



AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA  
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

# **Jakość numerycznych modeli terenu w generowaniu ryzyka powodziowego**

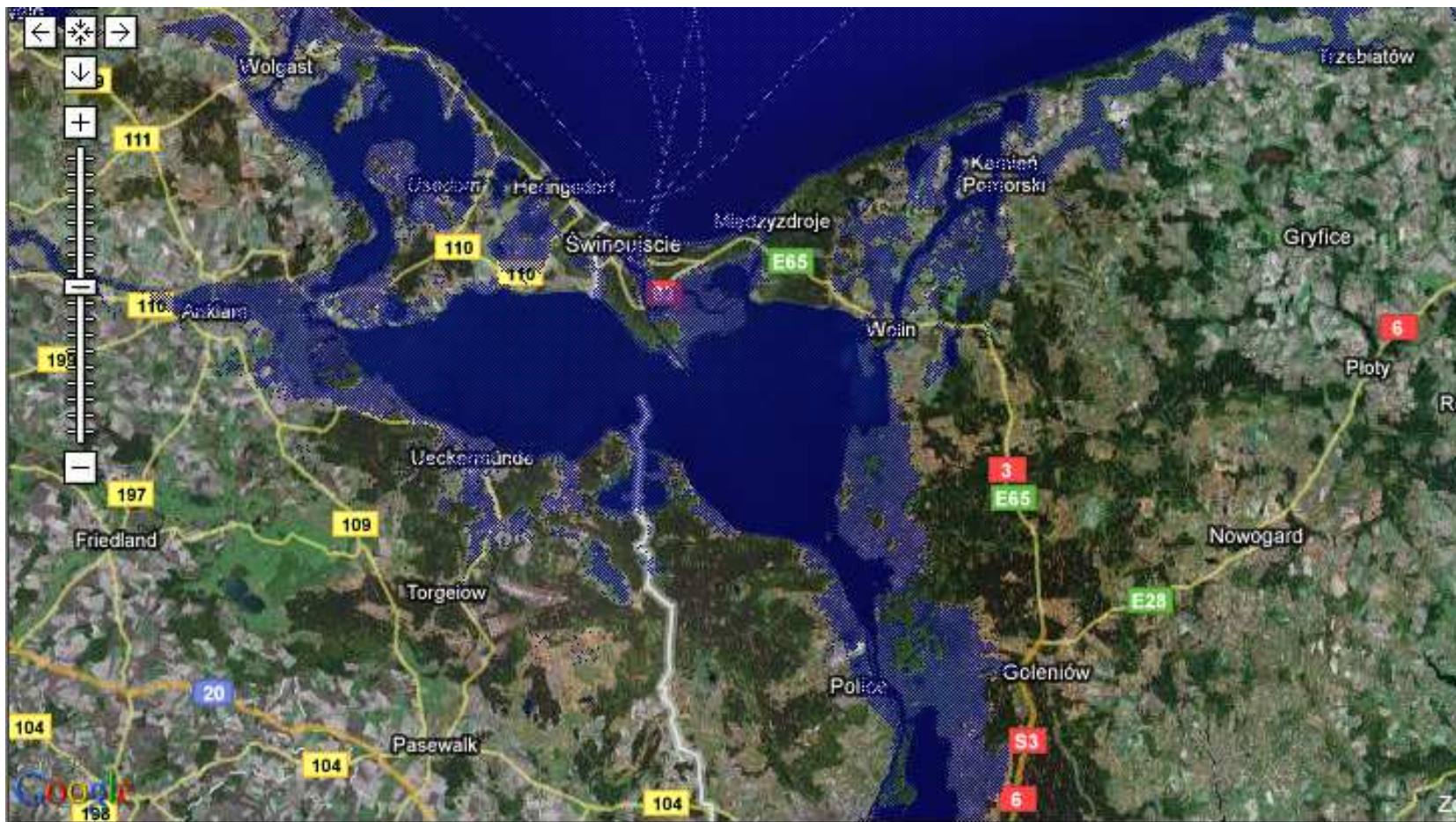
Posiedzenie PAU Kraków  
14 stycznia 2009

Beata Hejmanowska



# Flood Maps

<http://flood.firetree.net/>





## **Agenda**

- 1. Ośrodki Koordynacyjno-Informacyjne (OKI)  
Regionalne Zarządy Gospodarki Wodnej  
(RZGW)**
- 2. Modelowanie stref zagrożenia powodziowego  
– metody twarde**
- 3. Jakość NMT**
- 4. Modelowanie stref zagrożenia powodziowego  
– metody miękkie**
- 5. Ryzyko**
- 6. Aktualnie prowadzone badania AGH**



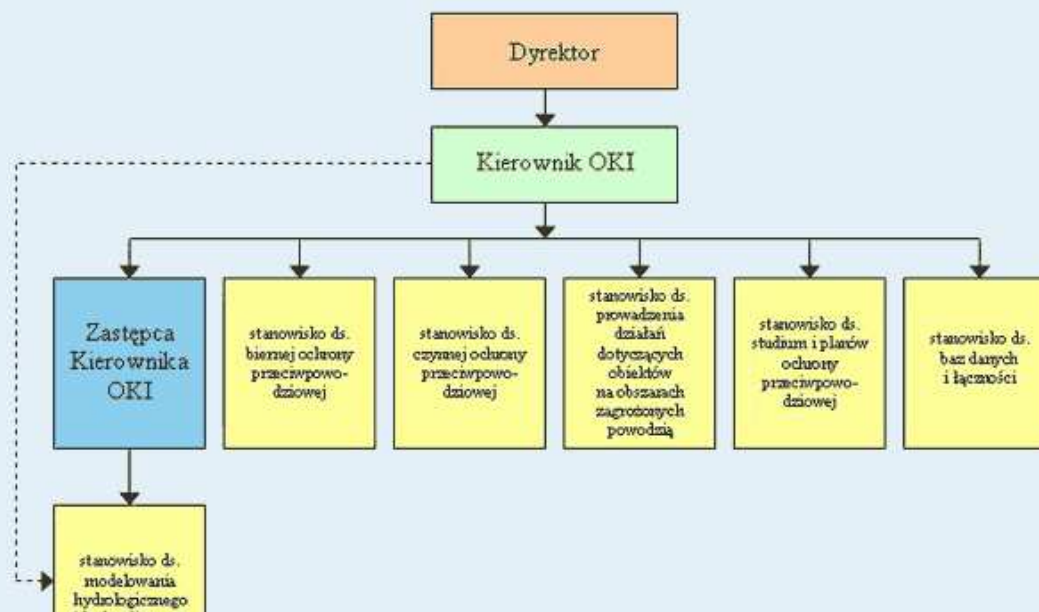
OŚRODEK KOORDYNACYJNO-INFORMACYJNY OCHRONY PRZECIWPOWODZIOWEJ  
REGIONALNY ZARZĄD GOSPODARKI WODNEJ W KRAKOWIE



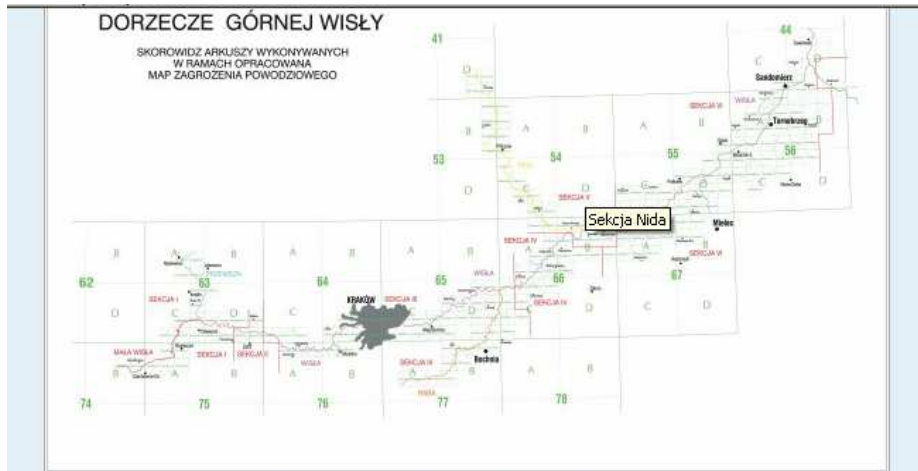
OKI	KIM JESTEŚMY	WAŻNE KONTAKTY	PRACE STUDIALNE	INNA DZIAŁALNOŚĆ OKI - STATYSTYKI	SYTUACJA HYDROLOGICZNA NA OBSZARZE DZIAŁANIA RZGW	POWÓDŹ	SUSZA	EDUKACJA	ANALIZY I SYMULACJE	POMOC
-----	-----------------	-------------------	--------------------	--	--	--------	-------	----------	------------------------	-------

SCHEMAT ORGANIZACYJNY OSRODKA KOORDYNACYJNO-INFORMACYJNEGO

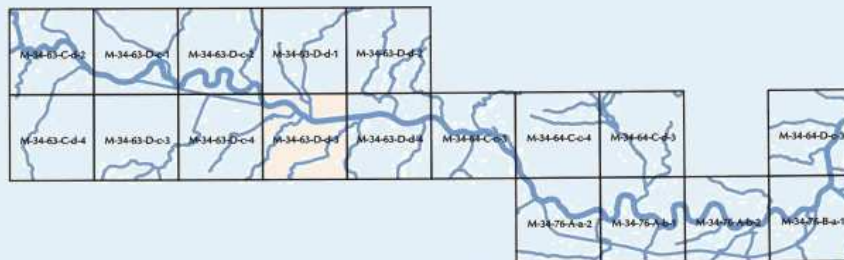
Schemat organizacyjny Ośrodka Koordynacyjno-Informacyjnego wg standardowych praktyk operacyjnych (sop)



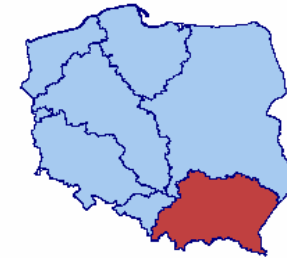
# Mapy zagrożenia powodziowego



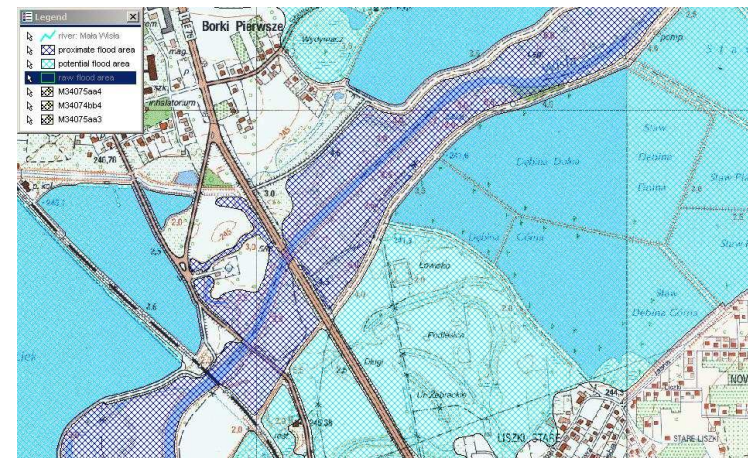
Skorowidz mapy zagrożenia powodziowego [Pokaż](#)



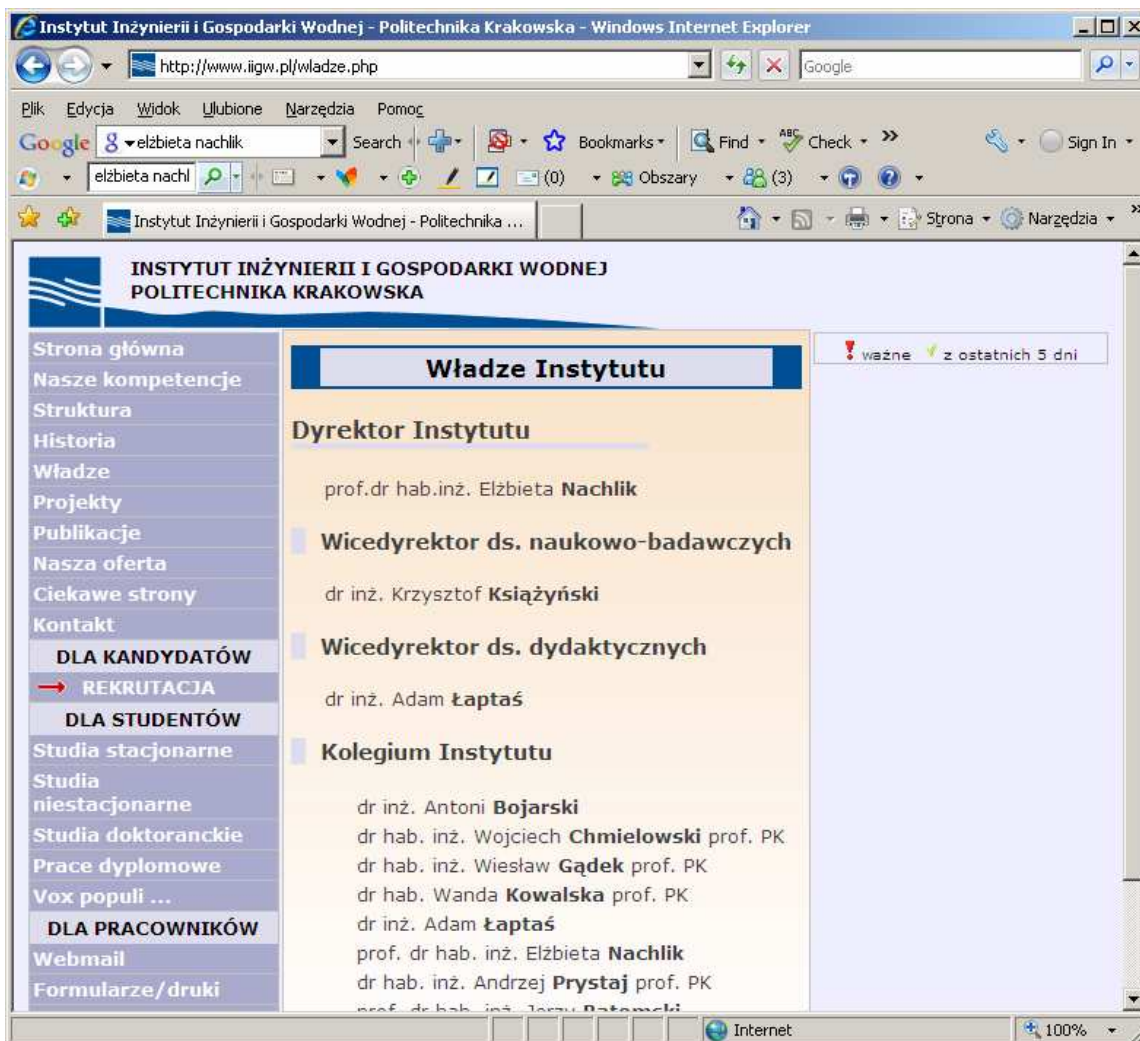
Sektoria "Wisła 1" [Pokaż](#)



Obszary działania Regionalnych  
Zarządów Gospodarki Wodnej



# Modelowanie hydrauliczne, hydrologiczne, stref zagrożenia powodziowego – PK prof. E. Nachlik



The screenshot shows a web browser window displaying the website of the Institute of Engineering and Water Management (IGW) at the Krakow University of Technology. The browser's address bar shows the URL <http://www.igw.pl/wladze.php>. The website header includes the IGW logo and the text "INSTYTUT INŻYNIERII I GOSPODARKI WODNEJ POLITECHNIKA KRAKOWSKA". A navigation menu on the left lists various site sections, with "DLA PRACOWNIKÓW" (For Employees) highlighted. The main content area, titled "Władze Instytutu" (Institute Management), lists the following staff members:

- Dyrektor Instytutu**  
prof.dr hab.inż. Elżbieta **Nachlik**
- Wicedyrektor ds. naukowo-badawczych**  
dr inż. Krzysztof **Książczyński**
- Wicedyrektor ds. dydaktycznych**  
dr inż. Adam **Łaptaś**
- Kolegium Instytutu**  
dr inż. Antoni **Bojarski**  
dr hab. inż. Wojciech **Chmielowski** prof. PK  
dr hab. inż. Wiesław **Gądek** prof. PK  
dr hab. Wanda **Kowalska** prof. PK  
dr inż. Adam **Łaptaś**  
prof. dr hab. inż. Elżbieta **Nachlik**  
dr hab. inż. Andrzej **Prystaj** prof. PK  
prof. dr hab. inż. Jerzy **Dotanowski**

The browser's status bar at the bottom indicates "Internet" and a zoom level of "100%".



