenu następuje za pomocą izolinii, które tworzą wektor o współrzędnych (x, y, z). Najczęściej jest on wykorzystywany jako pomocnicza warstwa tematyczna, którą można łączyć z innymi warstwami w celu wzbogacenia treści mapy.

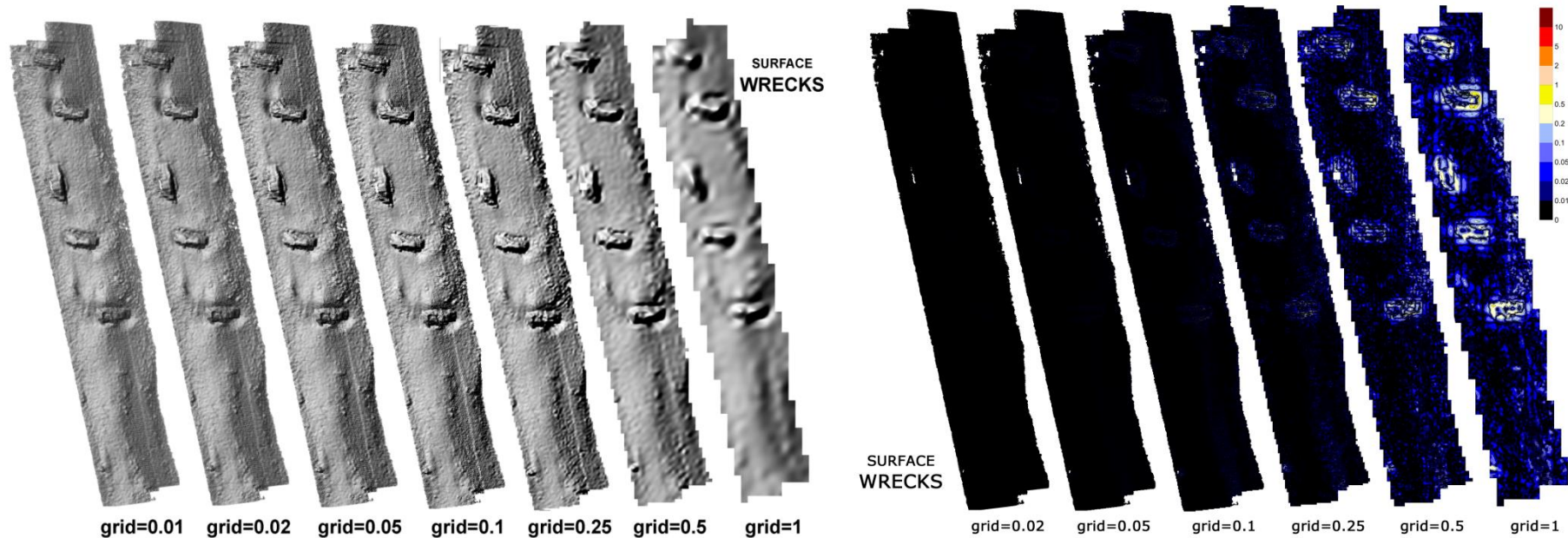
Model pozwala na uzyskanie przybliżonego obrazu morfologii terenu i obliczenie niektórych charakterystyk. Dane zapisane w modelu poziomicowym często bywają wykorzystywane do obliczeń innych modeli (np. triangulacyjnego i rastrowego).



