



**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE**

Zastosowanie GIS w badaniach przyrodniczych

Numeryczne modele terenu

**Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska
Katedra Geologii Ogólnej i Geoturystyki
Kraków, 2021**

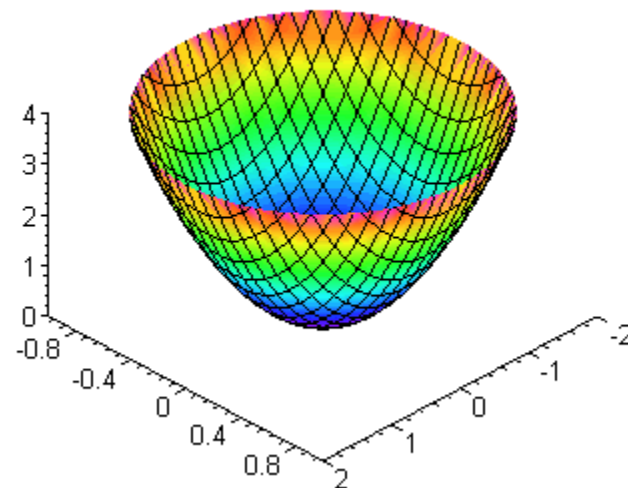
Modelowanie powierzchni ciągłych

Jednym z typowych zagadnień w analizach przyrodniczych jest przedstawienie zjawisk o charakterze ciągłym jak np. powierzchnia terenu, rozkład średnich temperatur, zawartość w glebie metali ciężkich itp.

Funkcje przestrzenne

W ogólnym przypadku kiedy zjawisko możemy przedstawić funkcją w postaci:

$$z = f(x, y)$$

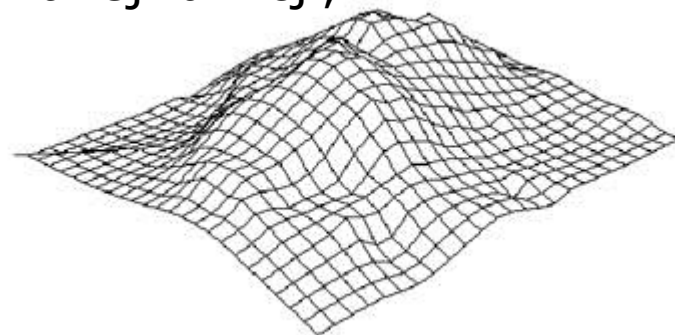


zagadnienie nie stanowi żadnych trudności.

Dzięki znanej funkcji, w każdym punkcie $P(x, y)$ możemy określić wartość danego zjawiska.

Funkcje przestrzenne

W sytuacji kiedy modelowane zjawiska, ze względu na znaczną ich komplikację (np. powierzchnia terenu), nie można określić za pomocą nawet skomplikowanej funkcji,

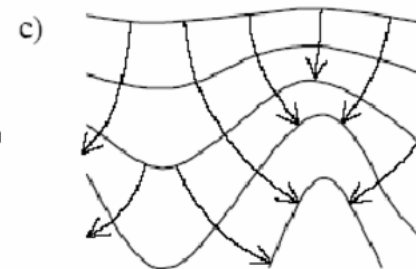
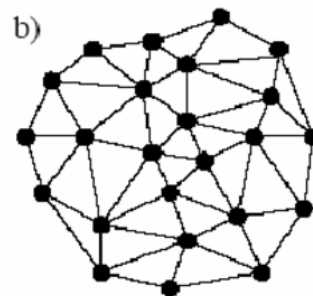
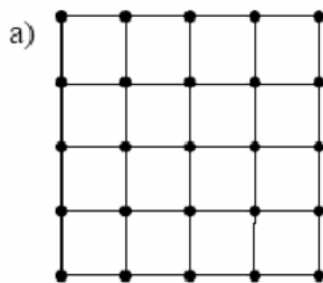


stosujemy inne rozwiązania, oparte na wartościach zjawiska zarejestrowanych w wybranych punktach pomiarowych.

Metody przestrzennej reprezent. zjawisk

Do najbardziej typowych metod reprezentacji danych przestrzennych ciągłych należą:

- a) Regularna sieć punktów (ang. *grid*),
- b) sieć nieregularnych trójkątów **TIN** (ang. *Triangular Irregular Network*),
- c) Model poziomicowy (ang. DGL – *Digital Line Graph*) - izolinie.

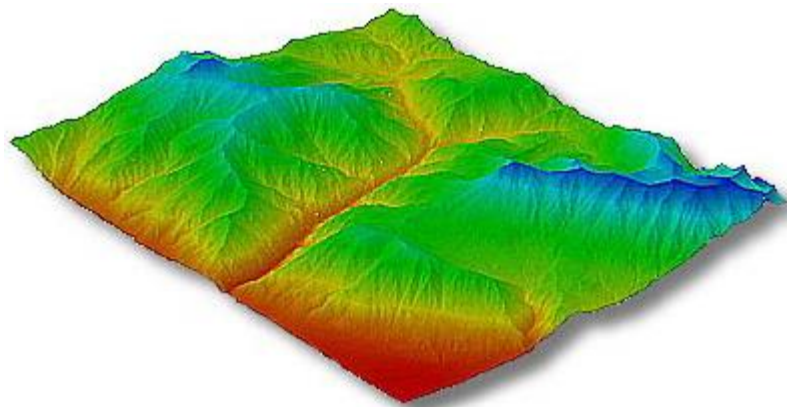


Metody przestrzennej reprezent. zjawisk

Każda z wymienionych metod przedstawia daną powierzchnię ciągłą (zjawisko) w sposób dyskretny (skokowy). Dlatego z każdą z nich wiążą się inne algorytmy interpolacyjne umożliwiające określenie wartości zjawiska w dowolnie wybranym punkcie.

Numeryczne modele terenu

Numeryczne modele terenu (NMT) są cyfrowymi „obrazami” powierzchni Ziemi, które w sposób dyskretny przechowują informację o wysokości/głębokości przedstawianej powierzchni.



Numeryczne modele terenu

W polskiej literaturze, pod nazwą NMT ukryte są dwa anglojęzyczne terminy:

Digital Elevation Model (DEM) – cyfrowy model terenu. W literaturze polskiej odpowiada mu cyfrowy model wysokościowy (CMW lub NMT).

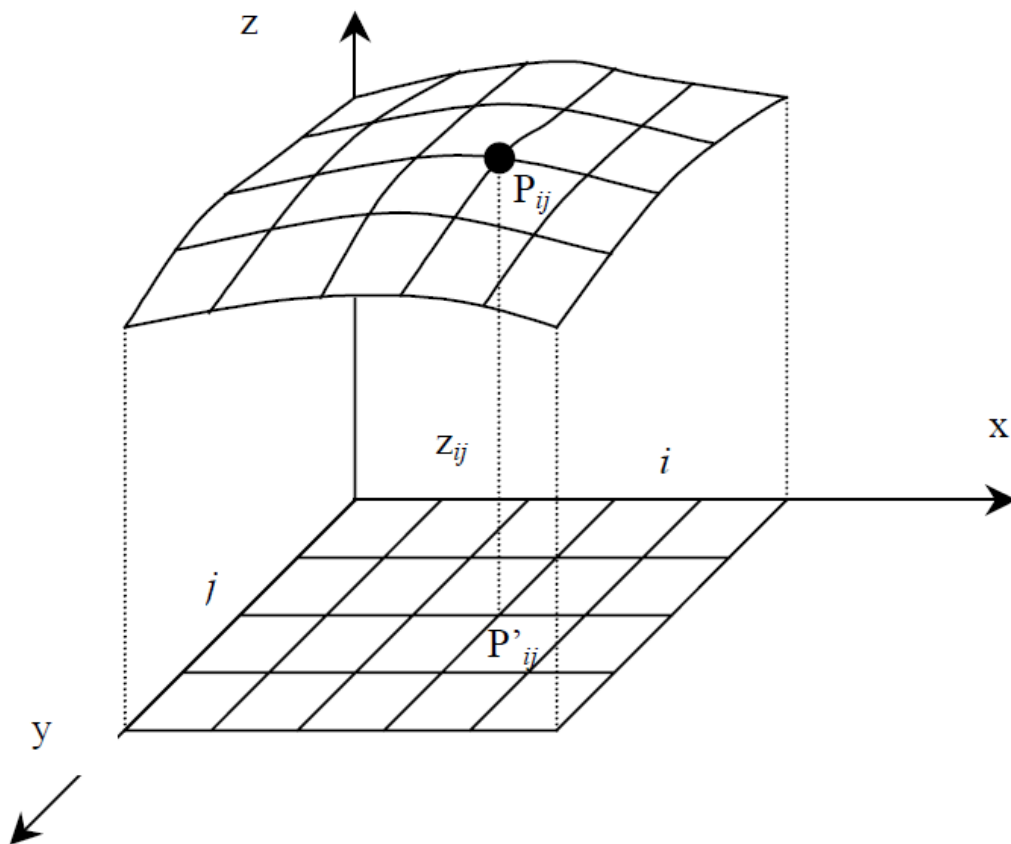
Digital Terrain Model (DTM) – cyfrowy model terenu, który często zawiera informacje o sposobie użytkowania Ziemi oraz warstwy pochodne DEM, takie jak nachylenie i ekspozycję stoków. W literaturze polskiej odpowiada mu tzw. numeryczny model pokrycia teren (NMPT).

Rodzaje NMT

W praktyce podstawowe znaczenie mają dwa modele: regularny w postaci siatki kwadratów oraz w postaci nieregularnej siatki trójkątów (TIN).

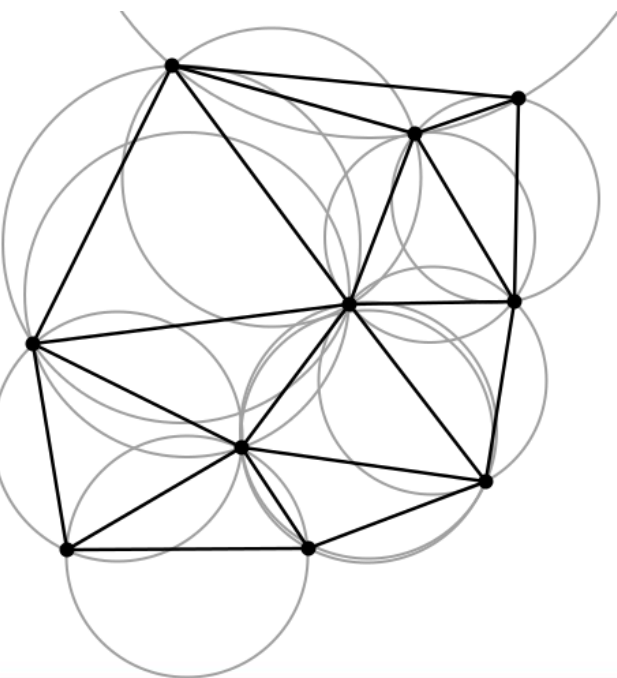
Każdy z wymienionych modeli posiada swoje zalety i wady.

Model grid - cechy



- Najczęściej stosowany,
- zazwyczaj zapisywany w postaci rastra,
- łatwy do przetwarzania,
- zabiera bardzo mało pamięci,
- algorytmy używane do modelowania terenu są stosunkowo proste,
- im gęstsza siatka, tym dokładniejszy model.
- dane siatki najcz. pochodzą z wcześniejszej interpolacji

Model TIN tworzy nieregularna sieć trójkątów z wierzchołkami w punktach o znanej wysokości. Konstrukcja sieci odbywa się z zastosowaniem **triangulacji Delanuay**. Trójkąty tworzone są w ten sposób aby żaden z punktów nie należących do niego nie był położony wewnątrz okręgu opisanego na trójkącie.