## Projekt OKI

Projekt ochrony przeciwpowodziowej:

- Budowa nowych zbiorników, nowych obwałowań itp.,
- Budowa nowych stacji pomiarowych, radarów itp.,
- edukacja, szkolenia,
- i utworzenie OKI

Głównym celem projektu: OKI było utworzenie centrów OKI



## Projekt OKI

### Główne zadania OKI :

- Utworzenie struktury organizacyjnej OKI,
- Dostarczenie, kalibracja i wdrożenie modelu hydraulicznego, włączywszy GIS,
- Generowanie stref zagrożenia powodziowego.

### Punkty krytyczne podczas tworzenia systemu IT:

- Dostarczenie aplikacji,
- Import danych Klienta to bazy danych,
- Utworzenie strony internetowej OKI.





## Aplikacja IT-GIS OKI

### Założenia:

- Efektywne zarządzanie zintegrowanymi danymi przestrzennymi,
- Prace wspomagające modele symulacyjne,
- Wspomaganie tworzenia stref zagrożenia powodziowego,
- Wyświetlanie danych, przeprowadzanie analiz i prezentacja wyników,
- Generowanie raportów na podstawie wyników analiz.



## **Aplikacja IT-GIS OKI**

### Technologia:

- Oracle Enterprise Edition ver. 9.2,
- GeoMedia Professional, GeoMedia Grid, GeoMedia Terrain, GeoMedia Image, version 5.1.
- Hydraulic model MIKE11



## Application IT-GIS OKI

### Zawartość danych:

- Dane przestrzenne:
  - NMT,
  - mapy topograficzne w formacie rastrowym,
  - dane wektorowe sieci hydrologicznej,
  - przekroje poprzeczne,
  - dane wektorowe stref zagrożenia powodziowego,
- Dane hydrotechniczne o następujących obiektach:
  - zbiornikach,
  - mostach,
  - kanałach,
  - jazach

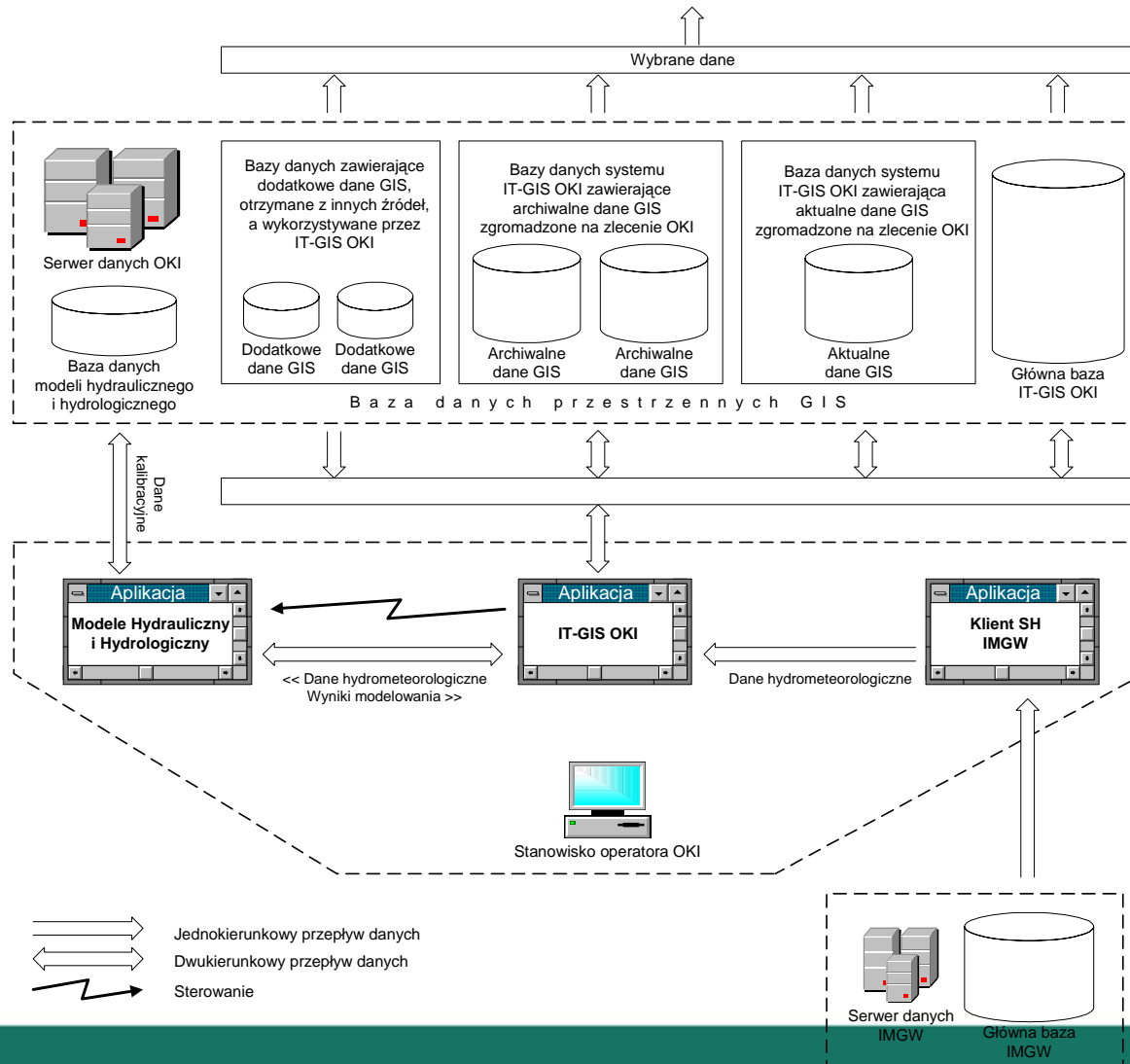
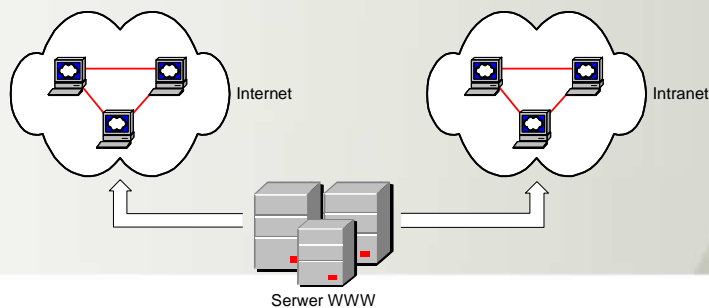


## Aplikacja IT-GIS OKI

### Zawartość danych cd.:

- Dane hydrometeorologiczne:
  - pomiary, pomiary historyczne, prognozy,
  - meldunki lodowe,
  - dane ze zbiorników,
- Dane hydrauliczne:
  - import danych i wyników modeli hydraulicznych,
  - dane o przepływach,
  - krzywe konsumcyjne,
- Dane dodatkowe: zdjęcia, dokumentacja opisowa, instrukcje, tabele, dane administracyjne.







## Zbieranie, ocena i aktualizacja informacji i obszarach zagrożonych powodzią

Zbieranie danych: danych pomiarowych o różnych obiektach hydrotechnicznych

Przykład importu danych pomiarowych z wodowskazów Poziom wody i poziom alarmowy

The screenshot shows a software window titled "Dane pomiarowe" with a table of measurement data. The table has columns for "Rzeka", "Nazwa", "Kod", "Stan alarmowy [cm]", "Stan ostrzegawczy [cm]", "Stan wody [cm]", and "Poziom wody [m.n.p.m]". The data is as follows:

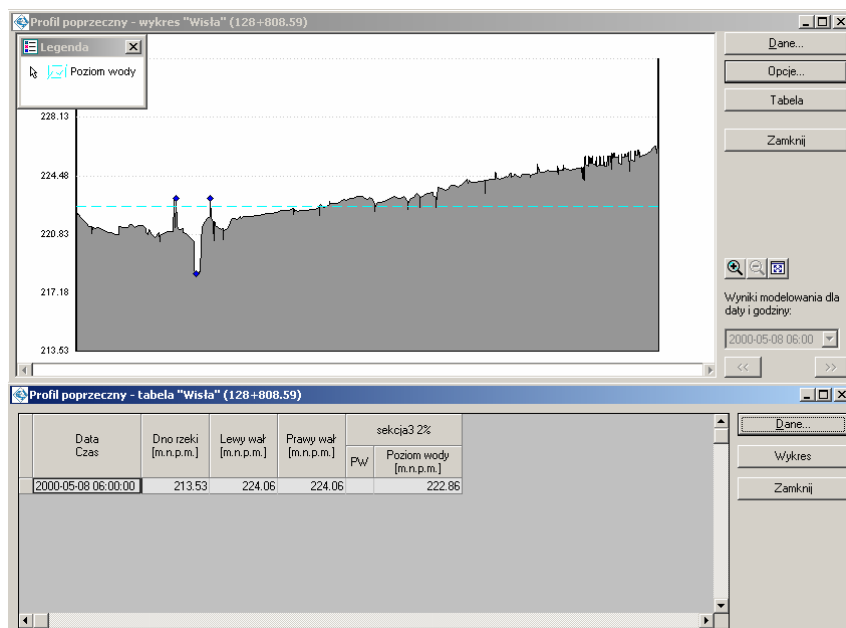
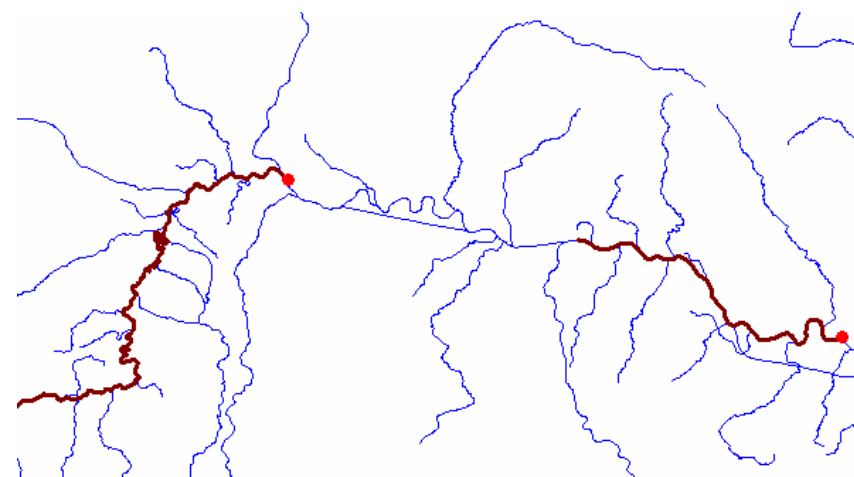
Rzeka	Nazwa	Kod	Stan alarmowy [cm]	Stan ostrzegawczy [cm]	Stan wody [cm]	Poziom wody [m.n.p.m]
Niedziczanka	Niedzica	149200120	260.00	200.00	232	497.98
Białka	Trybsz 2	149200110			231	
Białka	Łysa Polana	149200100	240.00	200.00	224	967.81
Biały Dunajec	Szaflary	149200020	280.00	210.00	246	638.91
Poroniec	Poronin	149200010			252	
Cicha Woda	Zakopane Harenda	149190380			206	
Wielki Rogoźnik	Ludźmierz	149190390			212	
Lepietnica	Ludźmierz	149190360			232	
Kirowa Woda	Kościelisko-Kiry	149190300	180.00	140.00	231	923.08
Nida	Pińczów	150200080	300.00	240.00	224	185.72
Nida	Brzegi	150200030			246	207.66
Nida	Mniszek	150200010	280.00	240.00	252	220.24

At the bottom of the window, it shows "Dane wprowadzone: 15-04-2005, 14:04 przez: OKI".