Jakość DTM

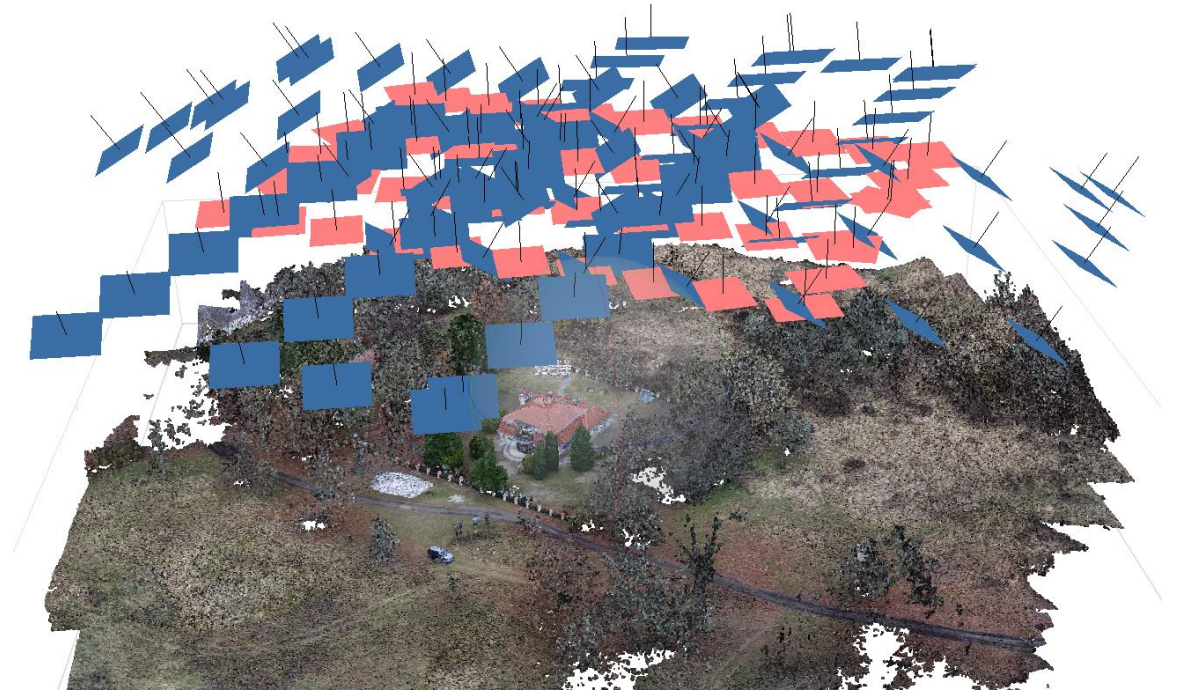
Rozdzielczość (pozioma i pionowa): rzeczywista wielkość w terenie, pojedynczego piksela reprezentującego wysokość

Dokładność: stopień zgodności odwzorowania pionowych i poziomych parametrów terenu



Pozyskiwanie danych

1. Obrazowanie radarowe (SAR)
2. Zdjęcia lotnicze (fotogrametryczna stereoskopia)
3. Pomiary terenowe GPS i pomiary geodezyjne
4. LIDAR

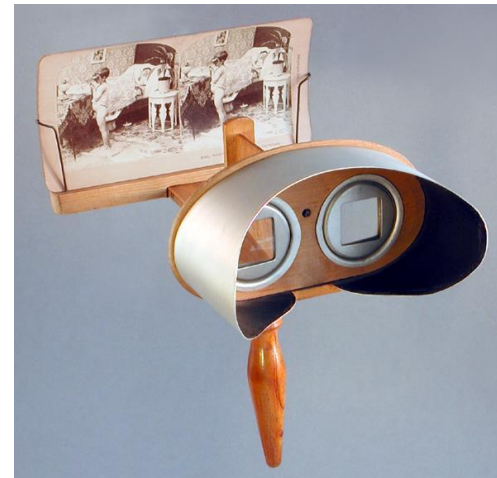


Opracowanie własne: Andrzej Łysko

Zdjęcia lotnicze (fotogrametryczna stereoskopia)

Stereoskopia – technika obrazowania oddająca wrażenie normalnego widzenia stereoskopowego, to znaczy odwzorowująca nie tylko kształt i kolor obiektów, ale także ich wzajemne zależności przestrzenne, odległość od obserwatora i głębię sceny.

Sporządzanie fotografii stereoskopowych - przy ich sporządzaniu ważny jest wybór bazy stereoskopowej, czyli „punktów widzenia”. Optymalny efekt widzenia przestrzennego uzyskuje się, gdy baza wynosi od $1/100$ do $1/30$ odległości do przedmiotów pierwszego planu.



grafika: <https://upload.wikimedia.org/>



Opracowanie własne: Andrzej Łysko

Zdjęcia lotnicze (fotogrametryczna stereoskopia)

Fotogrametria - dziedzina nauki i techniki zajmująca się odtwarzaniem kształtów, rozmiarów i wzajemnego położenia obiektów w terenie na podstawie zdjęć fotogrametrycznych (fotogramów).