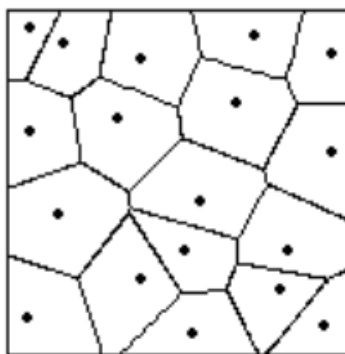


Etapy triangulacji Delanuay

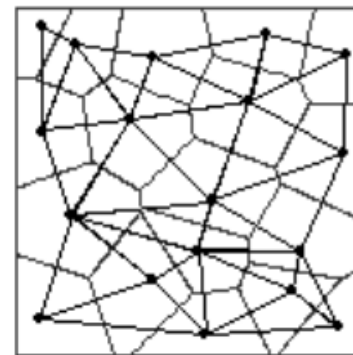
- a) Mamy punkty z ze znanymi wartościami wysokości,
- b) punkty są otaczane poligonami Thiessen'a (Voronoi),
- c) punkty dla których wieloboki Thiessen'a posiadają wspólne krawędzie są ze sobą łączone,
- d) w rezultacie powstaje siatka trójkątów



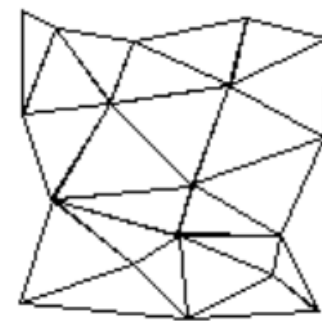
a



b



c



d

- **Rozdzielczość** - określa stopień szczegółowości modelu. Im rozdzielczość jest większa, tym bliższe sobie obiekty reprezentowane będą na modelu jako odrębne obiekty, a nie jako jeden punkt
- **Dokładność** – stopień zgodności z jakim położenie obiektu w modelu odpowiada rzeczywistemu położeniu obiektu w przestrzeni geograficznej

Bezpośrednie pomiary terenowe

- tradycyjne pomiary geodezyjne
- pomiary GPS referencyjnym
- naziemny skanning laserowy

Zalety - bardzo duża dokładność i swobodny dobór rozdzielczości

Wady - czasochłonność i wysoki koszt pomiaru

Zastosowanie - niewielkie obszary dla których istotna jest wysoka dokładność danych np.: ocena dynamiki erozji gleb, pomiary niewielkich form terenu, modele budynków itp..



Digitalizacja mat. kartograficznych

Zalety

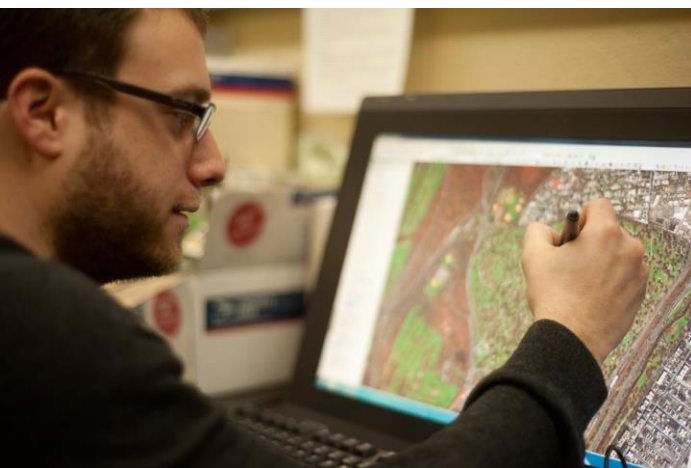
- dostępność materiałów źródłowych
- pokrycie całego kraju,
- wysoka dokładność,
- najlepszy stosunek ceny do dokładności, prostota tworzenia,
- otrzymujemy model rzeźby terenu (bez budynków, lasów itp.)

Wady

- zróżnicowana jakość materiałów źr.
- duża pracochłonność

Zastosowanie

- średniopowierzchniowe obszary wymagające wysokiej dokładności



Źródła danych NMT

- **Fotogrametria analogowa i cyfrowa**

Zalety

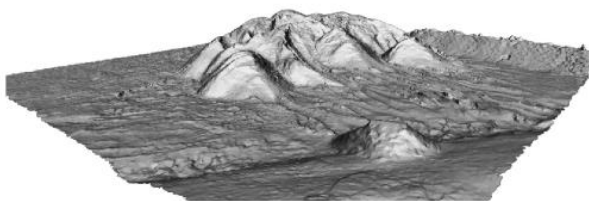
- wysoka dokładność,
- wysoka efektywność,
- powtarzalność

Wady

- wysoka cena,
- brak penetracji pokrywy roślinnej,
- Zależność od warunków pogodowych,
- drogi sprzęt i oprogramowanie

Zastosowanie

- tam gdzie liczy się dokładność i powtarzalność pomiaru np.: rejestracja zmian rzeźby kopalń odkrywkowych





LIDAR (light detection and ranging)

Zalety

- wysoka dokładność,
- krótki cykl produkcji,
- niezależność od warunków pogodowych,
- penetracja pokrywy roślinnej

Wady

- bardzo wysoki koszt, wymagany specj. sprzęt

Zastosowanie

- tam gdzie wymagana jest wysoka dokładność i szybkość uzyskania modelu np. ocena skutków zdarzeń katastrofalnych

Obrazy radarowe

Zalety

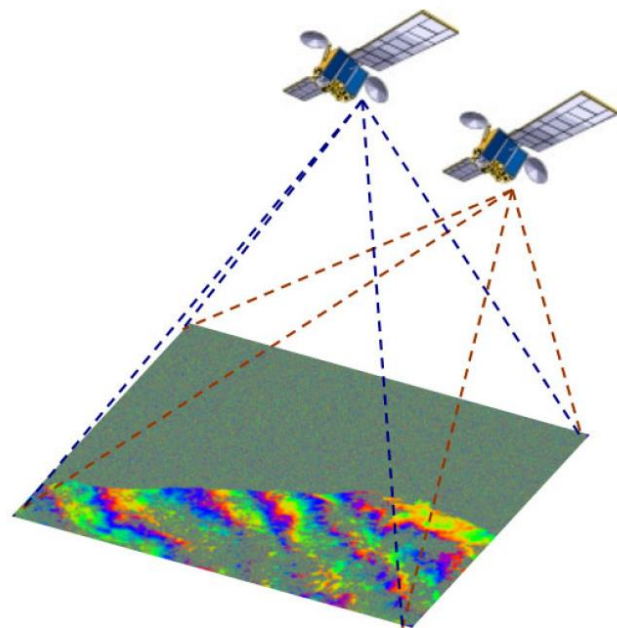
- niezależność od warunków pogodowych,
- zdolność częściowej penetracji pokrycia terenu oraz wody

Wady

- wysoki koszt,
- Zróżnicowana dokładność (samolot 1-5m, satelita 5-50m)

Zastosowanie

- modelowanie terenów pokrytych bujną roślinnością, śniegiem, lodem,
- monitorowanie rozwoju linii brzegowych



NMT ISOK

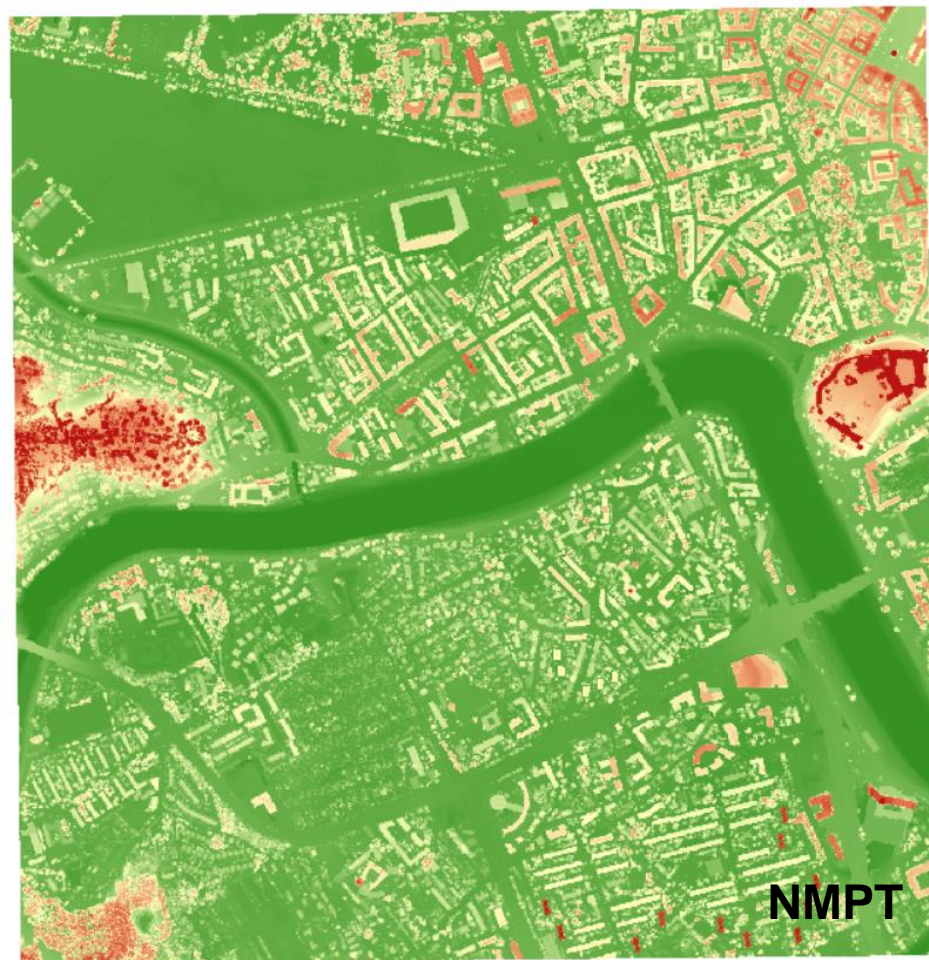
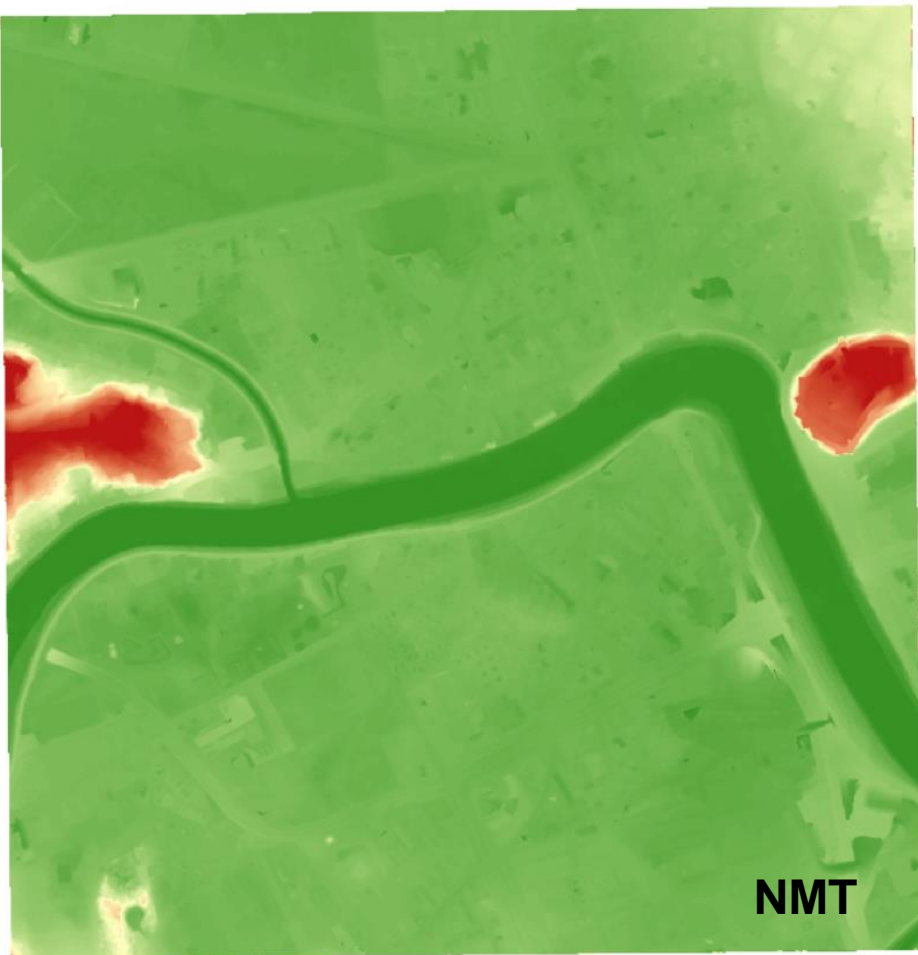
ISOK (Informatyczny System Osłony Kraju) -

Podstawowym celem Projektu jest stworzenie systemu dla poprawienia osłony społeczeństwa, gospodarki i środowiska.