# Zbieranie, ocena i aktualizacja informacji i obszarach zagrożonych powodzią

Ocena: różne rodzaje analiz

Przykład przekrojów z przekroczeniem stanów alarmowych



Przykład przekrojów i formie tabularycznej i w postaci wykresu



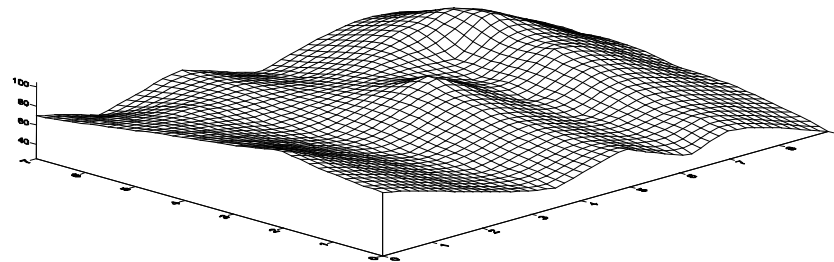
## Agenda

1. Ośrodki Koordynacyjno-Informacyjne (OKI)  
Regionalne Zarządy Gospodarki Wodnej  
(RZGW)
2. **Modelowanie stref zagrożenia powodziowego  
– metody twarde**
3. Jakość NMT
4. Modelowanie stref zagrożenia powodziowego  
– metody miękkie
5. Ryzyko
6. Aktualnie prowadzone badania AGH

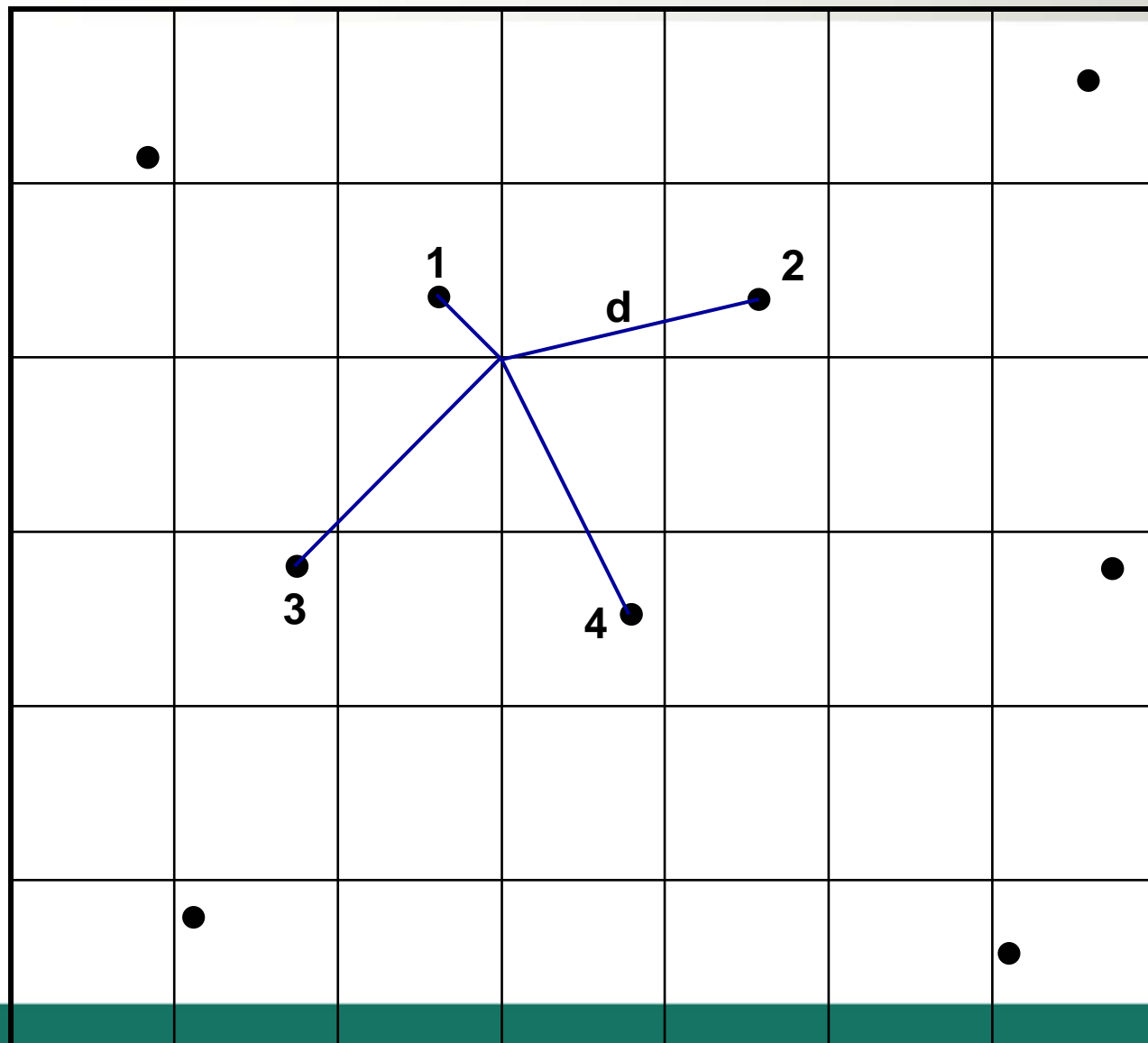


# Numeryczny Model Terenu

- Prof. Gaździcki:  
„Numeryczna reprezentacja powierzchni terenowej utworzonej zazwyczaj poprzez zbiór odpowiednio wybranych punktów (X,Y,Z) tej powierzchni, definiujących ją z odpowiednią do potrzeb dokładnością oraz algorytmów umożliwiającymi odtworzenie jej kształtu w określonym obszarze i realizację innych zadań”
- Funkcja  $Z = h(x,y)$ , która punktom (x,y) w przyjętym układzie współrzędnych terenowych, przyporządkowuje ich wysokości

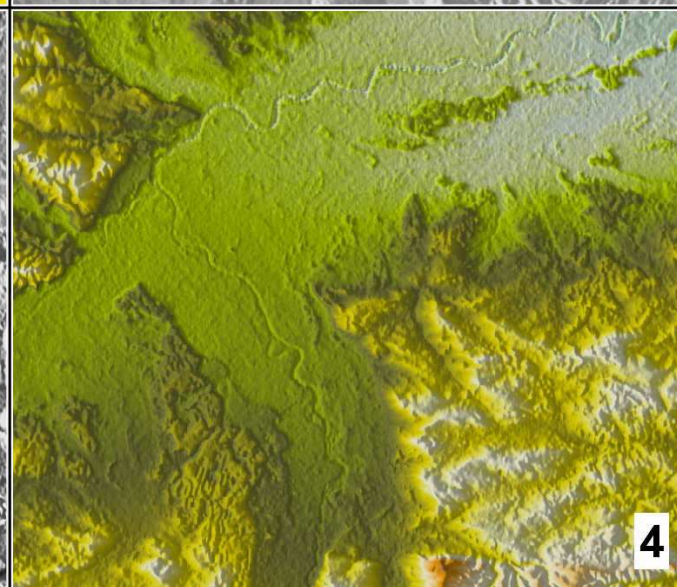
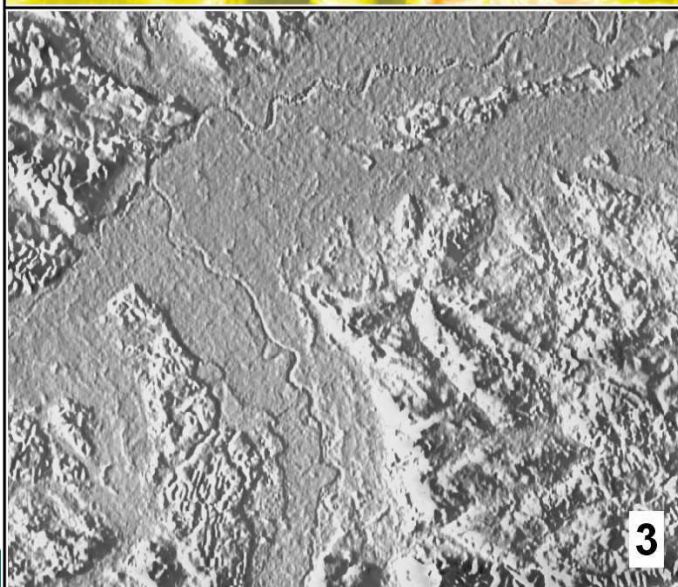
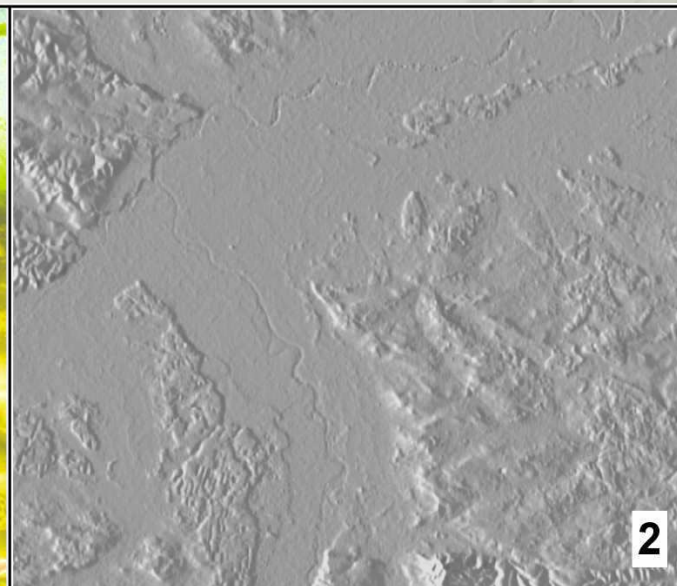
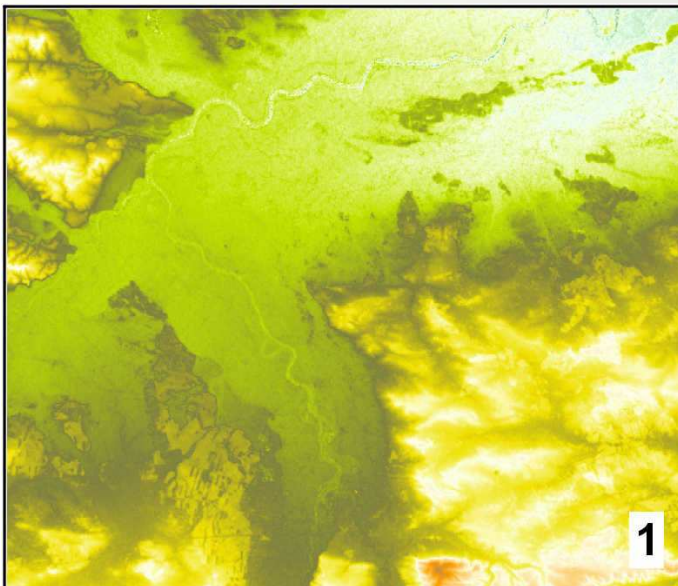


## Metoda średniej ważonej (odwrotnej odległości)



$$Z = \frac{\sum \left( Z_i * \frac{1}{d_i} \right)}{\sum \frac{1}{d_i}}$$

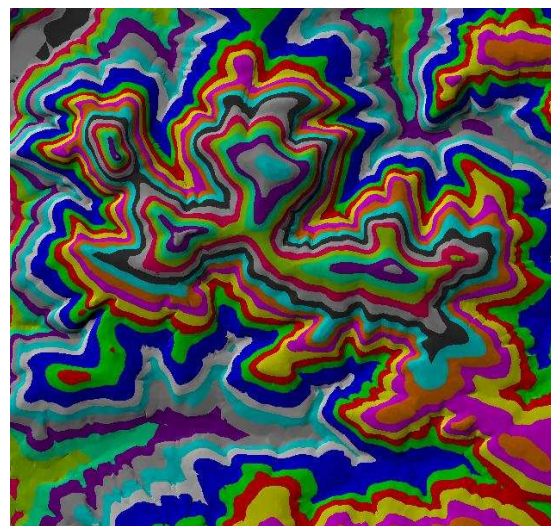
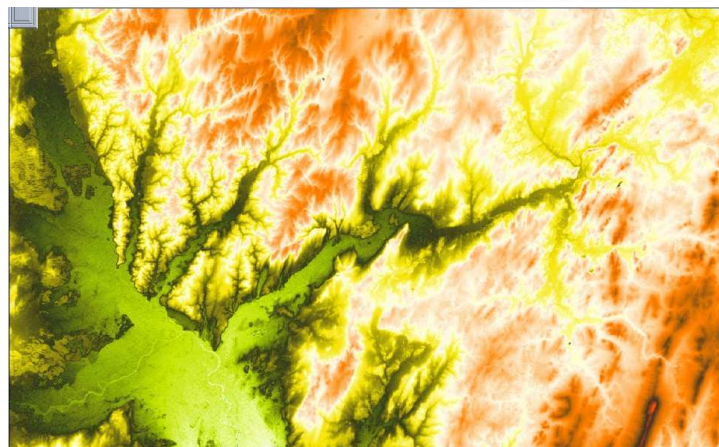
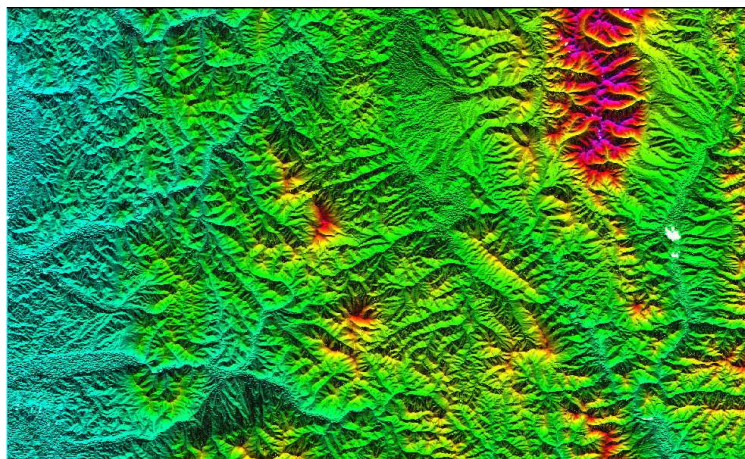
# Wizualizacja NMT