Praktycznym zastosowaniem fotogrametrii jest jej wykorzystanie jako źródła podczas tworzenia map. W geodezji służy jako pomoc przy pomiarach dużych obszarów i odległości. Jest też jedną z metod wyznaczania wysokości obiektów.

W zależności od sposobu wykonywania zdjęć rozróżnia się fotogrametrię naziemną (**terrafotogrametrię**) oraz fotogrametrię lotniczą (**aerofotogrametrię**).

Stereofotogrametria - przestrzenny obraz przedmiotu lub terenu uzyskuje się za pomocą stereogramu – pary zdjęć wykonanych z dwóch punktów przestrzeni.



Opracowanie własne: Andrzej Łysko

Zdjęcia lotnicze (fotogrametryczna stereoskopia)



Obejrzyj:

<https://youtu.be/PPgn42V8Pfs>

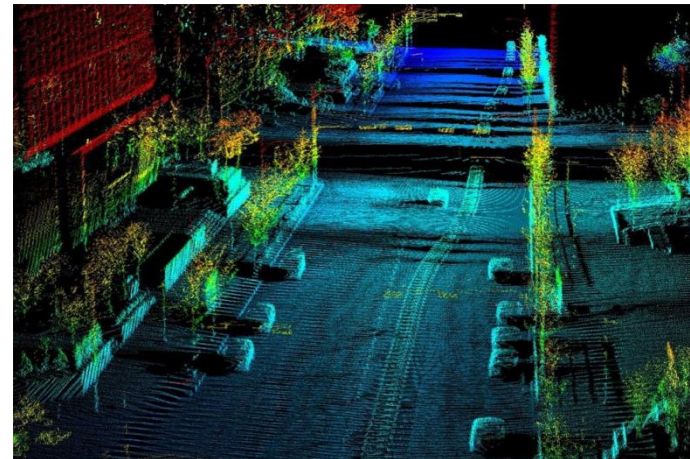
<https://youtu.be/SATijfXnshg>

LIDAR

LIDAR (Light Detection and Ranging), jest połączeniem **lasera** z **teleskopem**. Laser wysyła poprzez specjalny układ optyczny bardzo krótkie i silne impulsy światła o konkretnej długości fali i w określonym kierunku. Światło to ulega po drodze rozproszeniu (na obiektach), które jest obserwowane za pomocą teleskopu, a następnie rejestrowane za pomocą czułego detektora – fotodiody, fotopowielacza, CCD lub CMOS. Otrzymane dane są następnie przetwarzane i analizowane komputerowo.

Fotogrametria wykorzystuje lidar do skanowania terenu z samolotu lub satelity. W trakcie przelotu rejestruje się prostokątny pas terenu w płaszczyźnie poprzecznej do kierunku lotu. Wyznaczanie powierzchni terenu wykonuje się samolotu o znanej pozycji, wyznaczonej przez GPS i INS (Inertial Navigation System).

1. Dużo częściej wykorzystywany jest **laser impulsowy**, w którym do obliczenia odległości mierzony jest czas pomiędzy wysłaniem a odbiorem impulsu laserowego.
2. **Laser CW** (continuous wave) o ciągłej emisji światła, w których mierzone są różnice faz pomiędzy impulsem wysłanym i odbieranym.