Od połowy 2020 r. Główny Urząd Geodezji i Kartografii (GUGiK) umożliwia bezpłatny i otwarty dostęp do usługi pobierania arkuszy:

- **Numerycznego Modelu Terenu (NMT)** - przechowuje wartości wysokości powierzchni terenu nad poziom morza.
- **Numerycznego Modelu Pokrycia Terenu (NMPT)** - reprezentuje zarówno rzeźbę odkrytego terenu jak i wysokość obiektów, które się na nim znajdują takich jak: roślinność, budynki, elementy infrastruktury.

NMT vs. NMPT





NMPT – rozdzielczość 50 cm
Ortofotomapa (2019) rozdzielczość: 25 cm

NMT ISOK - rozdzielczość

- **Rozdzielczość przestrzenna** zależy od rodzaju (NMT czy NMPT) oraz lokalizacji produktu (średnie i duże miasta czy inne obszary) i wynosi **1 m** (NMT, NMPT) lub **0,5 m** (NMPT), a średni błąd wysokości wynosi między 0,1 a 0,2 m.
- Dla niektórych obszarów Polski można pobrać NMT z rozdzielczością **5 m** i średnim błędem wysokości 0,5 m. Taki model zwykle wystarcza do ogólnej analizy ukształtowania terenu przy opracowywaniu większych obszarów (map w bardziej przeglądowych skalach). Do szczegółowej analizy warto stosować NMT z rozdzielczością 1 m.

NMT ISOK – układy wysokościowe

Dane dostępne są w dwóch **układach wysokościowych**:

- **PL- KRON86-NH** - starszy (obowiązujący do 2019 r. włącznie; z poziomem odniesienia Morza Bałtyckiego w miejscowości Kronsztad k. Petersburga; obowiązuje max do **31 grudnia 2023**).
- **PL-EVRF2007-NH** – aktualnie obowiązujący w Polsce (od 2020 r.; z poziomem odniesienia Morza Północnego w Amsterdamie).

Układy różnią się punktem 0. Wartości wysokości nad poziom morza nieznacznie różnią się pomiędzy układami.

UWAGA! Należy uważać przy łączeniu danych NMT i NMPT wytworzonych w różnych układach!

NMT ISOK – formaty

Na Geoportalu Krajowym dane można pobrać w dwóch formatach:

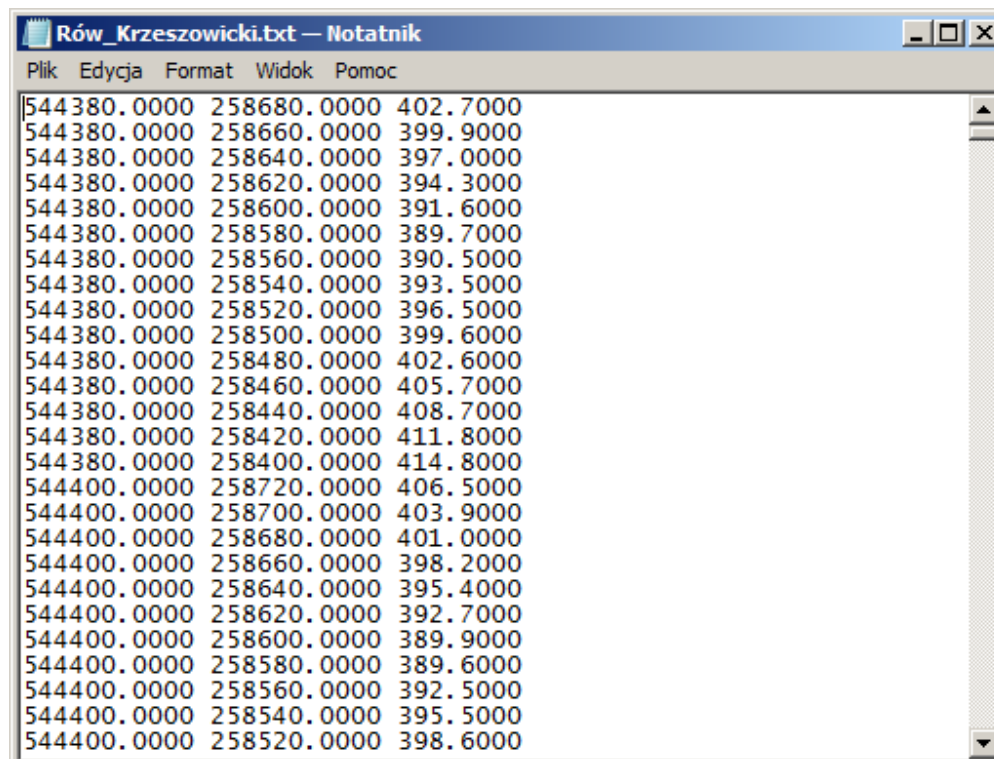
- ARC/INFO ASCII GRID – plik tekstowy z rozszerzeniem `.asc`, składa się z nagłówka opisującego właściwości rastra:

<code>ncols 2257</code>	liczbę kolumn
<code>nrows 2341</code>	liczbę wierszy
<code>xllcenter 557959.00</code>	współrzędna X początku układu rastra
<code>yllcenter 258125.00</code>	współrzędna Y początku układu rastra
<code>cellsize 1.00</code>	rozmiar piksela
<code>nodata_value -9999</code>	

oraz wykazu współrzędnych wysokości zapisanych wiersz po wierszu.

NMT ISOK – formaty

- ASCII XYZ GRID – plik tekstowy `.txt`; w kolejnych wierszach pliku zapisane są współrzędne X, Y, Z dla poszczególnych punktów siatki grid.



```
Rów_Krzeszowski.txt — Notatnik
Plik  Edycja  Format  Widok  Pomoc
544380.0000 258680.0000 402.7000
544380.0000 258660.0000 399.9000
544380.0000 258640.0000 397.0000
544380.0000 258620.0000 394.3000
544380.0000 258600.0000 391.6000
544380.0000 258580.0000 389.7000
544380.0000 258560.0000 390.5000
544380.0000 258540.0000 393.5000
544380.0000 258520.0000 396.5000
544380.0000 258500.0000 399.6000
544380.0000 258480.0000 402.6000
544380.0000 258460.0000 405.7000
544380.0000 258440.0000 408.7000
544380.0000 258420.0000 411.8000
544380.0000 258400.0000 414.8000
544400.0000 258720.0000 406.5000
544400.0000 258700.0000 403.9000
544400.0000 258680.0000 401.0000
544400.0000 258660.0000 398.2000
544400.0000 258640.0000 395.4000
544400.0000 258620.0000 392.7000
544400.0000 258600.0000 389.9000
544400.0000 258580.0000 389.6000
544400.0000 258560.0000 392.5000
544400.0000 258540.0000 395.5000
544400.0000 258520.0000 398.6000
```

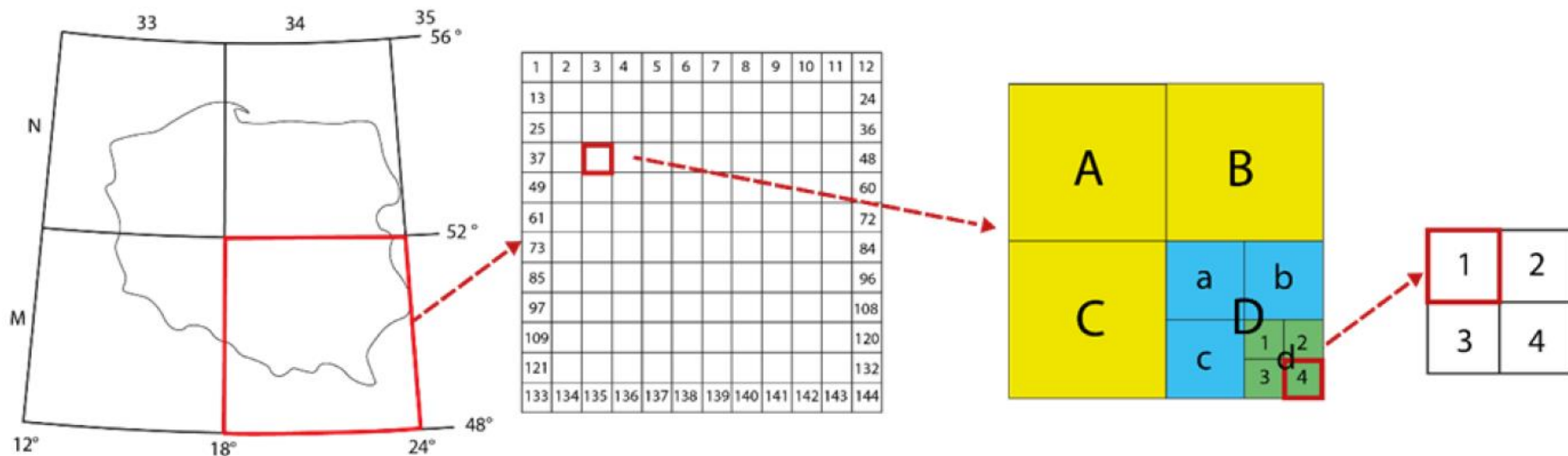
UWAGA! Plik w formacie `.txt` zajmuje więcej miejsca na dysku niż plik w formacie `.asc`.

NMT ISOK – cięcie arkuszowe

skala 1:5 000

układ współrzędnych PUWG 1992 (EPSG 2180).

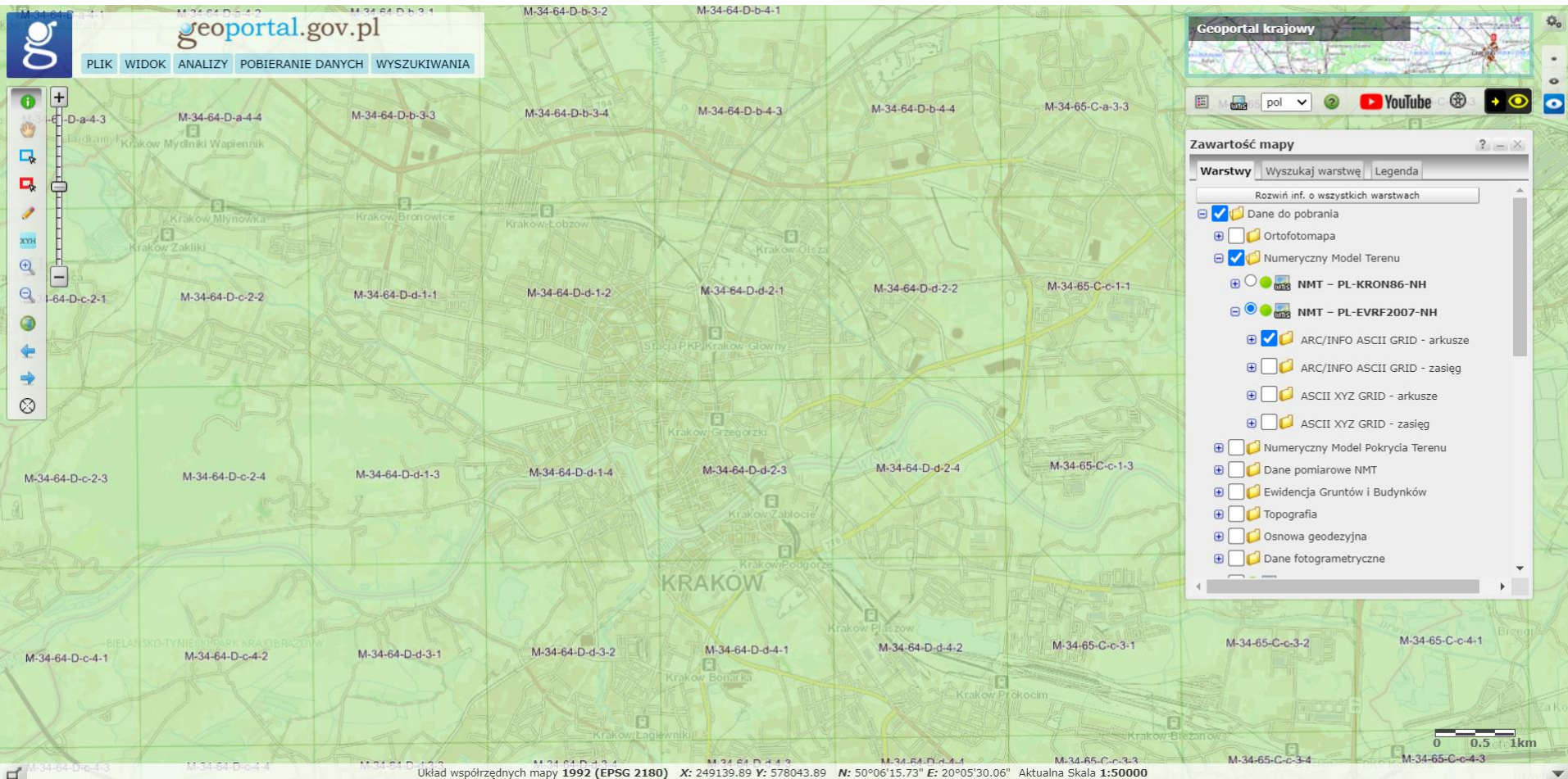
Np. M-34-39-D-d-4-1.