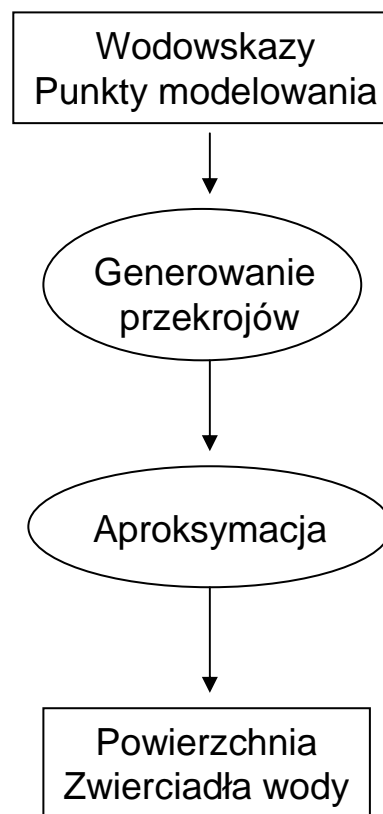
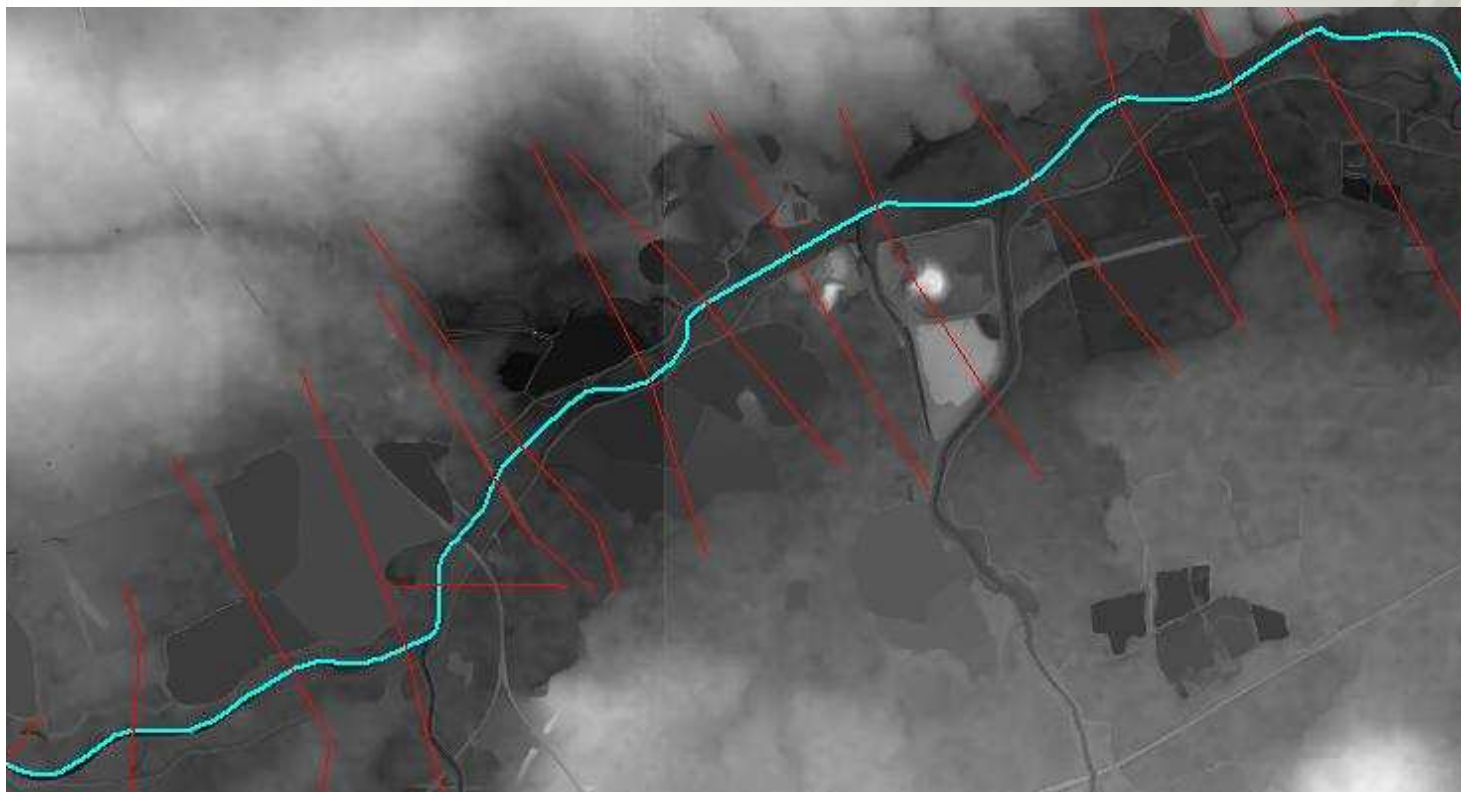




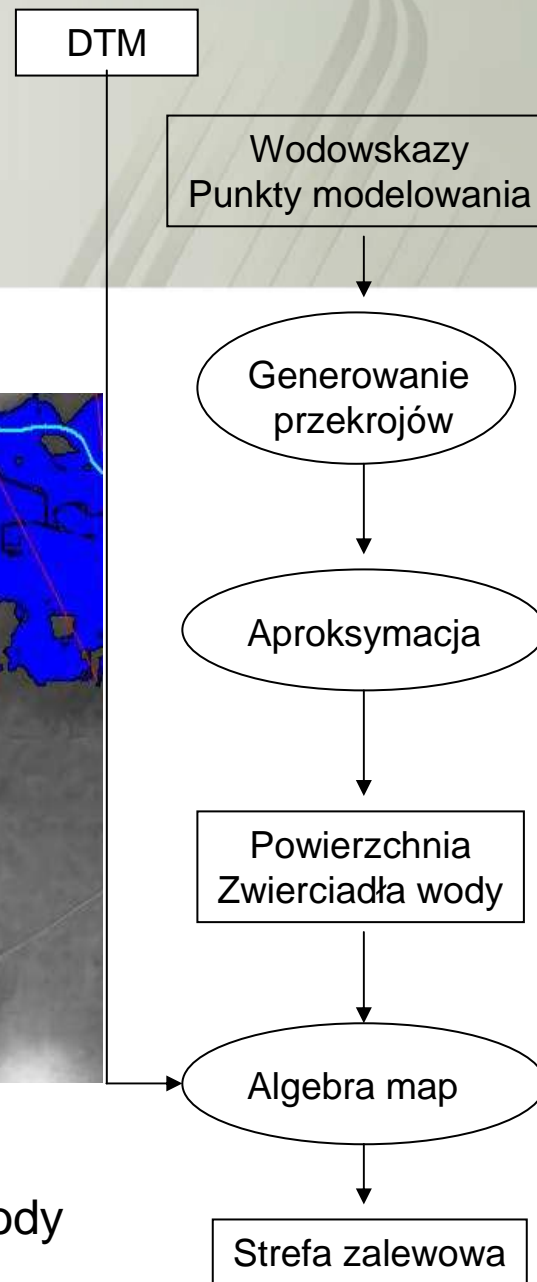
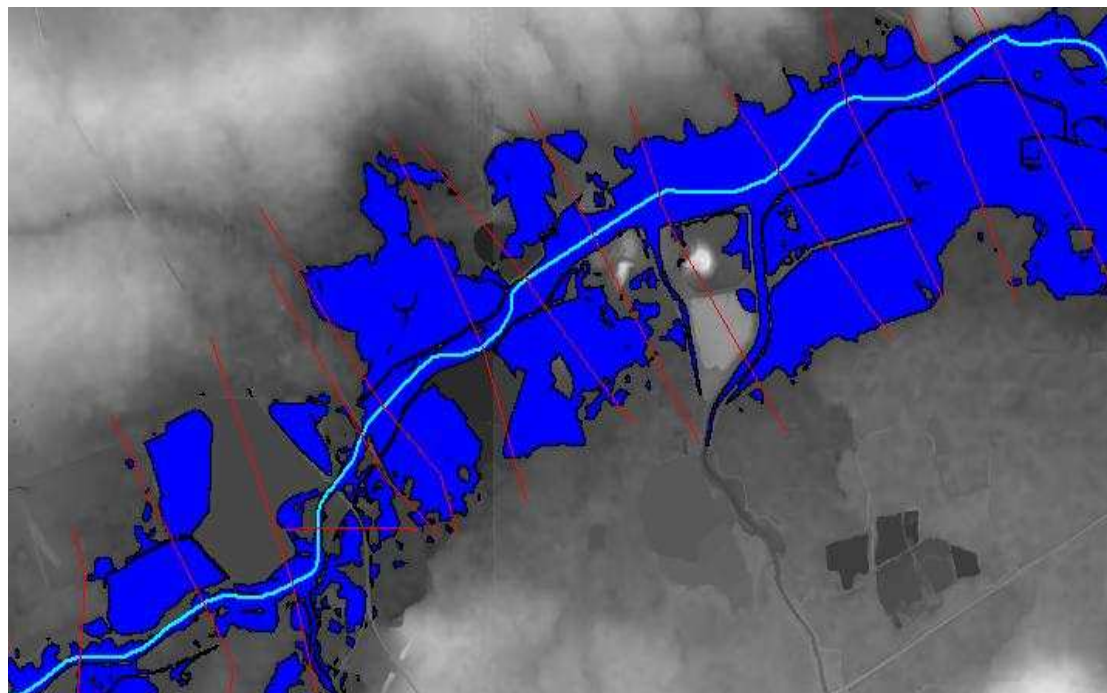
# Wizualizacja NMT







Automatyczne generowanie tzw. izolinii  
Aproksymacja powierzchni zwierciadła wody

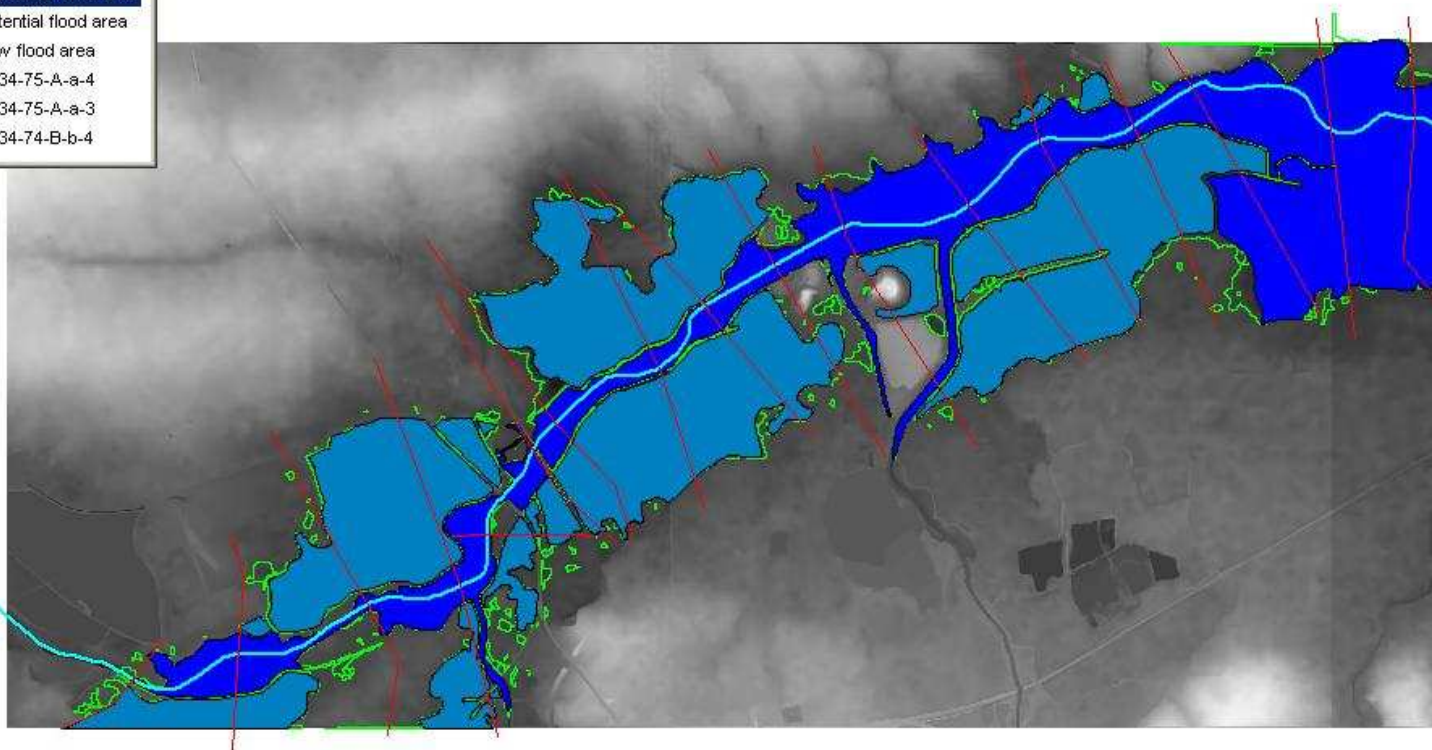


Automatyczne generowanie strefy zalewowej  
Powierzchnia terenu (DTM) – Powierzchnia zwierciadła wody

# Wyznaczanie obszarów narażonych na ryzyko powodzi



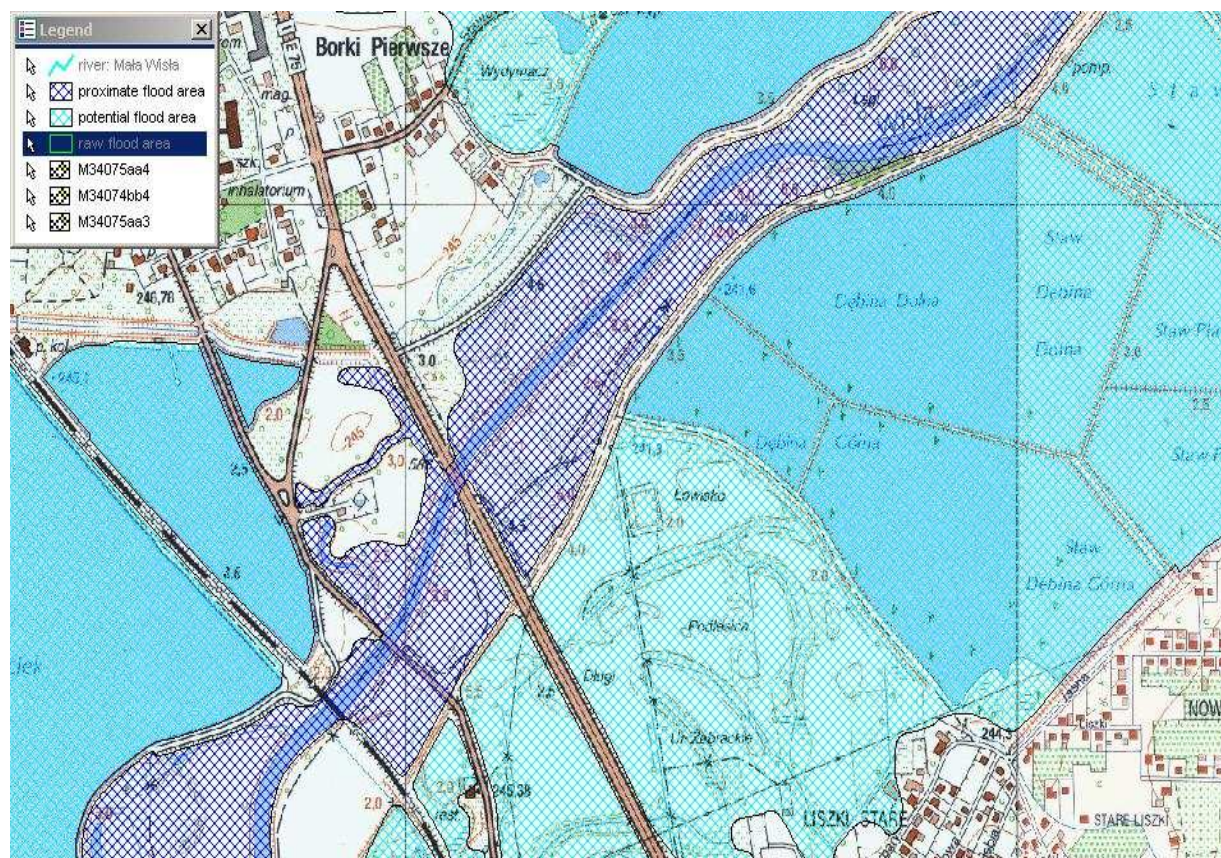
Przykład  
zmodyfikowanej  
strefy zalewowej  
(strefa  
prawdopodobna  
i potencjalna)