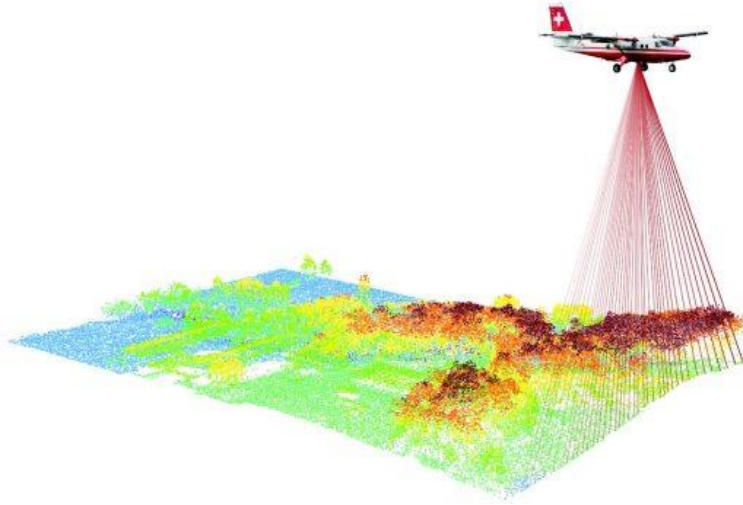


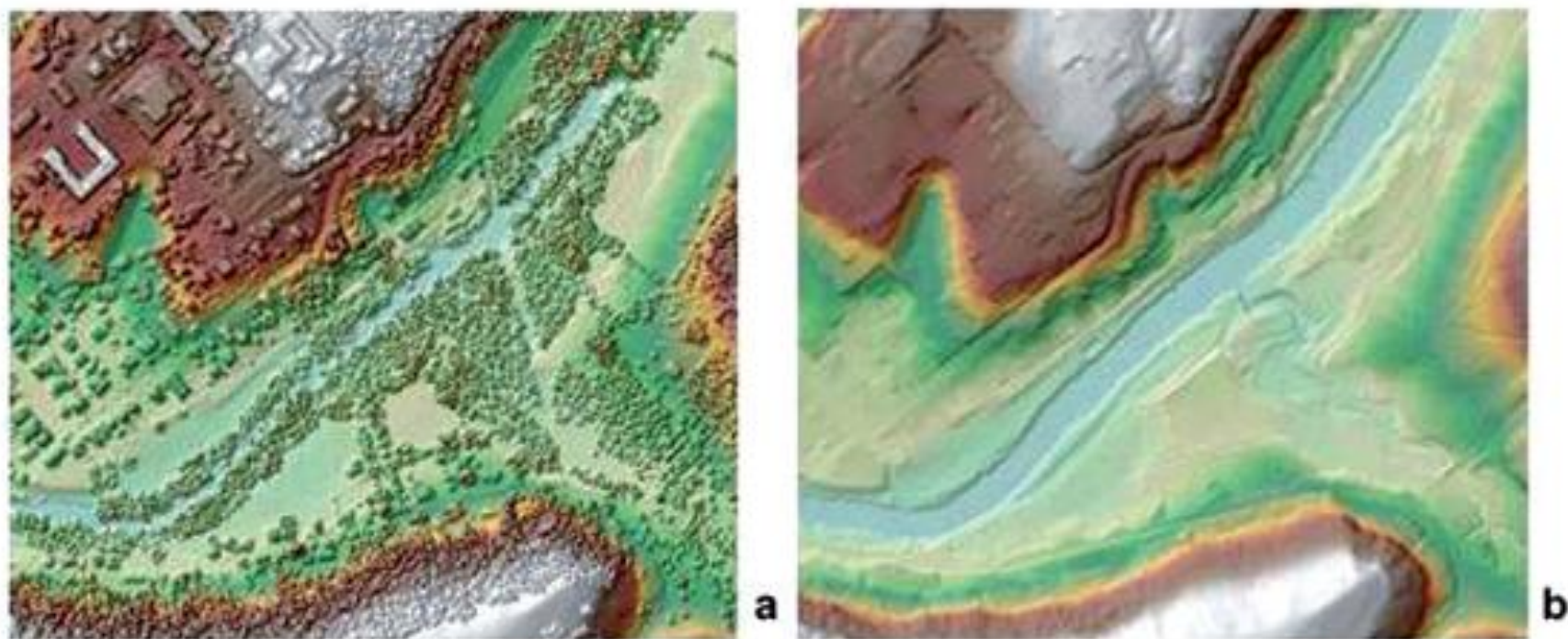
Lidar



Obejrzyj:

<https://youtu.be/alxYt7DkK5A>

Zalety	wady
Niezależność od oświetlenia – dane można zbierać o każdej porze dnia i nocy	Możliwość pochłaniania impulsów przez wodę w atmosferze (skanিং laserowy)
Duża niezależność od warunków pogodowych. Wykluczenie zastosowania jedynie w dni pochmurne, opadach deszczu oraz dużej mgły.	Bardzo duża objętość zbiorów danych. Plik tekstowe nawet do kilkudziesięciu gigabajtów
Duża dokładność pomiaru: Pozioma około 0,1-0,5 m Pionowa do 1 cm	Konieczność oczyszczania z „szumu” Koszt sprzętu Wysoki koszt dla małych obszarów
Możliwość pobierania danych na żądanie	
Niski koszt danych dla dużych obszarów	
Możliwość filtrowania danych np. „zdejmowanie” roślinności, budynków itp.	
Możliwość automatycznego wyszukiwania obiektów np. budynków, budowli inżynierskich, drzew itp.	



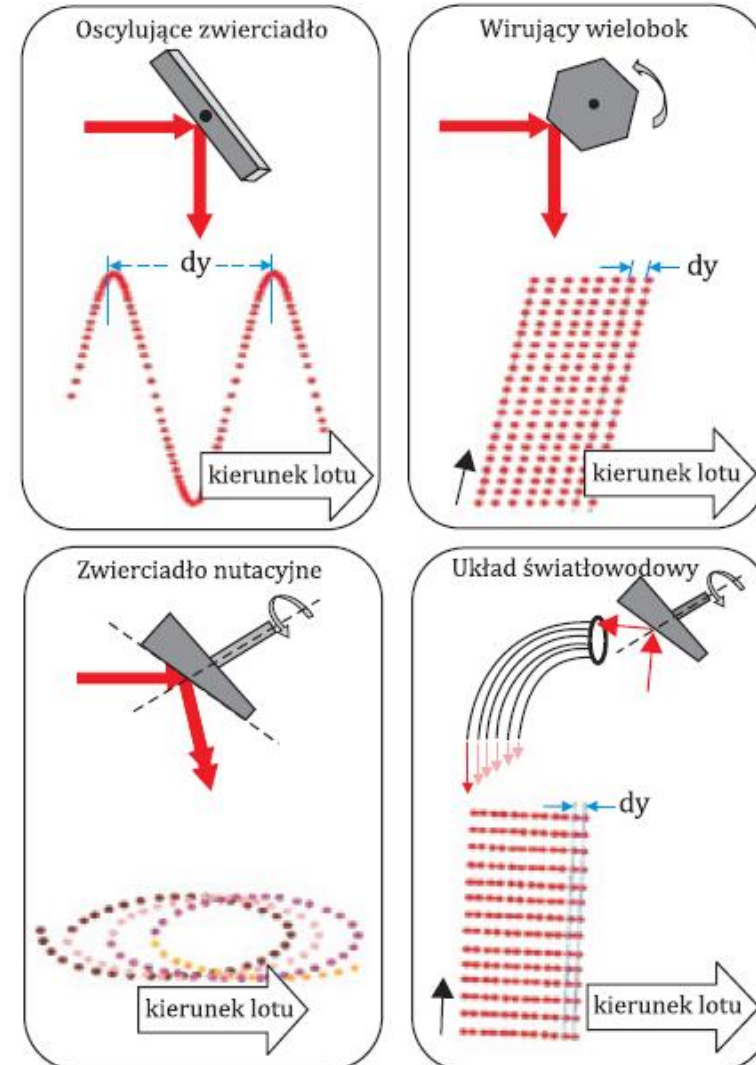
Ryc. 3.35. Modele wysokościowe wygenerowane z chmury punktów ALS: a – pierwsze odbicia tworzą NMPT, b – po odfiltrowaniu odbić od obiektów wystających ponad grunt (budynki, roślinność) tworzą one NMT

Tabela 3.8. Zestawienie techniki lotniczego skanowania laserowego oraz klasycznej fotogrametrii