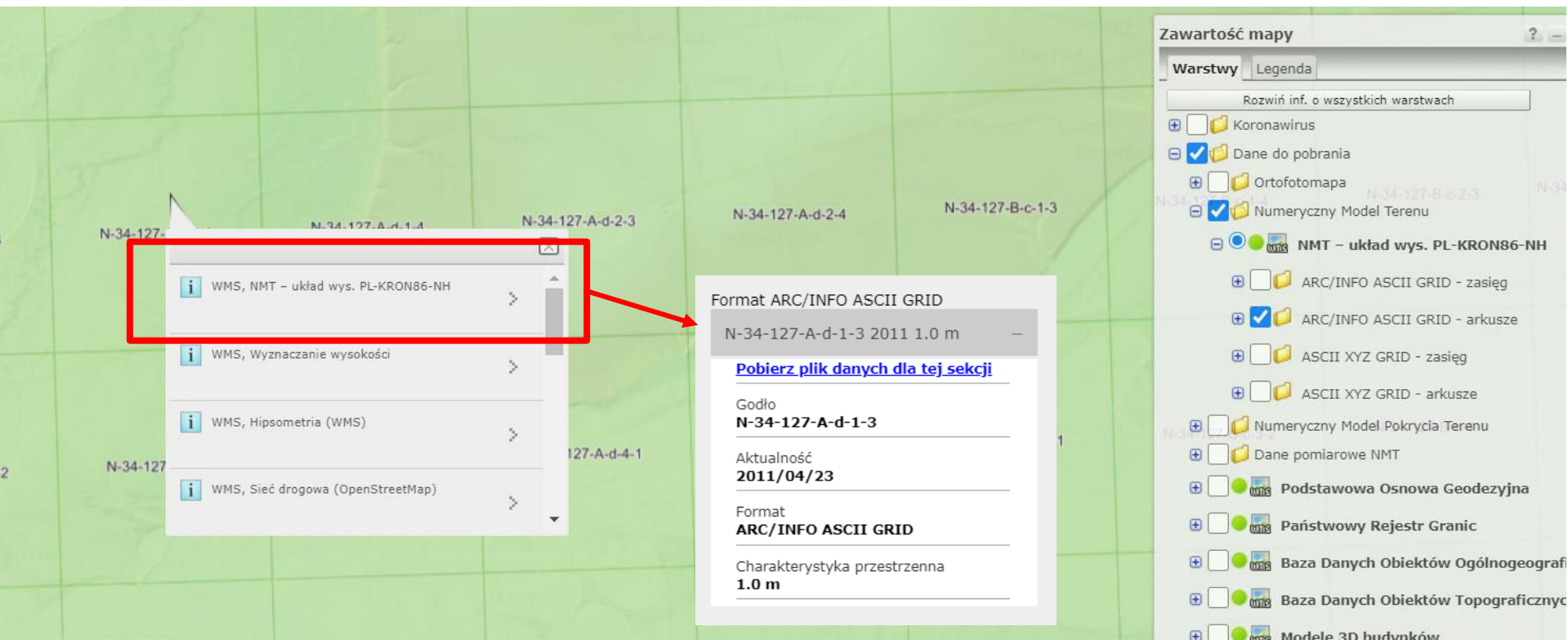


AGH

NMT ISOK – cięcie arkuszowe



NMT ISOK – pobieranie



The screenshot displays the NMT ISOK web application interface. On the left, a map shows a grid of sections. A red box highlights a dropdown menu for the 'WMS, NMT – układ wys. PL-KRON86-NH' layer. A red arrow points from this box to a detailed information panel on the right. This panel shows the selected section 'N-34-127-A-d-1-3 2011 1.0 m' and provides a link to 'Pobierz plik danych dla tej sekcji'. Below this, it specifies the format as 'ARC/INFO ASCII GRID' and the spatial characteristics as '1.0 m'. On the far right, a 'Zawartość mapy' (Map Content) sidebar lists various layers, including 'Koronawirus', 'Dane do pobrania', 'Ortofotomapa', 'Numeryczny Model Terenu', and 'NMT – układ wys. PL-KRON86-NH'.

WMS, NMT – układ wys. PL-KRON86-NH

- WMS, Wyznaczanie wysokości
- WMS, Hipsometria (WMS)
- WMS, Sieć drogowa (OpenStreetMap)

Format ARC/INFO ASCII GRID

N-34-127-A-d-1-3 2011 1.0 m

[Pobierz plik danych dla tej sekcji](#)

Godło
N-34-127-A-d-1-3

Aktualność
2011/04/23

Format
ARC/INFO ASCII GRID

Charakterystyka przestrzenna
1.0 m

Zawartość mapy

Warstwy | Legenda

Rozwiń inf. o wszystkich warstwach

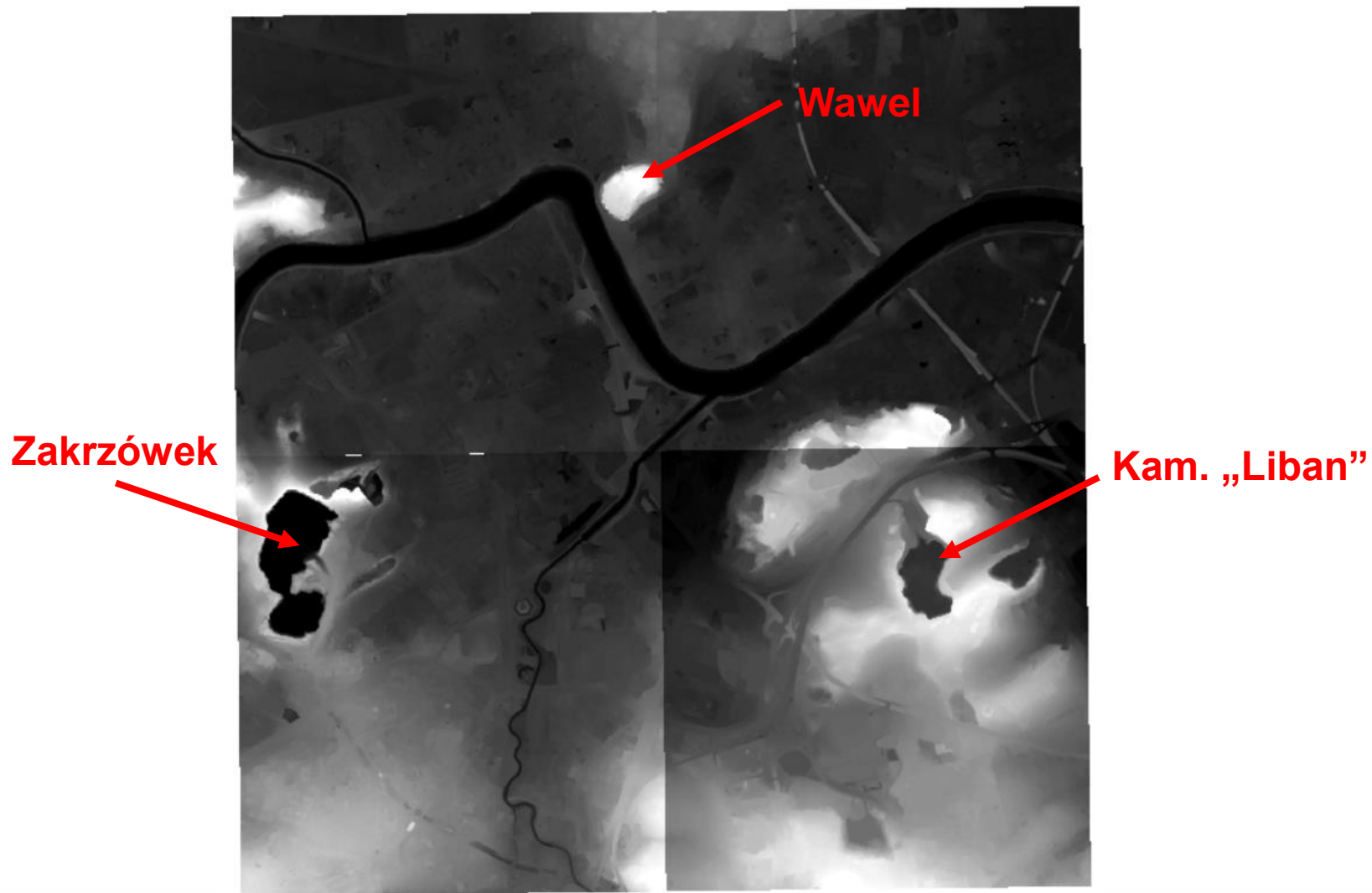
- Koronawirus
- ☒ Dane do pobrania
- Ortofotomapa
- ☒ Numeryczny Model Terenu
- ☒ **NMT – układ wys. PL-KRON86-NH**
 - ARC/INFO ASCII GRID - zasięg
 - ☒ ARC/INFO ASCII GRID - arkusze
 - ASCII XYZ GRID - zasięg
 - ASCII XYZ GRID - arkusze
- Numeryczny Model Pokrycia Terenu
- Dane pomiarowe NMT
- Podstawowa Osnowa Geodezyjna
- Państwowy Rejestr Granic
- Baza Danych Obiektów Ogólnogeograficznych
- Baza Danych Obiektów Topograficznych
- Modele 3D budynków

NMT ISOK – piramidy

Po dodaniu do aplikacji ArcGIS nowego rastrowego zbioru danych zostanie wyświetlony monit o zbudowanie piramid.