# Wyznaczanie obszarów narażonych na ryzyko powodzi

Przykład strefy zalewowej na tle mapy topograficznej





## Agenda

1. Ośrodki Koordynacyjno-Informacyjne (OKI)  
Regionalne Zarządy Gospodarki Wodnej  
(RZGW)
2. Modelowanie stref zagrożenia powodziowego  
– metody twarde
3. **Jakość NMT**
4. Modelowanie stref zagrożenia powodziowego  
– metody miękkie
5. Ryzyko
6. Aktualnie prowadzone badania AGH





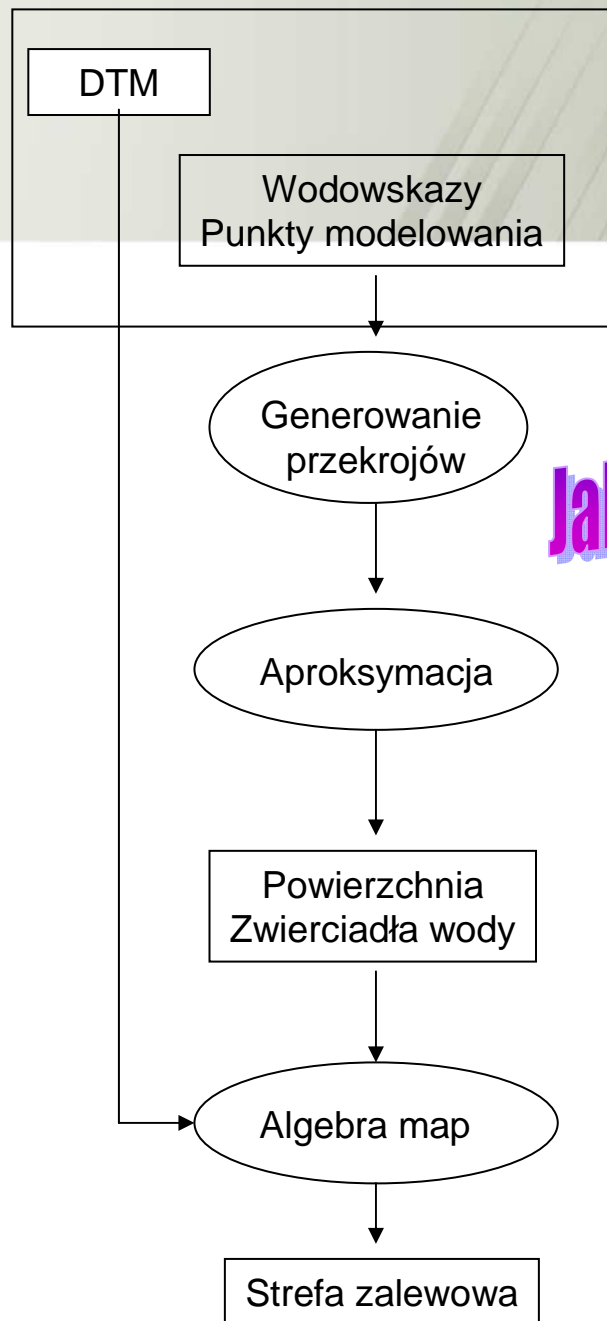
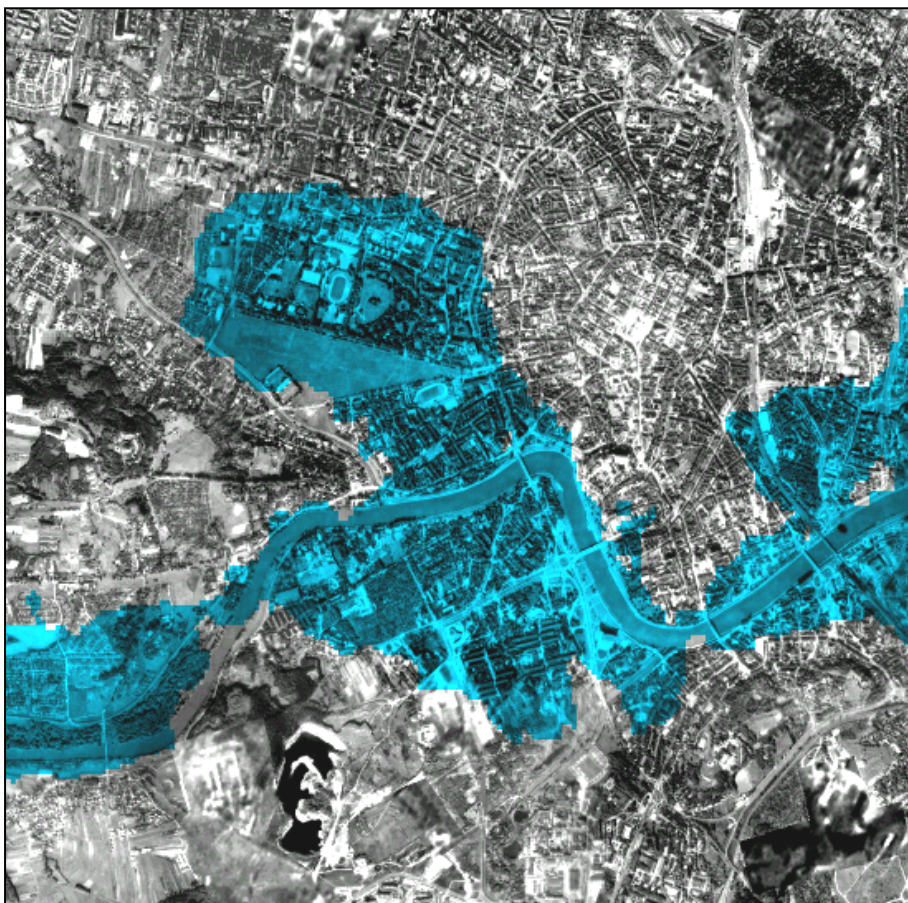
# GIS JAKO NARZĘDZIE WSPOMAGANIA DECYZJI

1. Podejście deskryptywne
2. Podejście normatywne - decyzja podejmowana w warunkach
  - pewności
  - ryzyka
  - niepewności





# Modelowanie stref zalewowych metodą twardą

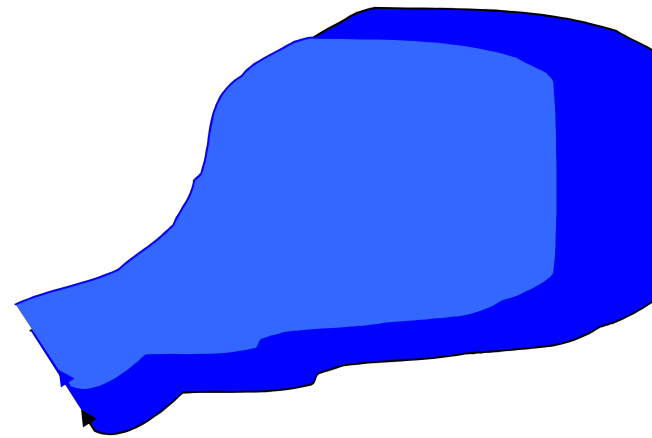


**Jakość danych**

- Jakość danych:
- Błąd DTM
  - Błąd prognozy

$Mz = 0$

1. Podejście deskryptywne
2. Podejście normatywne - decyzja podejmowana w warunkach
  - pewności
  - ryzyka
  - niepewności





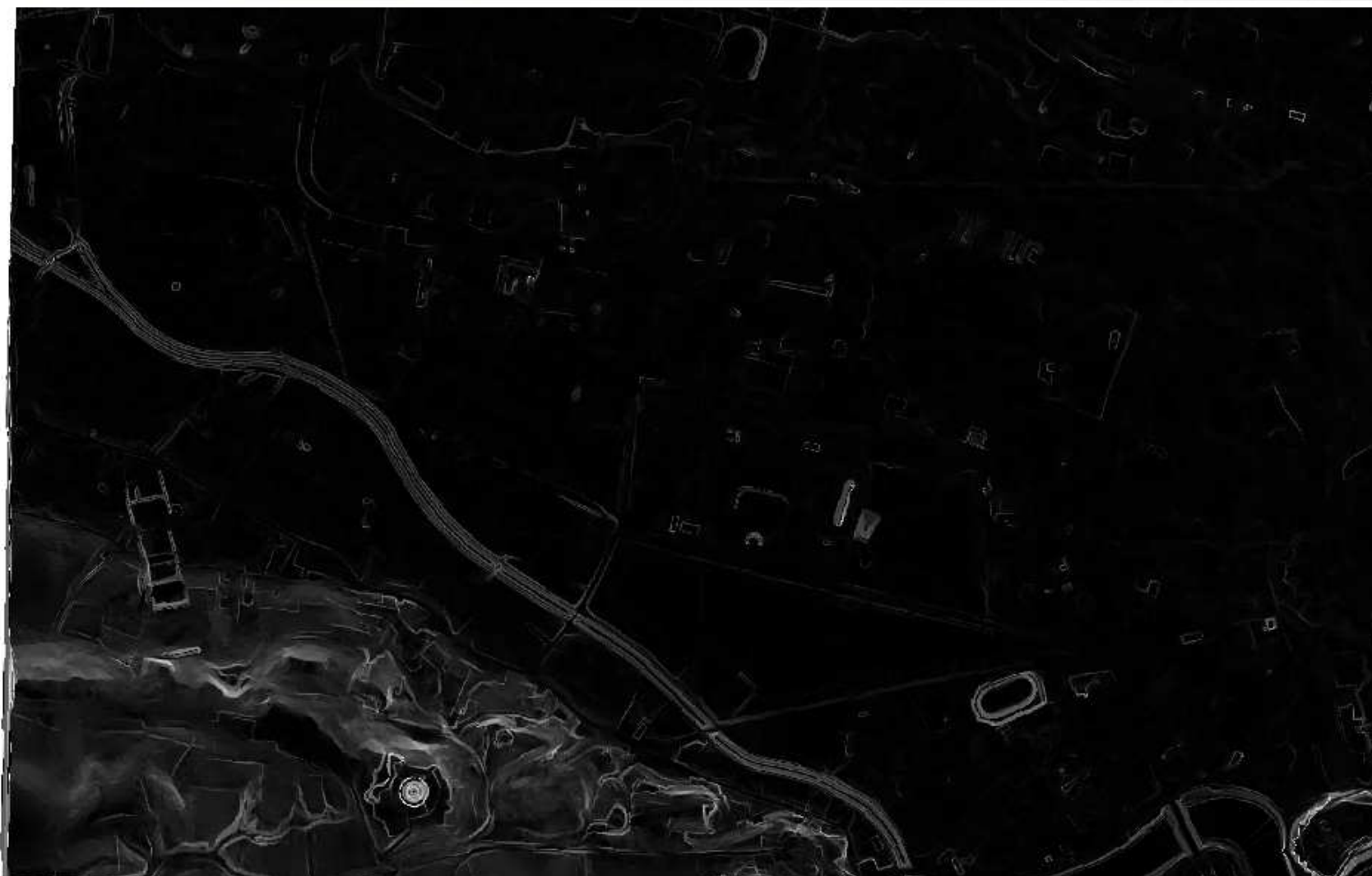
## NMT specyfikacja

<http://oki.krakow.rzgw.gov.pl>

- Numeryczny Model Terenu (NMT)
  - Zdjęcia lotnicze 1: 26000
  - Mapy topograficzne 1: 10000
  - Pomiar GPS
- Dokładność
  - dla powierzchni potencjalnie zagrożonych zalaniem średni błąd jest mniejszy niż 0,8m
  - dla pozostałych powierzchni, spadek do 6°, średni błąd jest mniejszy niż 1,0 m
  - dla pozostałych powierzchni, spadek większy niż 6°, średni błąd jest mniejszy niż 2,5m,
  - dla wałów średni błąd jest mniejszy niż 0,2 m