Kryterium	Technologia lotniczego skanowania laserowego	Technologia fotogrametrycznego opracowania zdjęć lotniczych
pora dnia obrazowania	dzień lub noc	tylko dzień
zależność od warunków atmosferycznych	mała	duża
zależność obrazowania od pory roku (sezonu)	mała	średnia (dla zdjęć wielkoskalowych duża)
forma danych	dyskretna, pracochłonne przejście na wektorową postać wyników typu CAD	ciągła (obraz tonalny), stosunkowo łatwe przejście na wektorową postać wyników typu CAD
dostęp danych na powierzchniach homogenicznych	praktycznie nie zależy od rodzaju powierzchni (dostępna informacja na powierzchniach homogenicznych, poza powierzchniami absorbującymi promieniowanie)	trudność opracowania na powierzchniach homogenicznych (brak tekstury obrazu)
dostępność danych przestrzennych	pozyskiwane bezpośrednio	po złożonym opracowaniu danych źródłowych
dokładność danych źródłowych	bardzo wysoka dokładność wysokościowa, gorsza dokładność sytuacyjna	zależy od skali zdjęć. Dla zdjęć wielkoskalowych wysoka dokładność sytuacyjna i gorsza dokładność wysokościowa
ekstrakcja informacji semantycznej	trudna z chmury punktów, łatwiejsza z obrazu intensywności	dane bogate w informację semantyczną
detekcja i pomiar linii nieciągłości terenu	brak bezpośredniej możliwości	możliwa
czas opracowania	krótki	średni (zależy od stopnia automatyzacji procesów technologicznych)
objętość danych	bardzo duża	duża
penetracja szaty roślinnej	dość duża	bardzo ograniczona
podatność na automatyzację procesów opracowania	duża	średnia (zróżnicowana dla różnych technologii)
potencjał dalszego rozwoju	duży	umiarkowany
koszt pozyskania danych	wysoki, szczególnie dla mniejszych obszarów	umiarkowany (silnie zależy od skali zdjęć)

Lidar - Technologie

- **Oscylujące zwierciadło** – mała gęstość punktów
- **Wirujący wielobok** – układ linii równoległych, duża gęstość
- **Zwierciadło nutacyjne** – punkty w postaci elipsy
- **Układ światłowodowy** – chmura punktów, duża gęstość



LIDAR – Zastosowania:

- W meteorologii lidar służy do badania składników i rozkładu przestrzennego chmur, wyznaczania przejrzystości, wilgotności i gęstości powietrza, badania koncentracji zanieczyszczeń w atmosferze itp..
- W archeologii lidar wykorzystywany jest do bezinwazyjnego wyszukiwania i weryfikacji stanowisk i obiektów archeologicznych. Pozwala m.in. wykrywać obiekty na terenach zalesionych, niewidocznych pod pokrywą roślinności.
- Skanowanie laserowe jest także jedną z najnowocześniejszych technik pozyskiwania danych dla numerycznego modelu terenu. Wśród jego zastosowań można wymienić:
 - projektowanie przebiegu tras drogowych, kolejowych, rurociągów;
 - rejestracja linii wysokiego napięcia i wykrywanie kolizji z koronami drzew;
 - mapy powodziowe;
 - generowanie numerycznego modelu pokrycia terenu dla terenów zabudowanych, generowanie modeli 3D dla miast (planowanie położenia anten, rozprzestrzenianie się hałasu i zanieczyszczeń);
 - rejestracja i ocena zniszczeń po katastrofach: huragany, trzęsienia ziemi, powódzie;
 - pomiar powierzchni zaśnieżonych i pokrytych lodem, monitorowanie lodowców;
 - pomiar terenów podmokłych;
 - pomiar mas ziemnych (hałdy, wysypiska śmieci);
 - pozyskiwanie parametrów roślinności: wysokość drzew, średnica koron, gęstość zalesienia, określenie biomasy, granic lasów;
 - pomiary hydrograficzne do głębokości 70 m;

Typy plików „chmury punktów”:

Pliki tekstowe w układzie xyz:

```
192958.80990447247;641540.1804036454;5.464922142462716
192958.9173956044;641540.0042967036;8.6502967032967
192958.9173956044;641540.0042967036;8.6502967032967
192958.8613034712;641540.0549389699;9.045441769316914
192958.8613034712;641540.0549389699;9.045441769316914
192958.6212;641539.942;9.2748
192958.6212;641539.942;9.2748
192958.8118970064;641540.6932115676;5.463425164890904
192958.8118970064;641540.6932115676;5.463425164890904
192958.90124183006;641540.8729607847;10.052475816993462
192958.90124183006;641540.8729607847;10.052475816993462
```

Wady:

- Brak możliwości podania w pikie układu współrzędnych
- Brak podania klasyfikacji punktów
- Brak informacji o koncie nachylenia, kierunku, koloru punktu itp.

Zalety:

- Bardzo prosty w zapisie
- Nie wymaga licencji na import i eksport danych
- Wygodne posługiwanie się formatem w postaci tablic, dataframe, geodataframe (numpy, pandas, geopandas)
- Nie wymaga specjalistycznego oprogramowania

Pliki binarne LAS (LASer) i LAZ (spakowany):

Wady:

Wymaga dedykowanego oprogramowania gdyż jest formatem binarnym wymagającym dekodowania

Zalety:

Format otwarty

Nie wymaga licencji na import i eksport danych

Posiada możliwość przechowywania automatycznej klasyfikacji punktów

Przechowuje dodatkowe informacje (kąt nachylenia, kolor punktu itp.)

Wielkość plików w zasadzie ograniczona jedynie parametrami komputera

Posiada możliwość zapisania georeferencji w formacie WKT

<https://github.com/ASPRSorg/LAS>

LAS File Information

Statistics

Horizontal Mean: 0.19
Biased Horizontal Mean: 0.19
Biased Point Density : 0.23
Source ID Count : 9

LAS Header

GUID: 00000000-0000-0000-0000-000000000000
LAS Version: 1.2
System ID: LAsTools (c) by rapidlasso GmbH
Generating Software: las2las (version 190604)
Flight Date Julian: 0
Year: 0

Header Size: 227
Point Data Offset: 286
VLR Count: 1

Point Data Format: Format 3
Point Data Record Length: 34
Number of Point Records: 7819043
Points By Return

Return 1: 7542200
Return 2: 256766
Return 3: 18901
Return 4: 1176
Return 5: 0

X,Y,Z Scale Factors: 0.0100, 0.0100, 0.0100
X,Y,Z Offsets: -0.00, -0.00, -0.00
Min, Max X: 203763.23, 204317.77
Min, Max Y: 627242.31, 627853.28
Min, Max Z: -34.48, 383.99

Variable Length Record (0)

User ID: LASF_Projection
Record ID: 2112
Record Length After Header: 3
Description: GUGIK/2012-06-06/12/40/10

Clipboard

OK

Lidar Load Options

Load Type

☒ Create Point Cloud (fast, can create grid later in Control Center)

Draw Mode: Use Global Setting from Toolbar

☐ Create an Elevation Grid for Use in Analysis

Elevation Grid Creation Options

Grid Method: Binning (Average Value)

Bin Size: 3 Point Spacings

Elevation Grid "No Data" Distance Criteria [6]

A tight setting preserves data gaps in output, a loose setting will create an interpolated surface based on surrounding points.

Tight Loose

☐ Fill Entire Bounding Box Instead of Just Inside Convex Hull

Limit What Points are Loaded

☐ Only Load Points Within Bounds Select...

☐ Use Preview Mode. Load Only 1 of Every 10 Samples

☐ Keep Elevations in Range: 0 - 0 meters

☐ Delete Samples Over 3 Standard Deviations from Mean

☐ Only Load Samples with Point Source ID of 0

☐ Use Intensity Values for NIR (Near Infrared) Channel

☐ Estimate Intensity from RGB Color if Missing

☐ Treat Elevations as Depths (Multiply by -1)