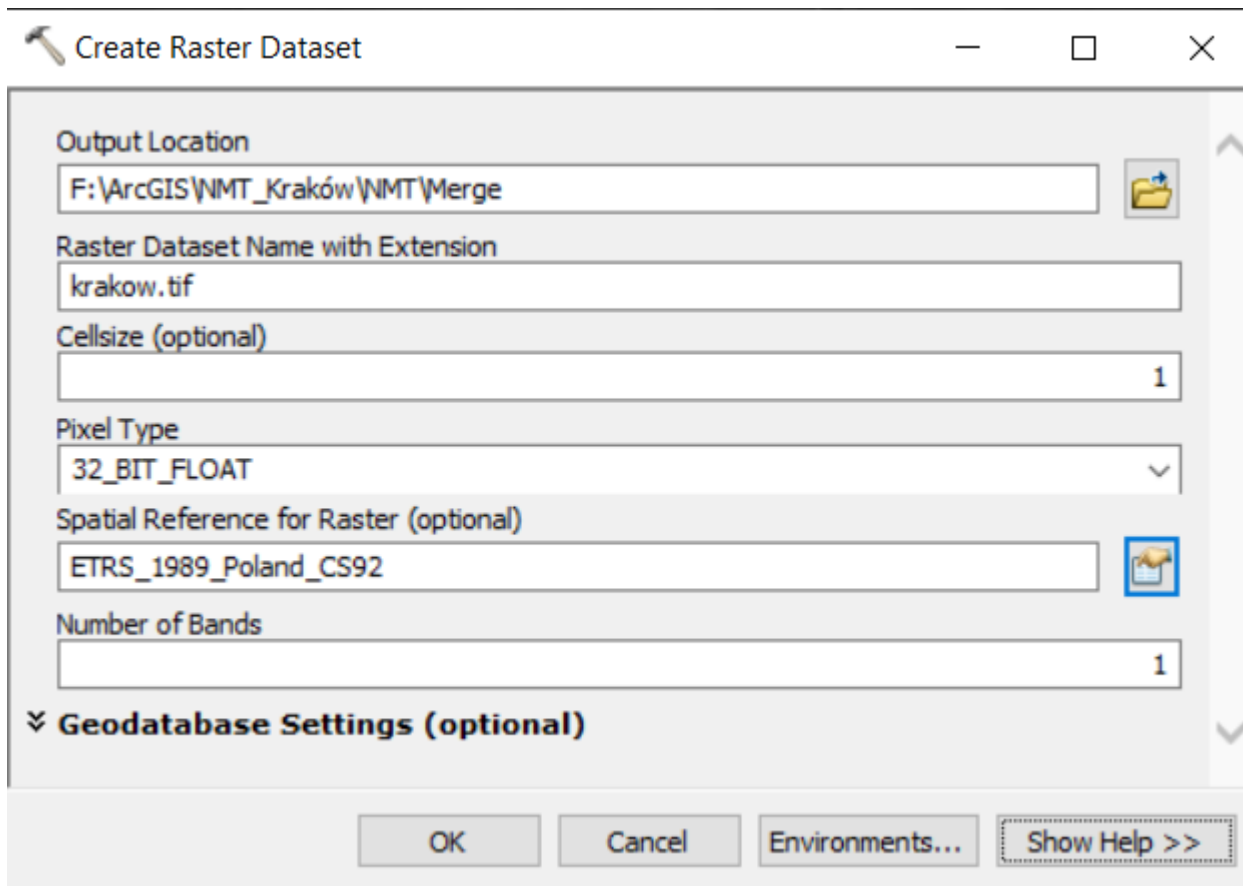
Piramidy to widoki danych o zmniejszonej rozdzielczości w różnych skalach. Piramidy są przydatne, ponieważ zwiększają szybkość wyświetlania zbiorów danych rastrowych w rozdzielczości mniejszej niż ich pełna rozdzielczość.

Zaleca się, aby zawsze budować piramidy dla dużych zbiorów danych rastrowych.



NMT ISOK – scalanie

Data Management Tools > Raster > Raster
Dataset > Create Raster Dataset



The image shows a screenshot of the 'Create Raster Dataset' dialog box in ArcGIS. The dialog box has a title bar with a hammer icon and the text 'Create Raster Dataset'. It contains several input fields and a 'Geodatabase Settings (optional)' section. The 'Output Location' field is set to 'F:\ArcGIS\NMT_Kraków\NMT\Merge'. The 'Raster Dataset Name with Extension' field is set to 'krakow.tif'. The 'Cellsize (optional)' field is set to '1'. The 'Pixel Type' dropdown menu is set to '32_BIT_FLOAT'. The 'Spatial Reference for Raster (optional)' field is set to 'ETRS_1989_Poland_CS92'. The 'Number of Bands' field is set to '1'. The 'Geodatabase Settings (optional)' section is expanded, showing a list of geodatabases. The 'OK' button is highlighted.

Output Location
F:\ArcGIS\NMT_Kraków\NMT\Merge

Raster Dataset Name with Extension
krakow.tif

Cellsize (optional)
1

Pixel Type
32_BIT_FLOAT

Spatial Reference for Raster (optional)
ETRS_1989_Poland_CS92

Number of Bands
1

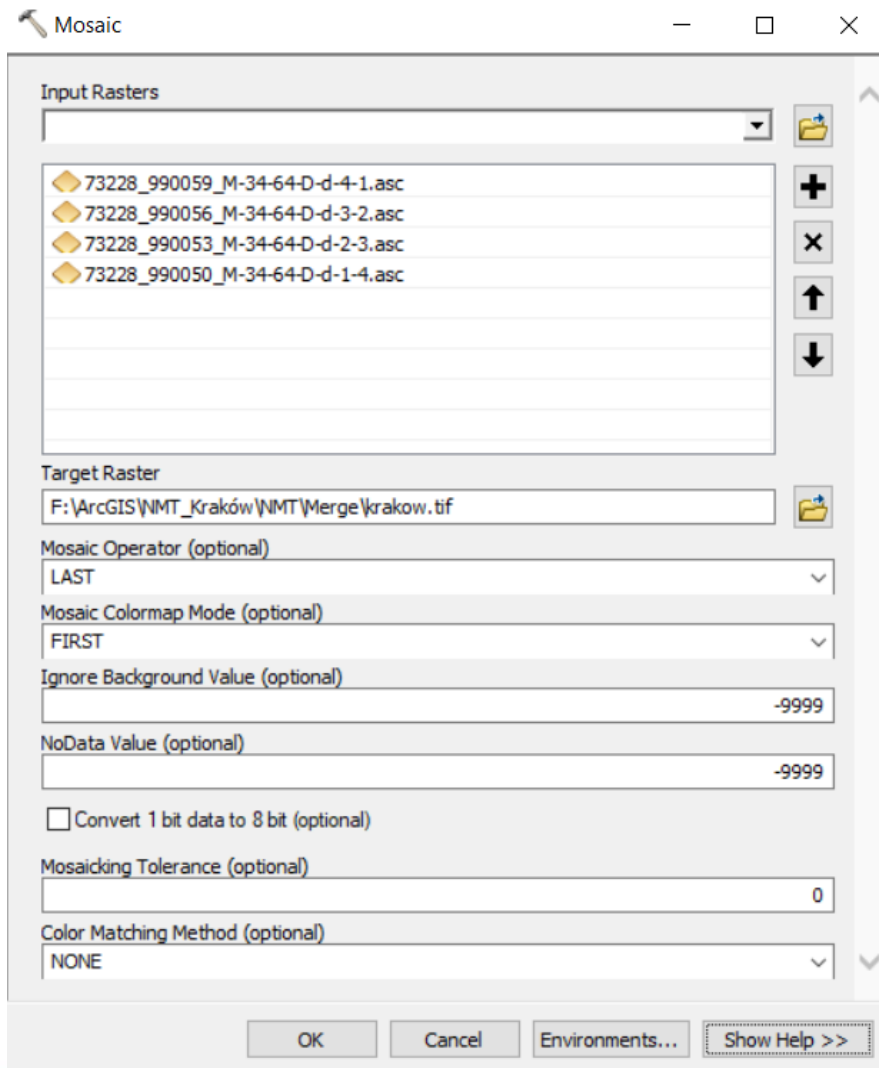
Geodatabase Settings (optional)