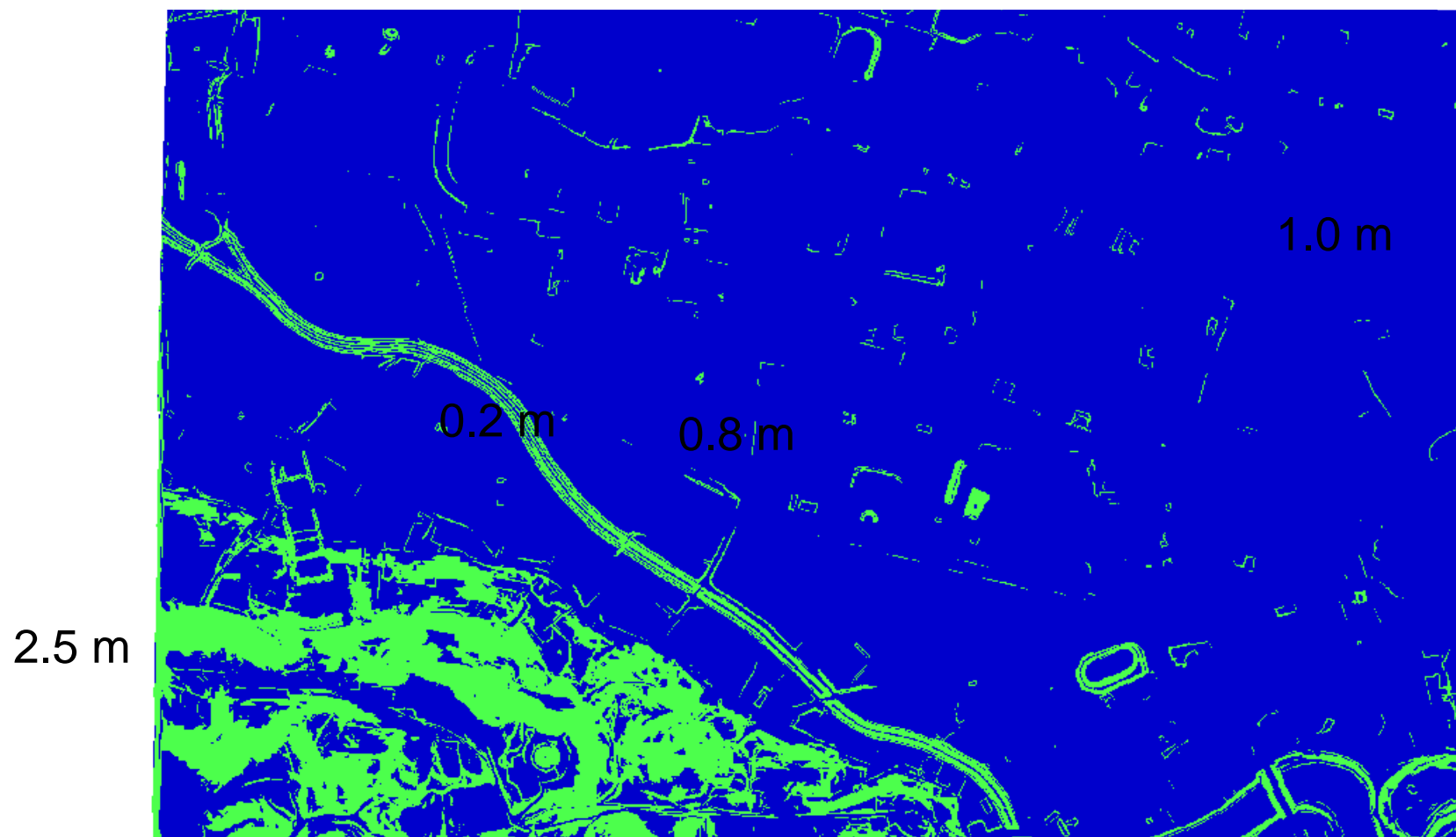


## Mapy pochodne NMT - nachylenia





## NMT strefy o nominalnie różnej dokładności

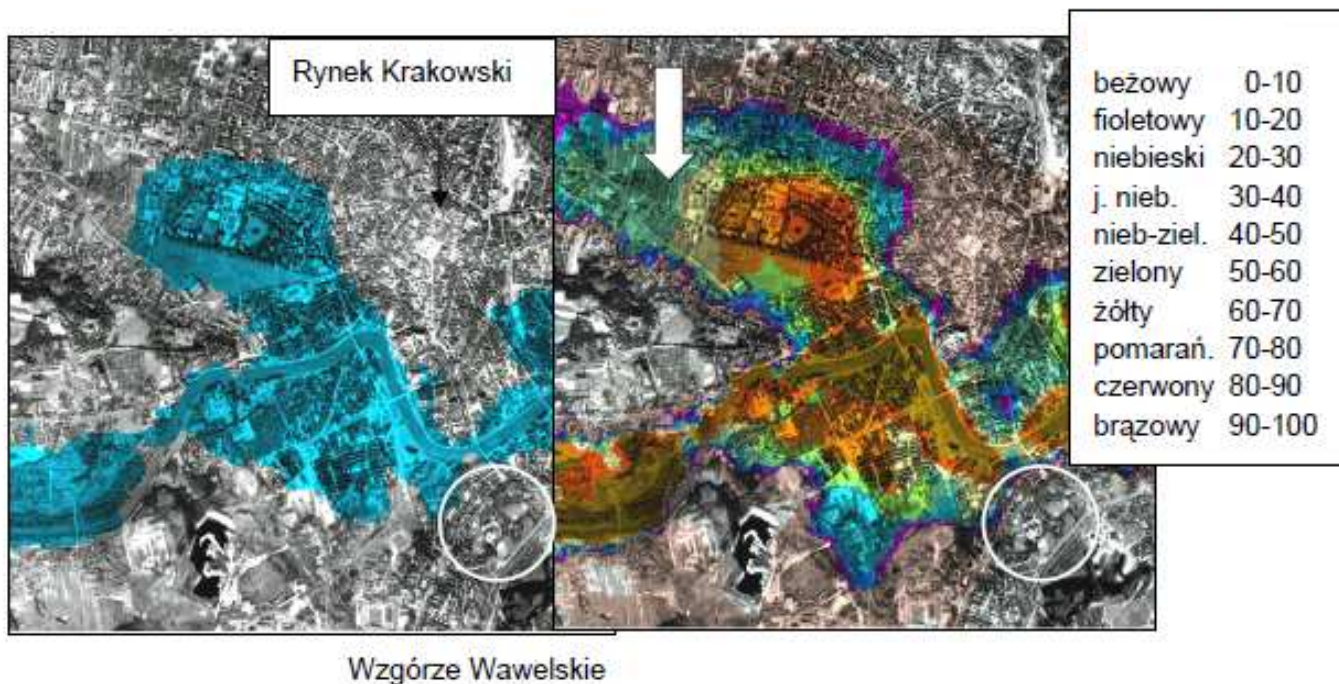




## Agenda

1. Ośrodki Koordynacyjno-Informacyjne (OKI)  
Regionalne Zarządy Gospodarki Wodnej  
(RZGW)
2. Modelowanie stref zagrożenia powodziowego  
– metody twarde
3. Jakość NMT
4. **Modelowanie stref zagrożenia powodziowego  
– metody miękkie**
5. Ryzyko
6. Aktualnie prowadzone badania AGH

## Modelowanie stref zalewowych metodą miękka

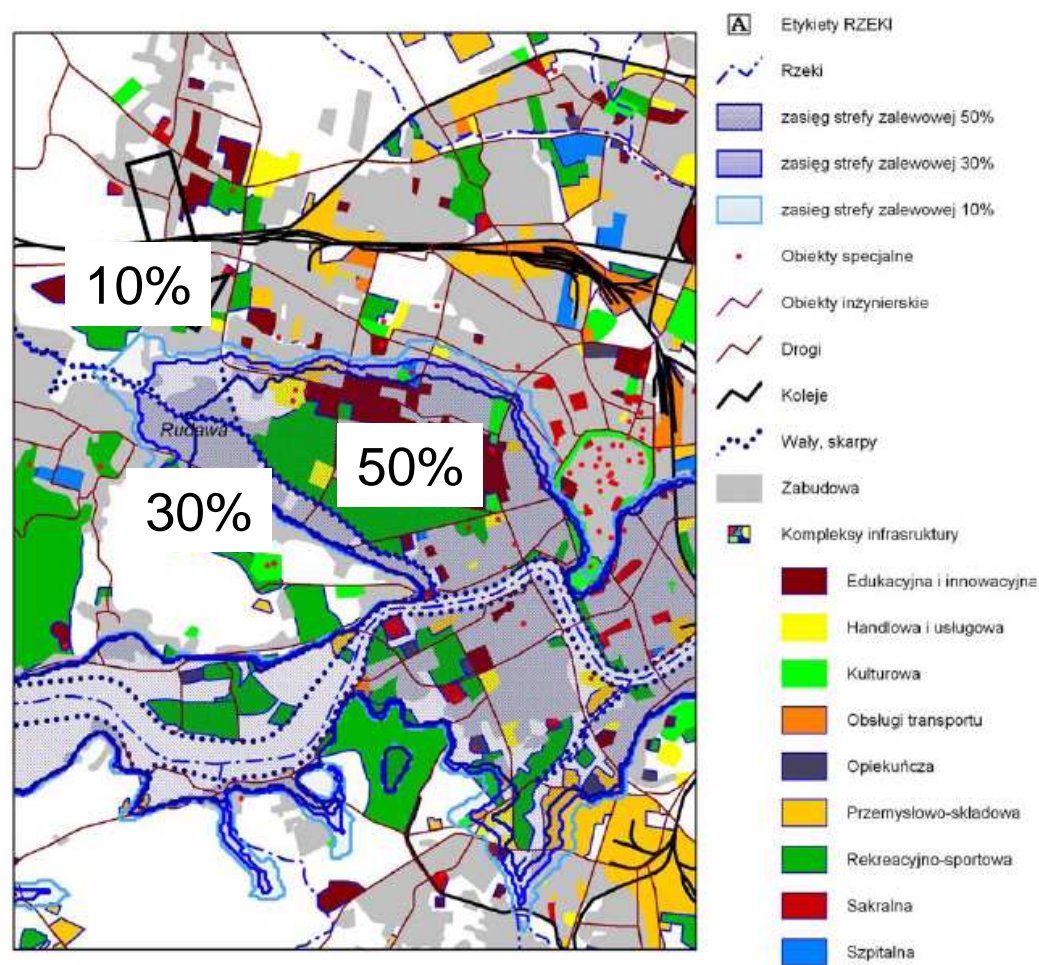


Jakość danych:

- Błąd NMT
- Błąd prognozy

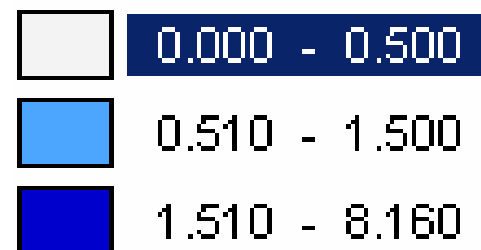
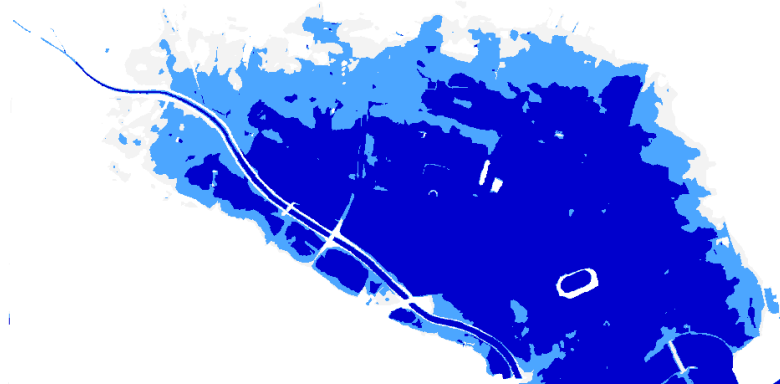
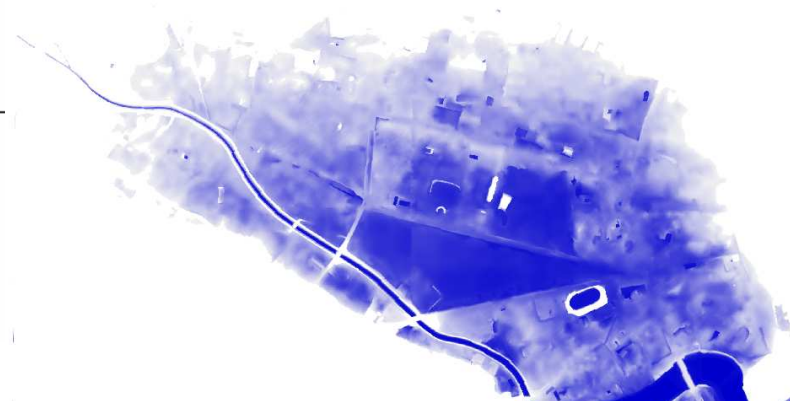
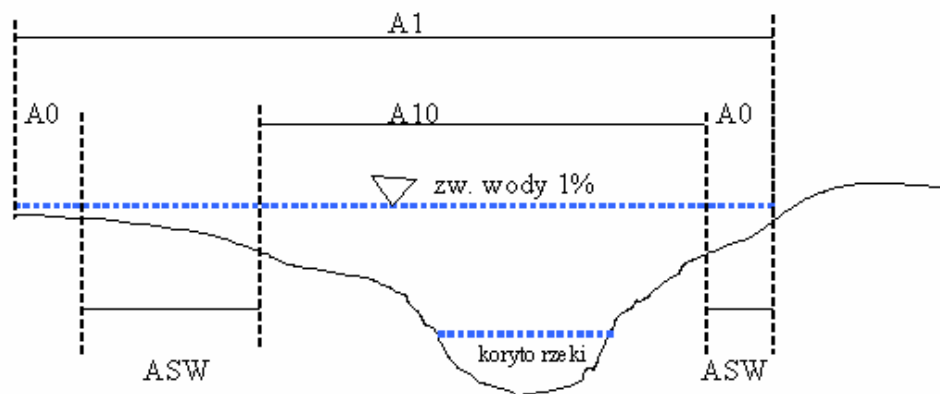
$$m_h = \pm 1 \text{ m}$$

# Zasięgi stref w zależności od prawdopodobieństwa

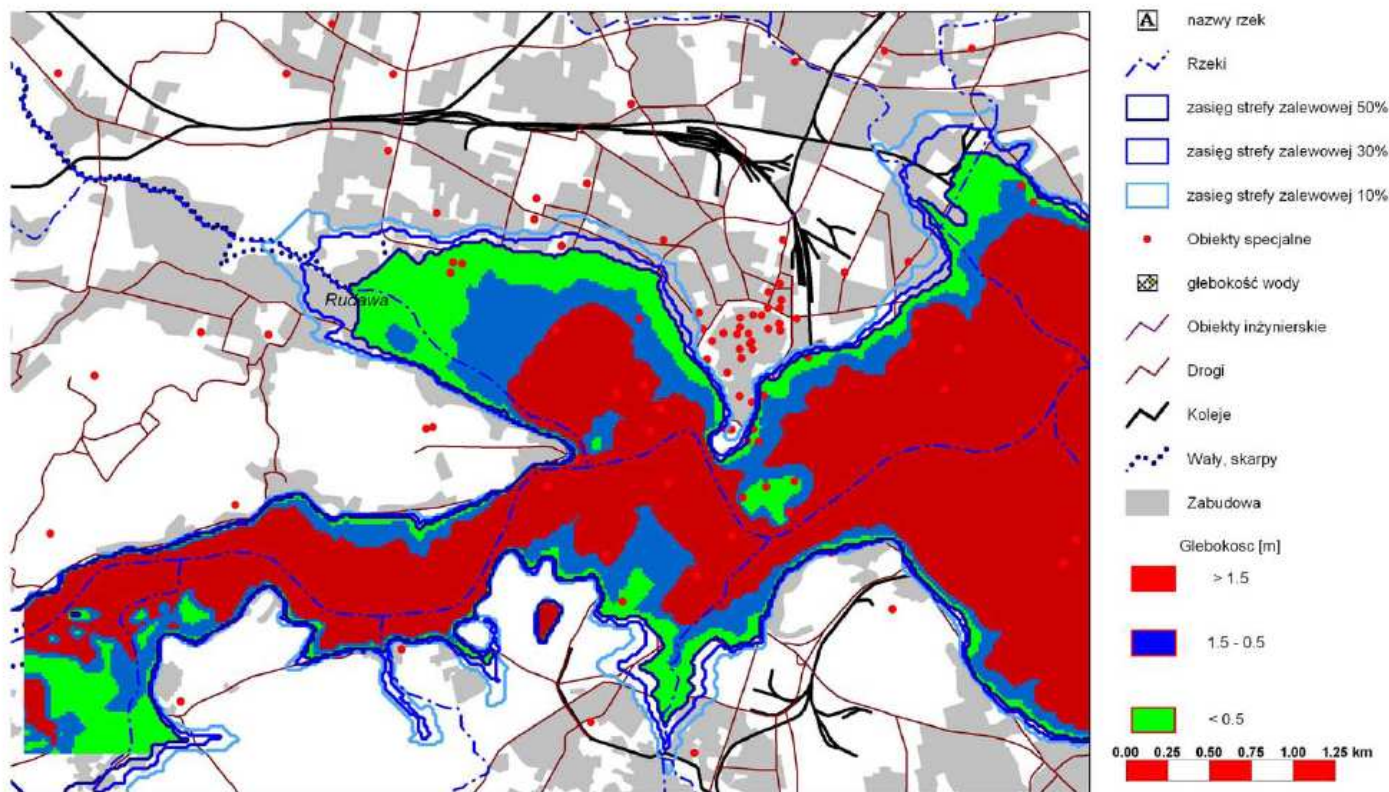


Rys. 22. Zasięg stref zalewowych wyznaczonych metodą miękką dla poziomu 206 m z pozostawieniem 50 (kolor granatowy), 30 (kolor niebieski) i 10 (kolor jasno niebieski) procentowego ryzyka.