☒ Mark Withheld Samples as Deleted

☐ Sort Poorly Organized Point Clouds for Faster Display

☒ Use These Options for All Lidar Files in the Current Group

OK

Cancel

Select Lidar Point Classifications to Import

- ☒ 0 - Created, never classified
- ☒ 1 - Unclassified
- ☒ 2 - Ground
- ☒ 3 - Low Vegetation
- ☒ 4 - Medium Vegetation
- ☒ 5 - High Vegetation
- ☒ 6 - Building
- ☒ 7 - Low Point (Noise)
- ☒ 8 - Model Key-point (mass point)
- ☒ 9 - Water
- ☒ 10 - Railroad
- ☒ 11 - Road
- ☒ 12 - Overlap
- ☒ 13 - Wire - Guard (Shield)
- ☒ 14 - Wire - Conductor (Phase)
- ☒ 15 - Transmission Tower
- ☒ 16 - Wire-structure Connector
- ☒ 17 - Bridge
- ☒ 18 - High Point (Noise)
- ☒ 19 - Overhead Structure

Select All

Clear All

☐ LAS/LAZ File with Point Formats 1-5 Has Classes Over 31

Select Lidar Return Types to Import

- ☒ Unknown
- ☒ First
- ☒ Second
- ☒ Last
- ☒ Single
- ☒ First-of-Many
- ☒ Second-of-Many
- ☒ Third-or-Later-of-Many
- ☒ Last-of-Many

Select All

Clear All

Table 10: Point Data Record Format 1

Item	Format	Size	Required
X	long	4 bytes	*
Y	long	4 bytes	*
Z	long	4 bytes	*
Intensity	unsigned short	2 bytes	
Return Number	3 bits (bits 0 – 2)	3 bits	*
Number of Returns (given pulse)	3 bits (bits 3 – 5)	3 bits	*
Scan Direction Flag	1 bit (bit 6)	1 bit	*
Edge of Flight Line	1 bit (bit 7)	1 bit	*
Classification	unsigned char	1 byte	*
Scan Angle Rank (-90 to +90) – Left side	char	1 byte	*
User Data	unsigned char	1 byte	
Point Source ID	unsigned short	2 bytes	*
GPS Time	double	8 bytes	*

Table 9: ASPRS Standard LIDAR Point Classes (Point Data Record Format 0-5)

Classification Value (bits 0:4)	Meaning
0	Created, never classified
1	Unclassified ¹
2	Ground
3	Low Vegetation
4	Medium Vegetation
5	High Vegetation
6	Building
7	Low Point (noise)
8	Model Key-point (mass point)
9	Water
10	<i>Reserved for ASPRS Definition</i>
11	<i>Reserved for ASPRS Definition</i>
12	Overlap Points ²
13-31	<i>Reserved for ASPRS Definition</i>

Table 13: Point Data Record Format 4

Item	Format	Size	Required
X	long	4 bytes	*
Y	long	4 bytes	*
Z	long	4 bytes	*
Intensity	unsigned short	2 bytes	
Return Number	3 bits (bits 0 – 2)	3 bits	*
Number of Returns (given pulse)	3 bits (bits 3 – 5)	3 bits	*
Scan Direction Flag	1 bit (bit 6)	1 bit	*
Edge of Flight Line	1 bit (bit 7)	1 bit	*
Classification	unsigned char	1 byte	*
Scan Angle Rank (-90 to +90) – Left side	char	1 byte	*
User Data	unsigned char	1 byte	
Point Source ID	unsigned short	2 bytes	*
GPS Time	double	8 bytes	*
Wave Packet Descriptor Index	unsigned char	1 byte	*
Byte offset to waveform data	unsigned long long	8 bytes	*
Waveform packet size in bytes	unsigned long	4 bytes	*
Return Point Waveform Location	float	4 bytes	*
X(t)	float	4 bytes	*
Y(t)	float	4 bytes	*
Z(t)	float	4 bytes	*

https://www.asprs.org/wp-content/uploads/2010/12/LAS_1_4_r13.pdf

Woksel (ang. *volumetric picture element*, w skrócie *voxel*) – najmniejszy element budujący przestrzeń w grafice trójwymiarowej.

Barycentrum (ang. Barycenter) – środek geometryczny

<https://lidarradar.com/review/9-free-lidar-viewers>