OK Cancel Environments... Show Help >>

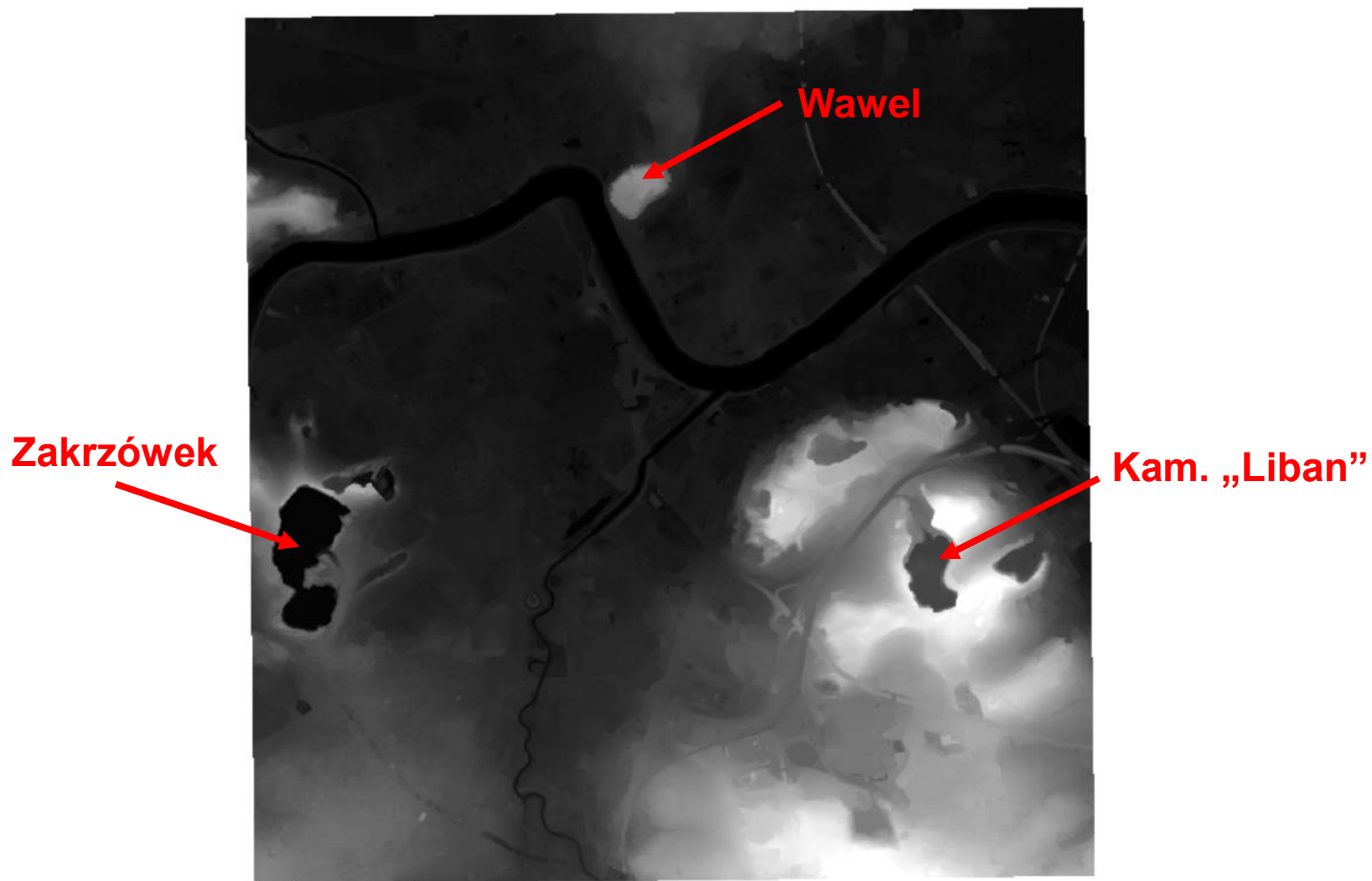


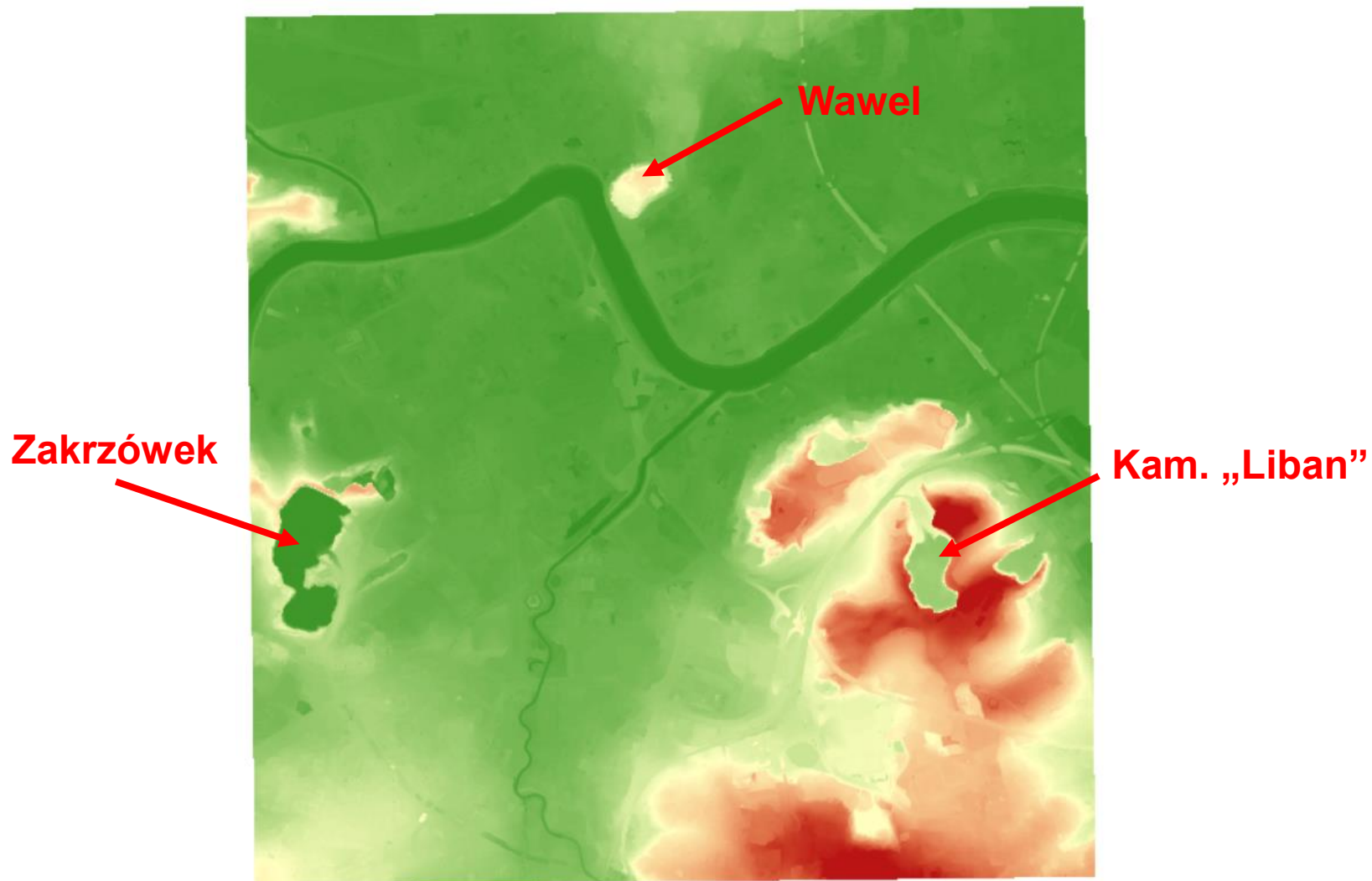
AGH

NMT ISOK – scalanie



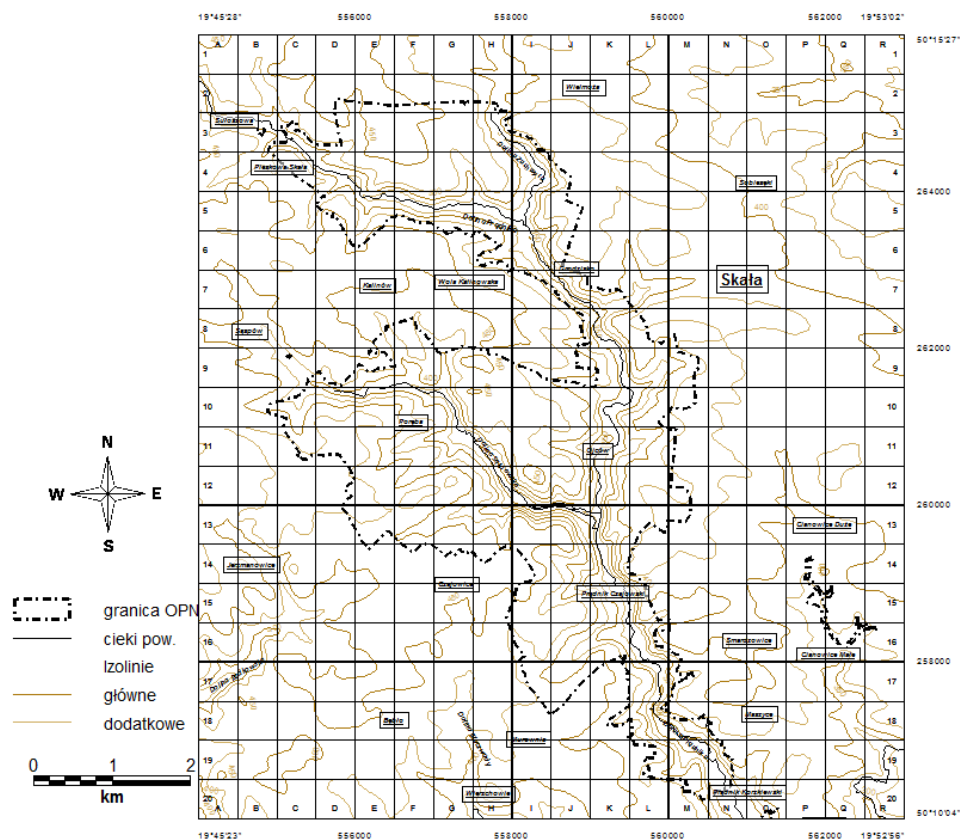
Data Management Tools >
Raster > Raster Dataset >
Mosaic

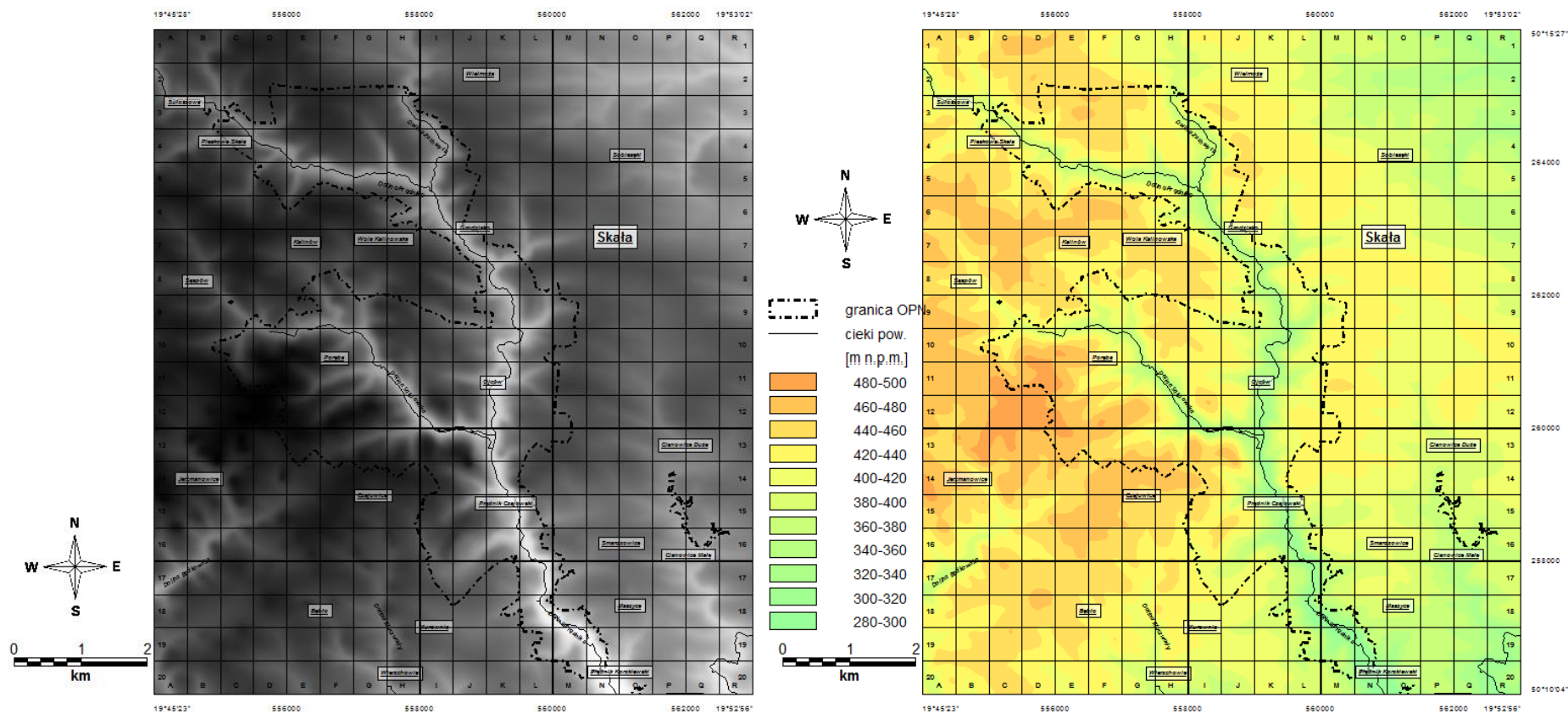




Zastosowanie NMT

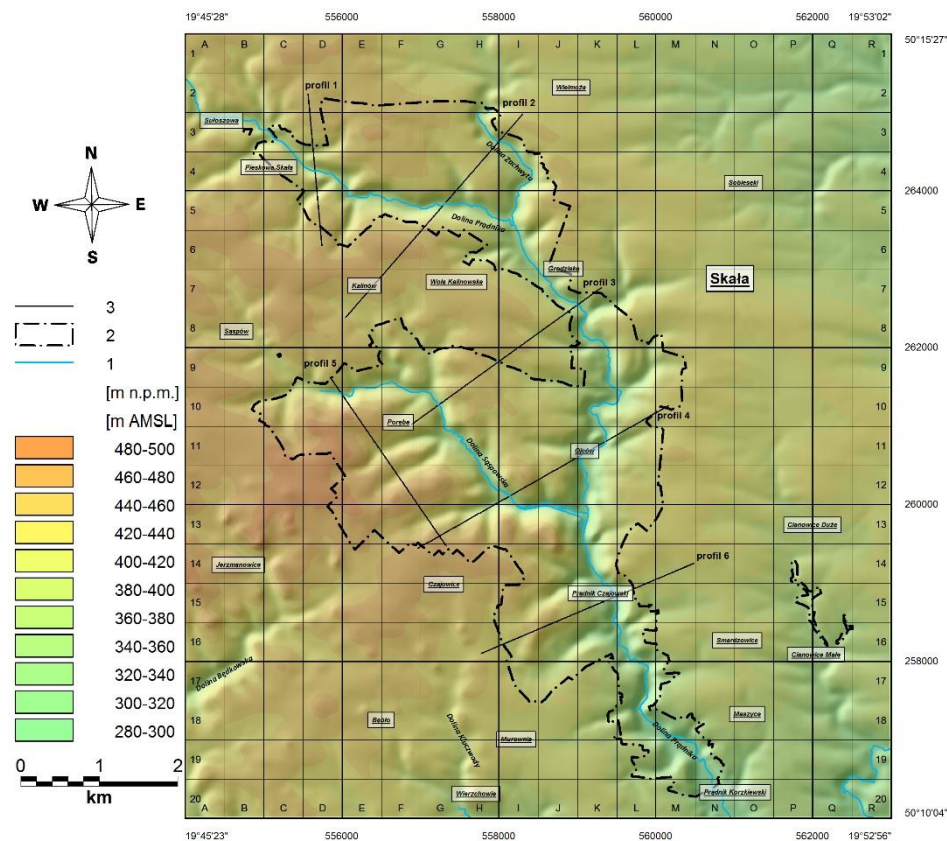
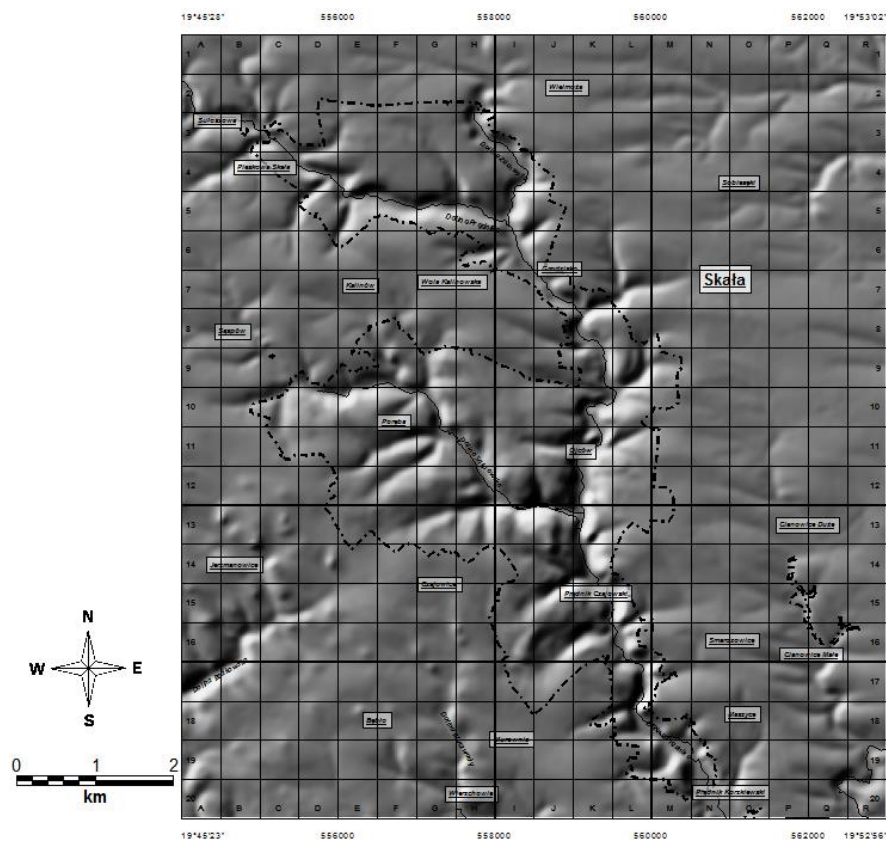
- Model izoliniowy