# Problem głębokości wody

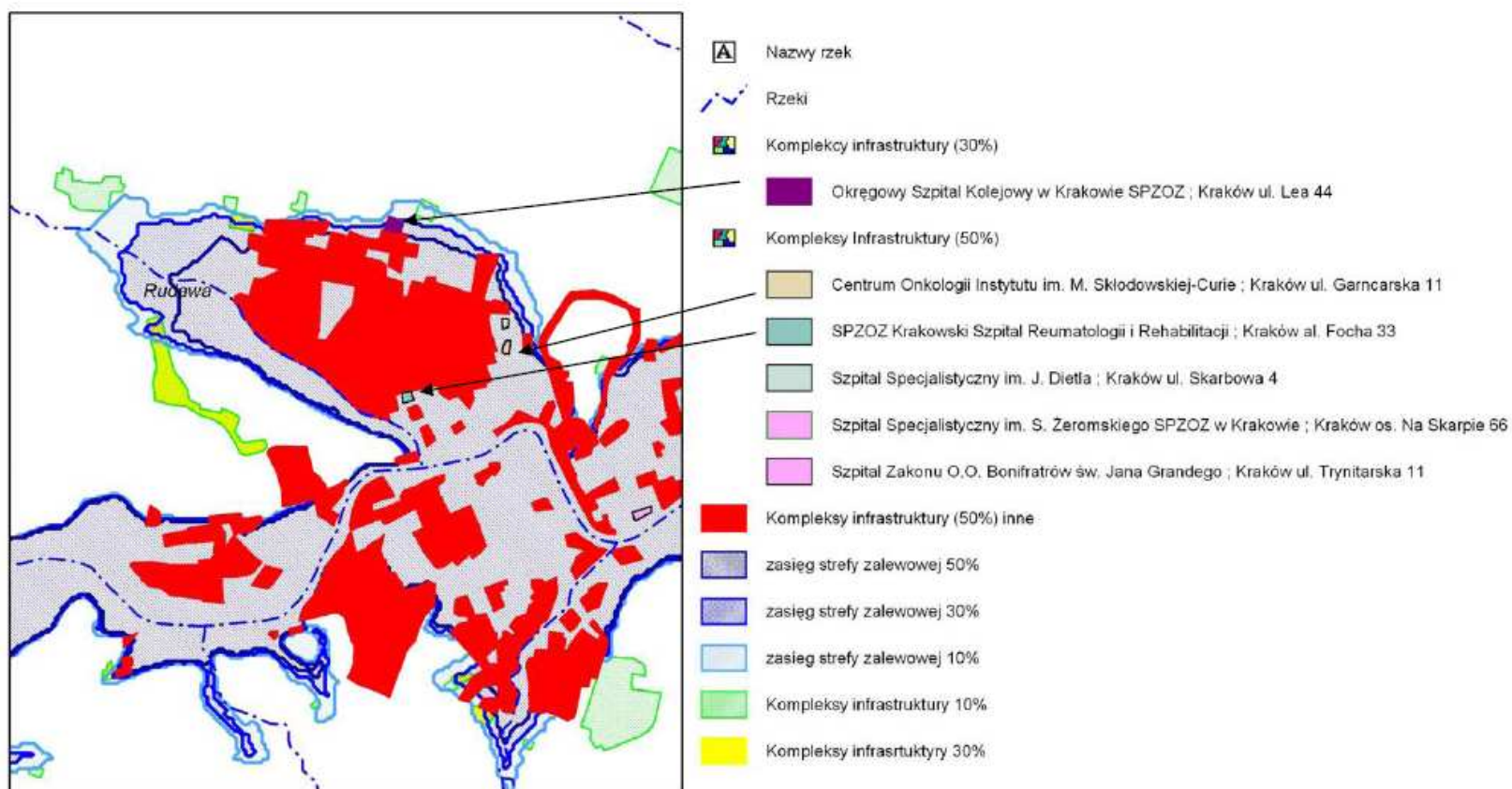






Rys. 21. Strefy głębokości wody w stosunku do poziomu 206 m

# Analiza obiektów infrastruktury przestrzennej



Rys. 23. Analiza kompleksów infrastruktury w zależności od ryzyka



## Agenda

1. Ośrodki Koordynacyjno-Informacyjne (OKI)  
Regionalne Zarządy Gospodarki Wodnej  
(RZGW)
2. Modelowanie stref zagrożenia powodziowego  
– metody twarde
3. Jakość NMT
4. Modelowanie stref zagrożenia powodziowego  
– metody miękkie
5. **Ryzyko**
6. Aktualnie prowadzone badania AGH



## Ryzyko

- „**Ryzyko**: przedsięwzięcie, którego wynik jest nieznany, zależny od przypadku; możliwość, że coś się uda lub nie uda”, [słownik języka polskiego, <http://sjp.pwn.pl/>].
- **Ryzyko** jest rozumiane jako potencjalna szkoda wywołana określonym działaniem (zjawiskiem), przy czym zwykle określa się prawdopodobieństwo wystąpienia niepożądanego zjawiska. Z pojęciem ryzyka związane są następujące terminy: prawdopodobieństwo, wartość oczekiwana, zysk, strata, poziom ryzyka, scenariusz. Scenariusz (prawdopodobny scenariusz) łączy ze sobą w jedną całość: ryzyko, stratę i zysk na pewnym poziomie prawdopodobieństwa, <http://encyclopedia.worldsearch.com>]
- **Ryzyko** - poziom starty wywołanej określonym działaniem (Ron Dembo koniec lat 90)



# Ryzyko

**R = S P C**

- R ryzyko
- S scenariusz
- P prawdopodobieństwo zajścia zdarzenia
- C miara skutków wywołanych przez scenariusz (S)

**Jakość danych**

ISO/TC 211, CEN TC287, DIGEST, OEEP,  
ISPRS, FIG

ISO/DIS 19113

- Kompletność
- Spójność logiczna
- Dokładność przestrzenna
- Dokładność czasowa
- Dokładność tematyczna



# Ryzyko związane z błędem DTM

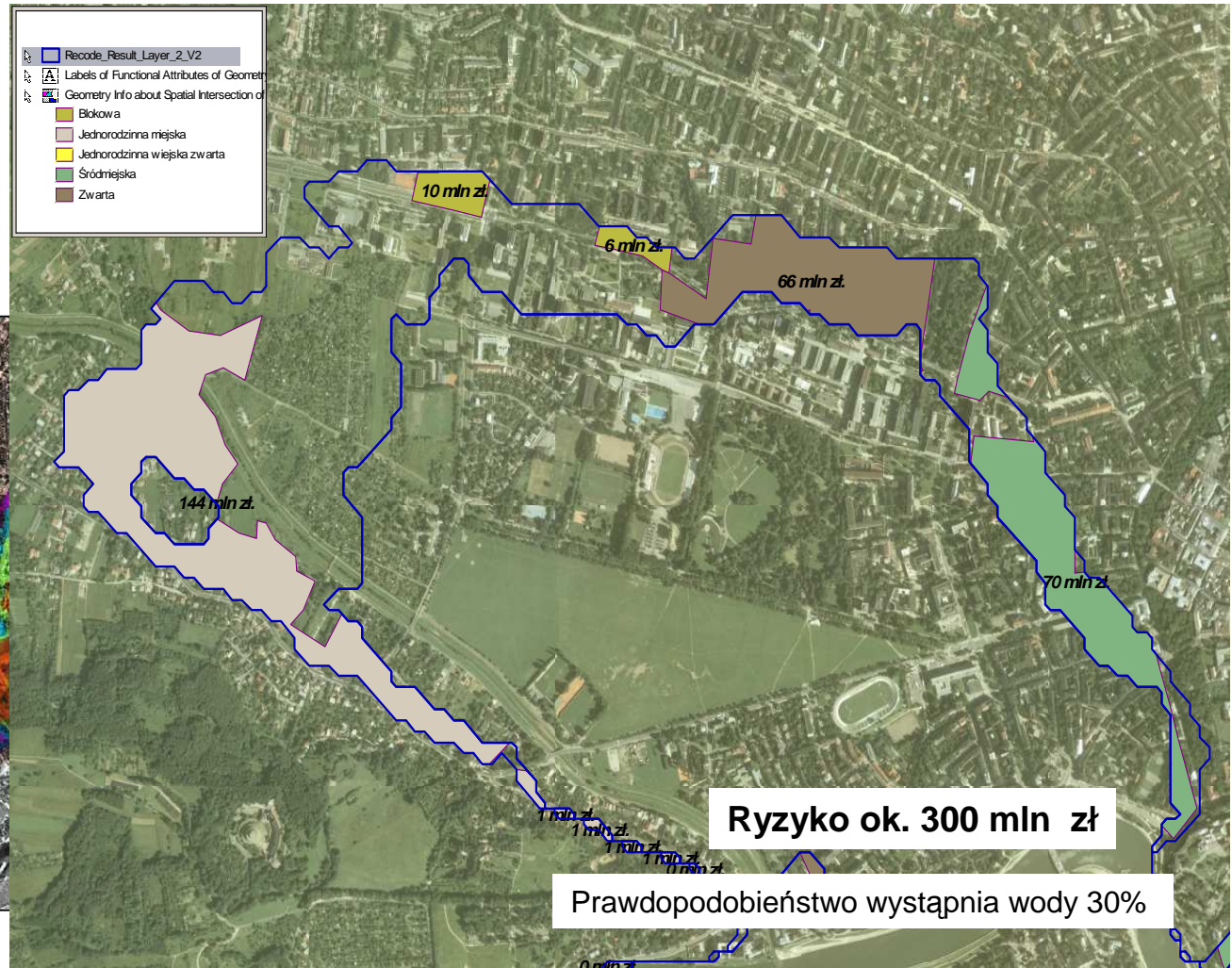
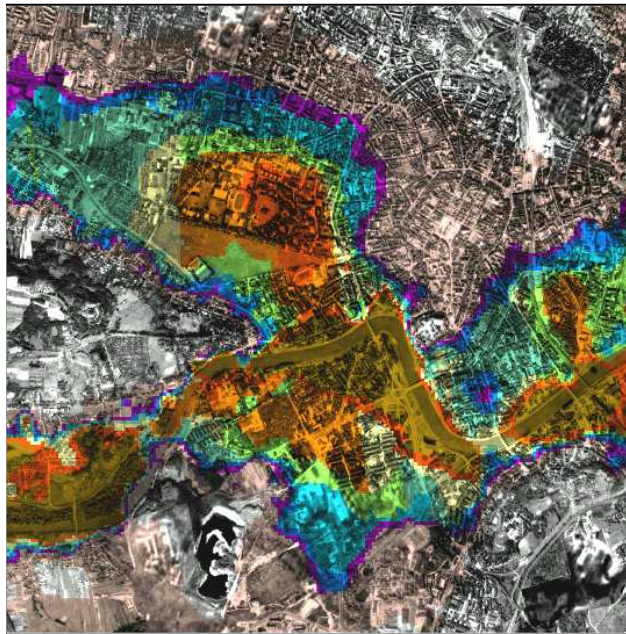
R = S P C

R – ryzyko

S - scenariusz

P – prawdopodobieństwo

C - koszty





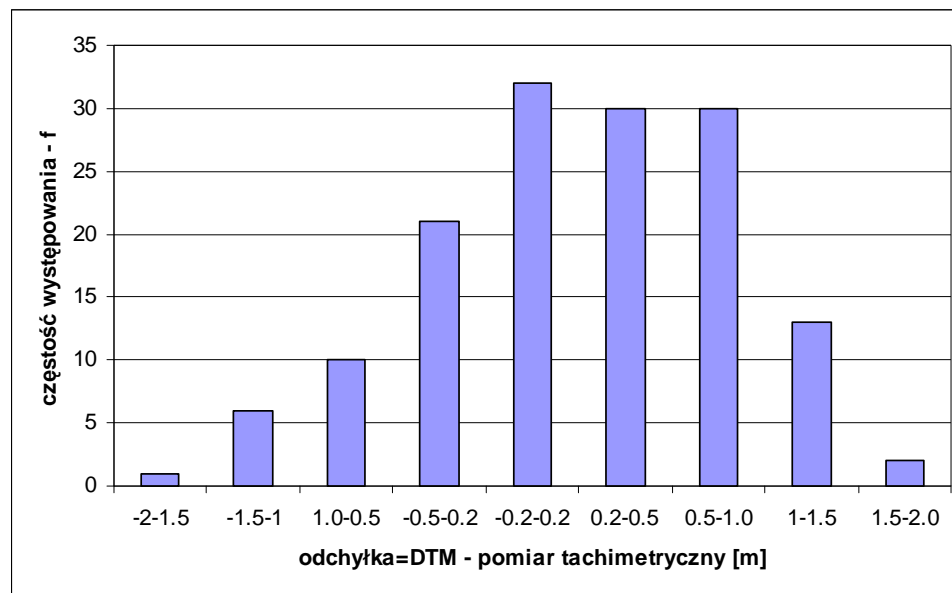
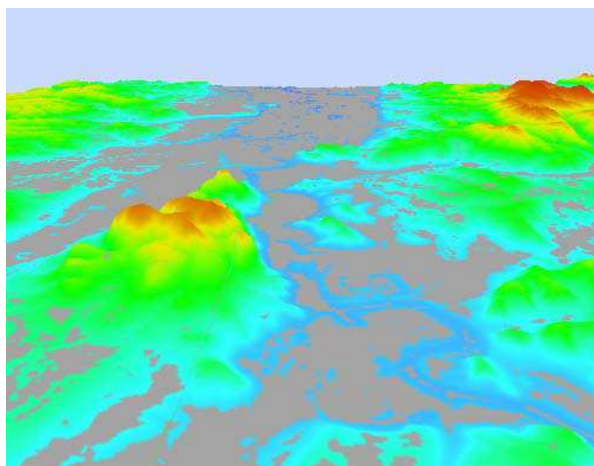
**Jakość numerycznych modeli terenu w generowaniu ryzyka  
powodziowego**  
**Beata Hejmanowska**

1. Aplikacja IT - GIS OKI
2. Modelowanie stref zagrożenia powodziowego – metody twarde
3. Jakość NMT
4. Modelowanie stref zagrożenia powodziowego – metody miękkie
5. Ryzyko
6. **Aktualnie prowadzone badania AGH**