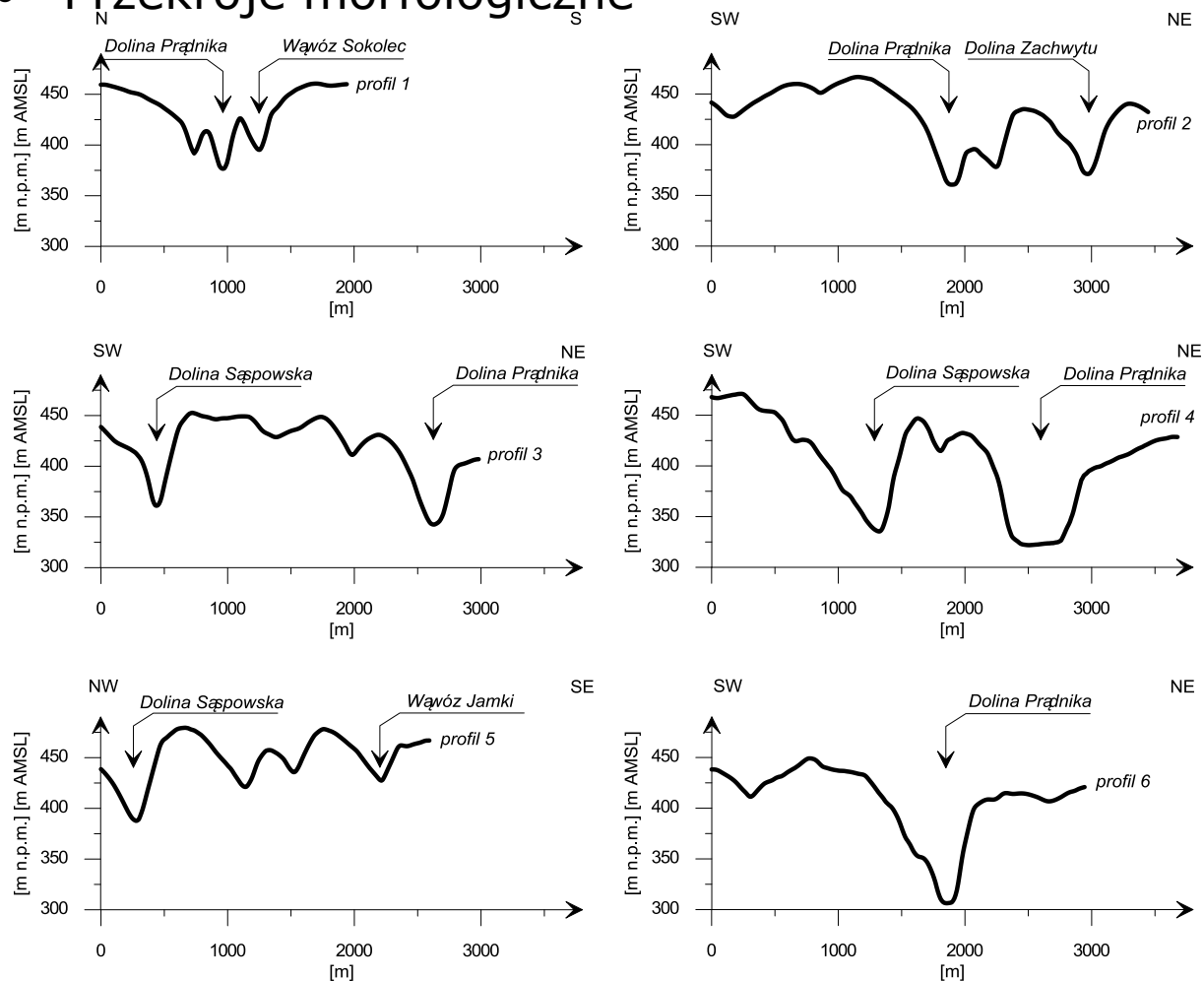
Zastosowanie NMT

- Wizualizacje 3D (cieniowanie rzeźby)



Zastosowanie NMT

- Przekroje morfologiczne



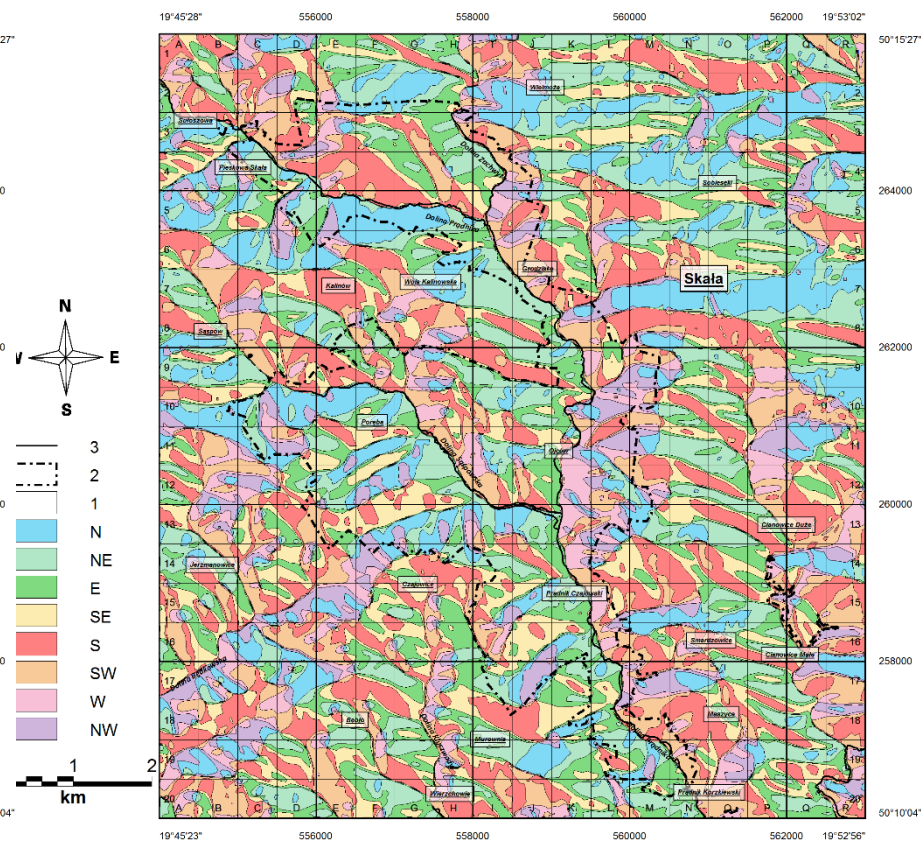
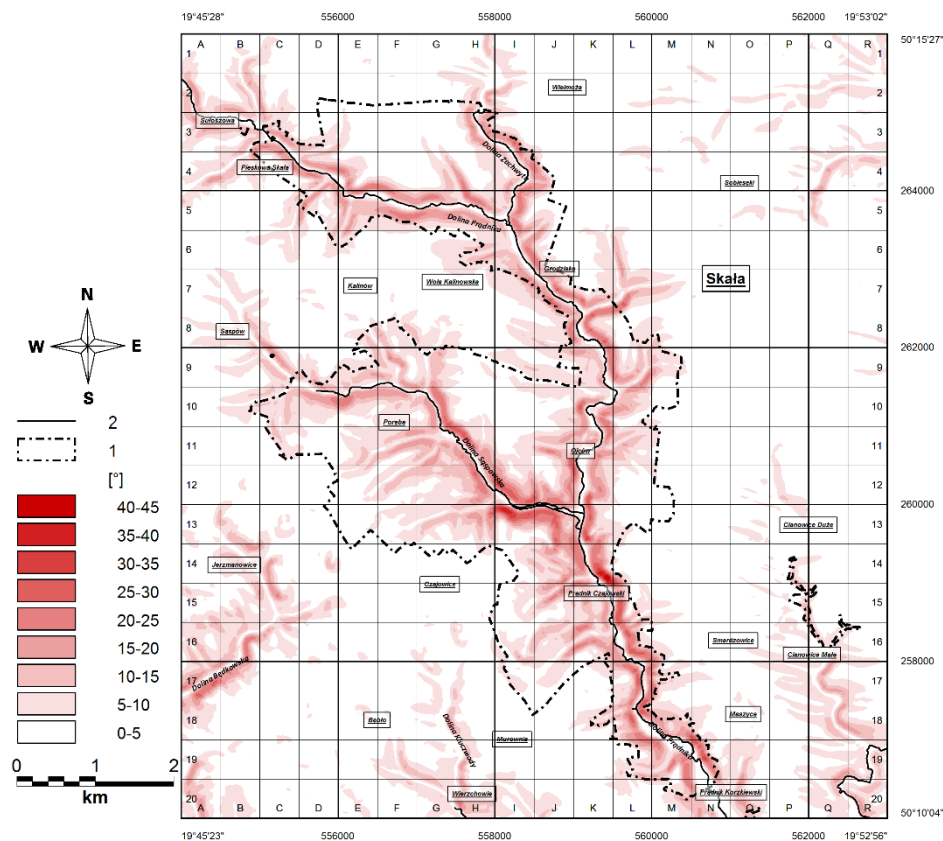
Zastosowanie NMT

- Wizualizacje 3D (Dolina Prądnika, Ojców)



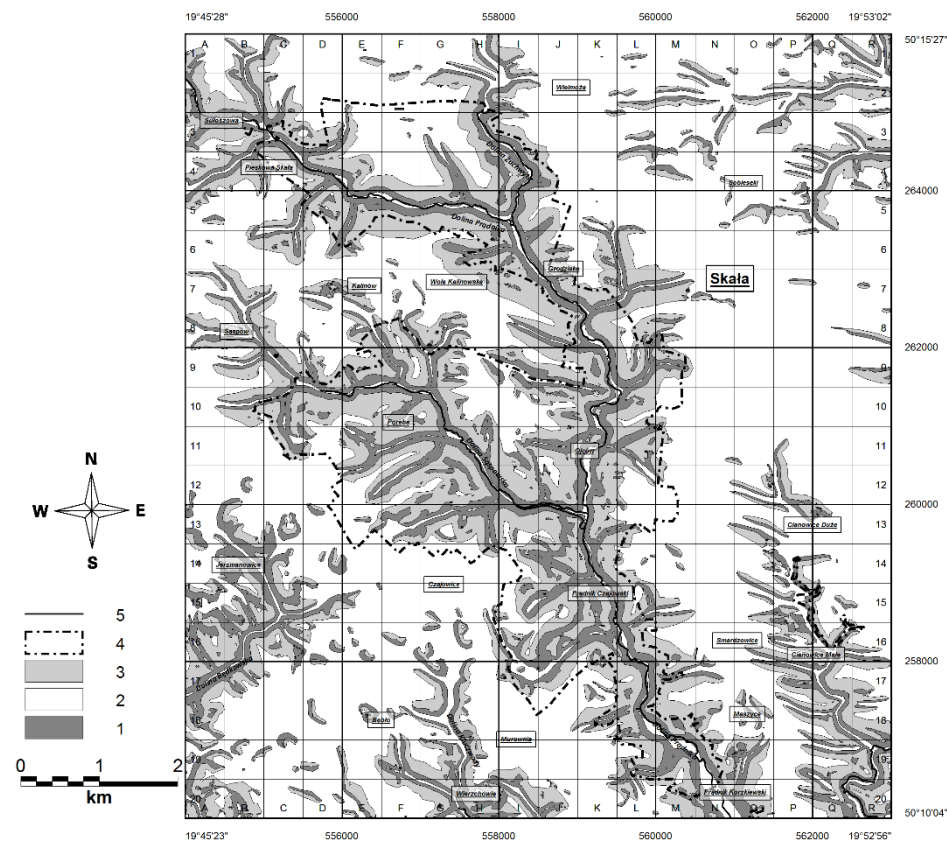
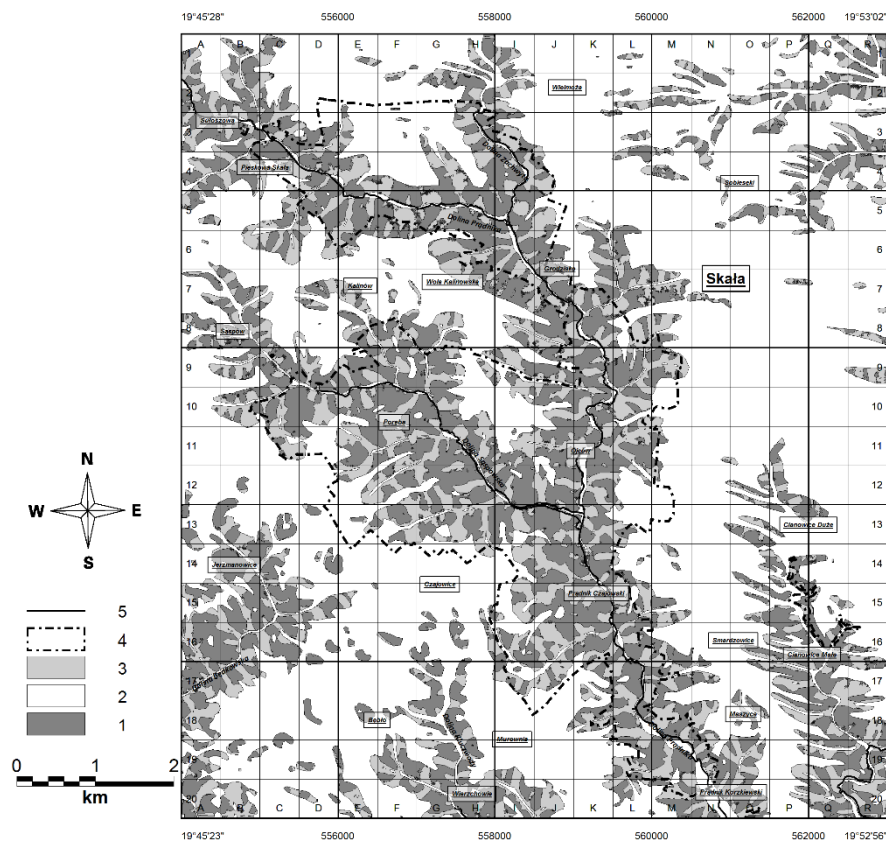
Zastosowanie NMT - geomorfometria

- Nachylenie i ekspozycja stoków



Zastosowanie NMT - geomorfometria

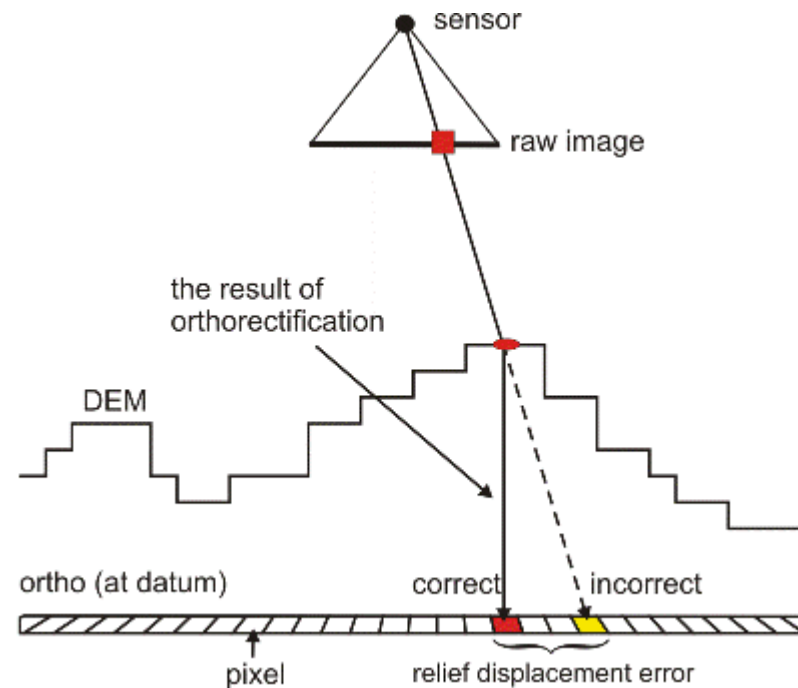
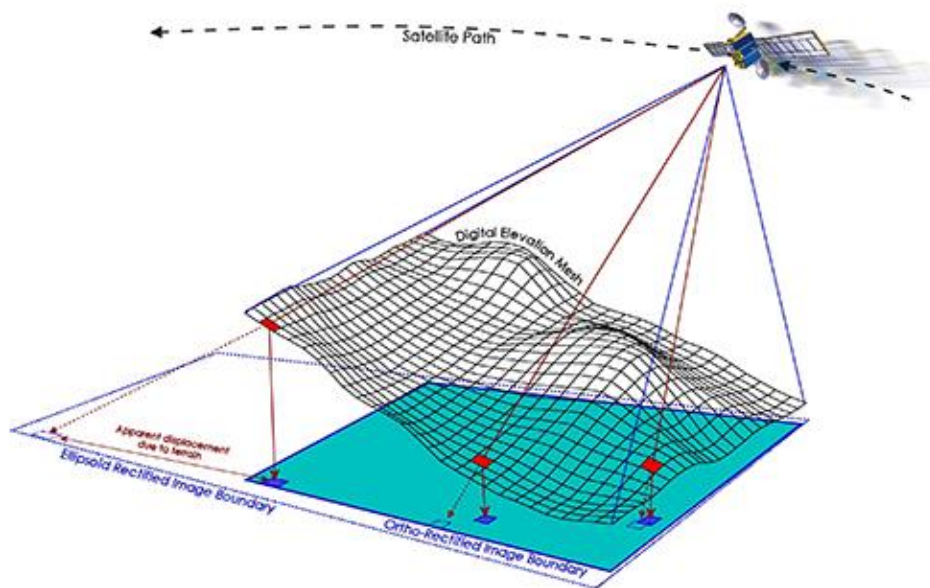
- Krzywizna planarna i wertykalna



-
- The map displays the Skala area in the Carpathian Basin. The coordinate grid shows longitude from 19°45'28" to 19°53'02" and latitude from 50°10'04" to 50°15'27". The elevation scale ranges from 1 to 8, with 8 being the highest. The map includes a north arrow and a scale bar from 0 to 2 km. Key features include the Skala settlement, the Raba River, and various smaller settlements like Kiskun and Kiskunmész.

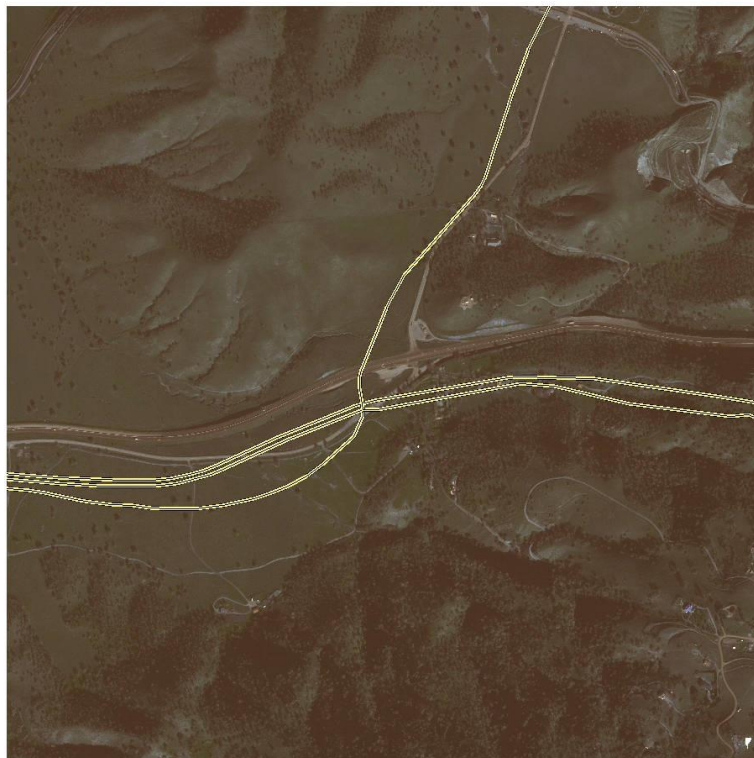
Zastosowanie NMT - teledetekcja

- Ortorektyfikacja zdjęć lotniczych i satelitarnych (pozbycie się zniekształceń perspektywy)

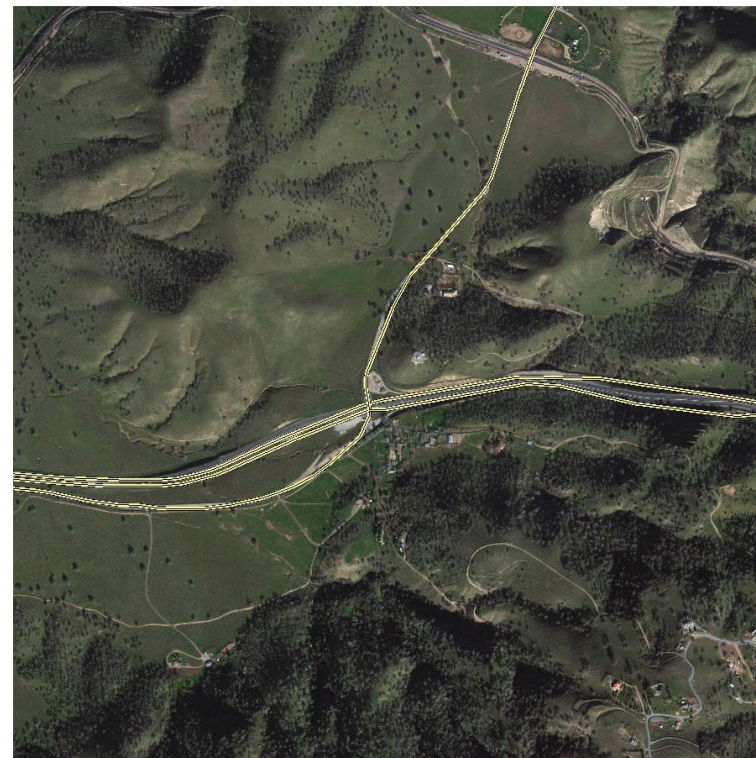


Zastosowanie NMT - teledetekcja

- Ortorektyfikacja zdjęć lotniczych i satelitarnych



Raw scene geocoded to ephemeris
with vector overlay



Orthorectified scene with look-up table
and vector overlay

-

- [illegible]

Inne:

- modelowanie klimatyczne
 - ekologia
 - zagrożenia powstawania osuwisk
 - analizy widoczności
 - budowa dróg itp.
 - zastosowania militarne
 - symulatory lotu
 - gry komputerowe
 - klasyfikacja zdjęć satelitarnych
- i inne

Bartuś, T., 2020. *Struktura i różnorodność abiotycznych komponentów krajobrazu w ocenie i delimitacji obszarów chronionych na przykładzie rejonu Ojcowskiego Parku Narodowego i jego otoczenia*. Wydawnictwa AGH. Kraków, 398pp. [[pdf](#)].

CBK PAN 2021. *Numeryczne modele wysokościowe*. Poradnik Geoinformatyczny. CBK PAN, Centrum Informacji Kryzysowej, 17pp.

Ewertowski M., Rzeszewski M., 2007. *Numeryczne modele terenu*, prezentacja Gis Day.

Urbański, J., 2011. *GIS w badaniach przyrodniczych*, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk, 252pp.