# Jakość NMT - błąd

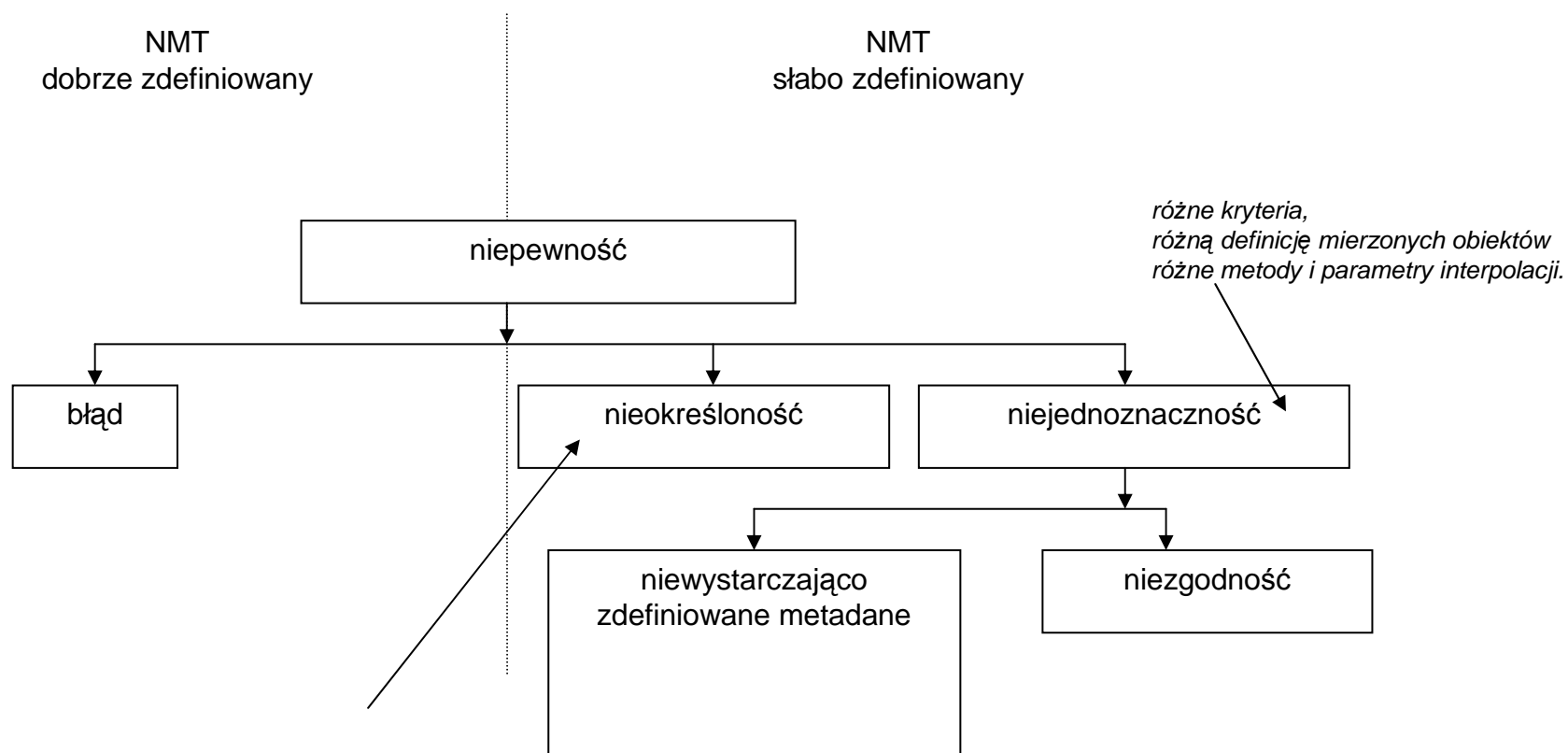
$$m_h = \sqrt{\frac{\sum (z_{NMT} - z_{REF})^2}{n}}$$

$$\bar{m}_h = \frac{\sum z_{NMT} - z_{REF}}{n}$$



Średnia = 0.19 m  
 $m_h$  95% = +/-1.28 m

# Jakość Numerycznych Modeli Terenu



*nieznane są przyjęte podczas pomiaru kryteria  
nie wiemy czy założone kryteria zostały podczas pomiaru spełnione*

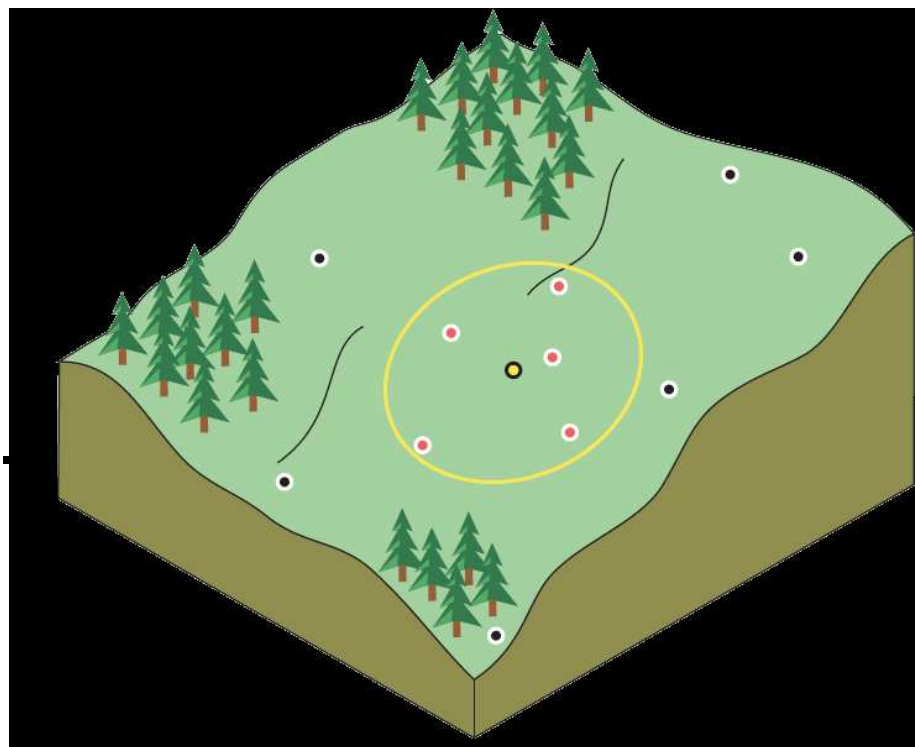
(za Fisher 1999, 2003; zmodyfikowano)



## Geograficzne Prawo Toblera (1970)

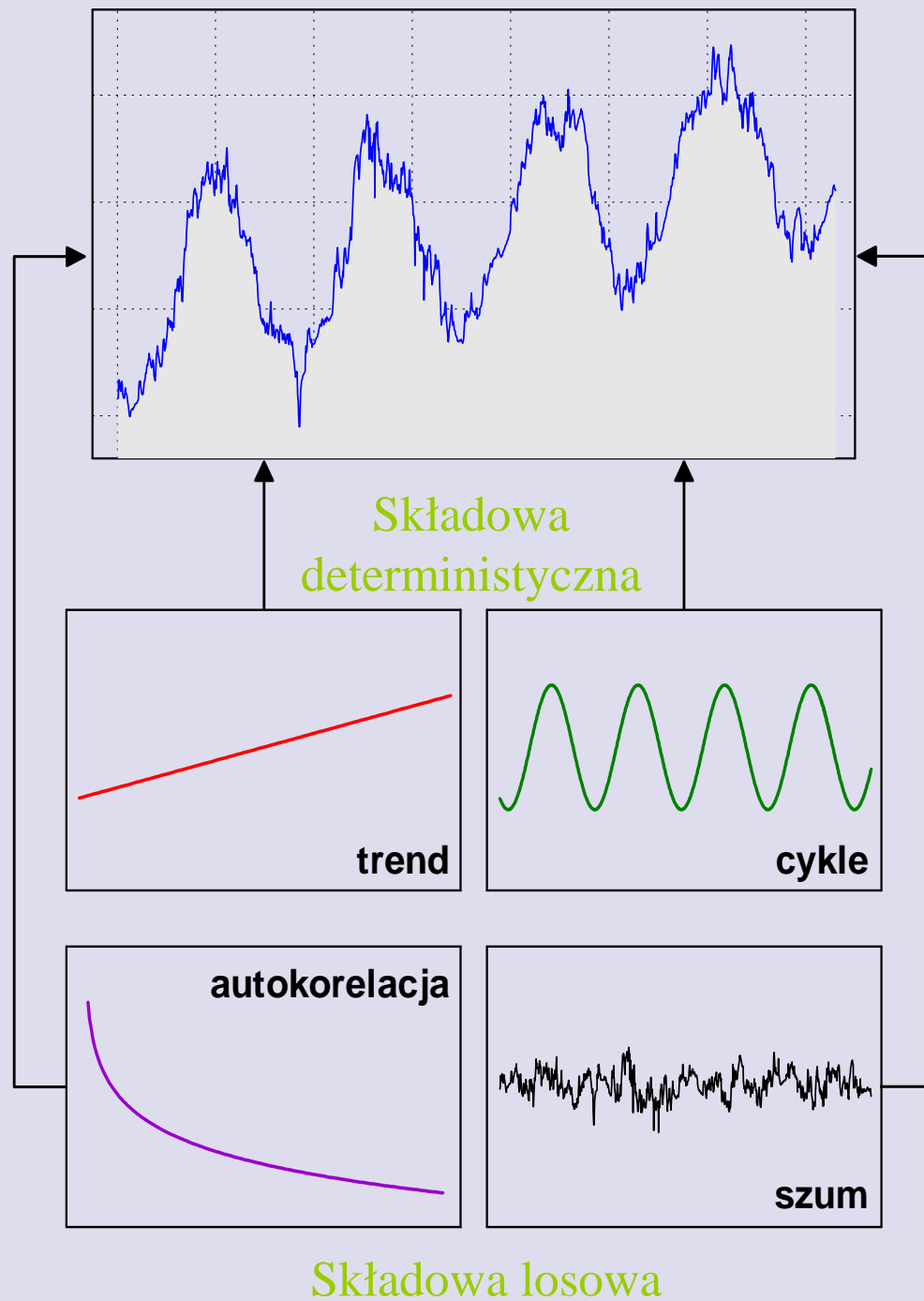
Obiekty, które w przestrzeni i/lub czasie ze sobą sąsiadują są zazwyczaj bardziej podobne od znajdujących się od siebie dalej.

Konsekwencja – próbkowanie (obserwacje/ pomiary) w przestrzeni i w czasie może nie mieć charakteru losowego. Znajomość współrzędnych obiektu/punktu zbadanego może pomagać w bardziej precyzyjnym szacowaniu cech leżących w pobliżu obiektów niezbadanych.



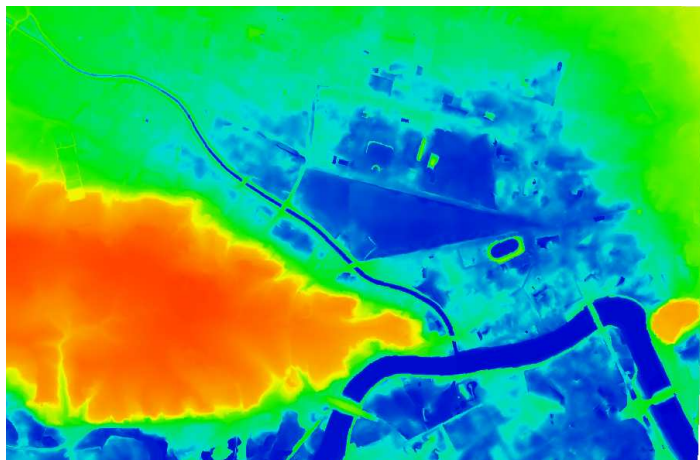


# Dekompozycja serii pomiarowej

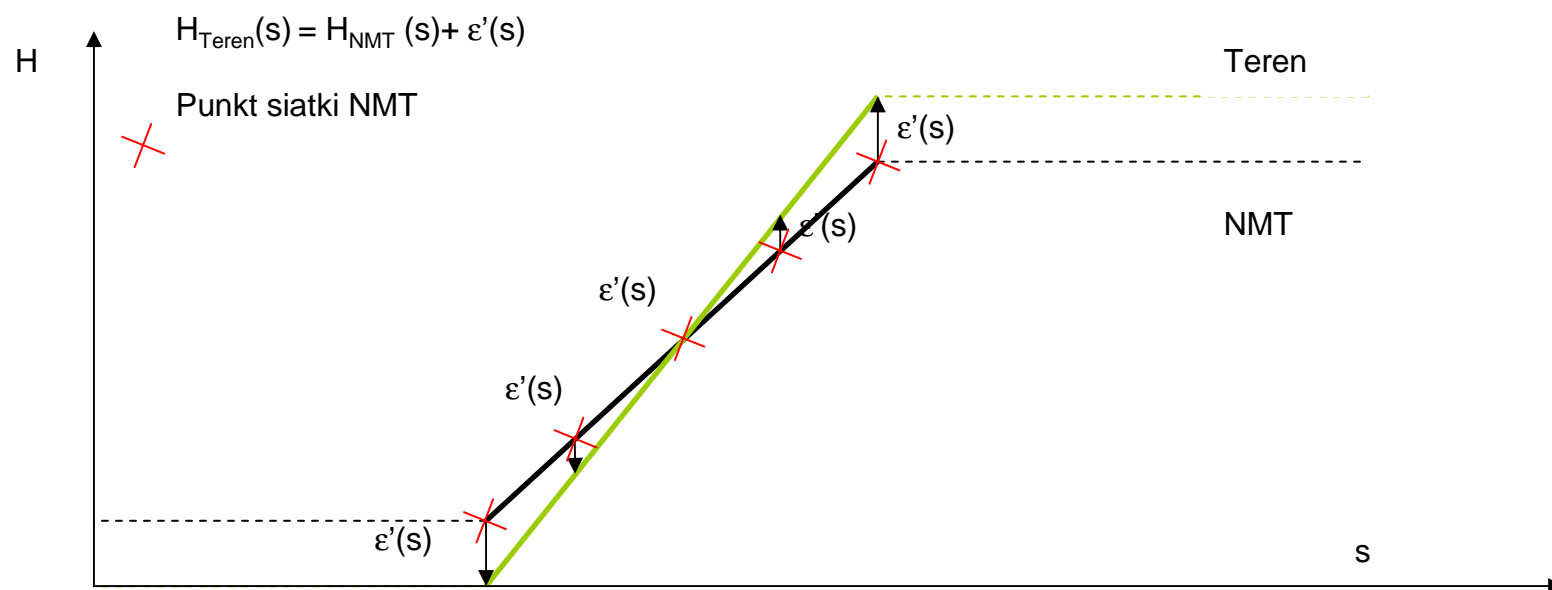




# Błąd NMT .....



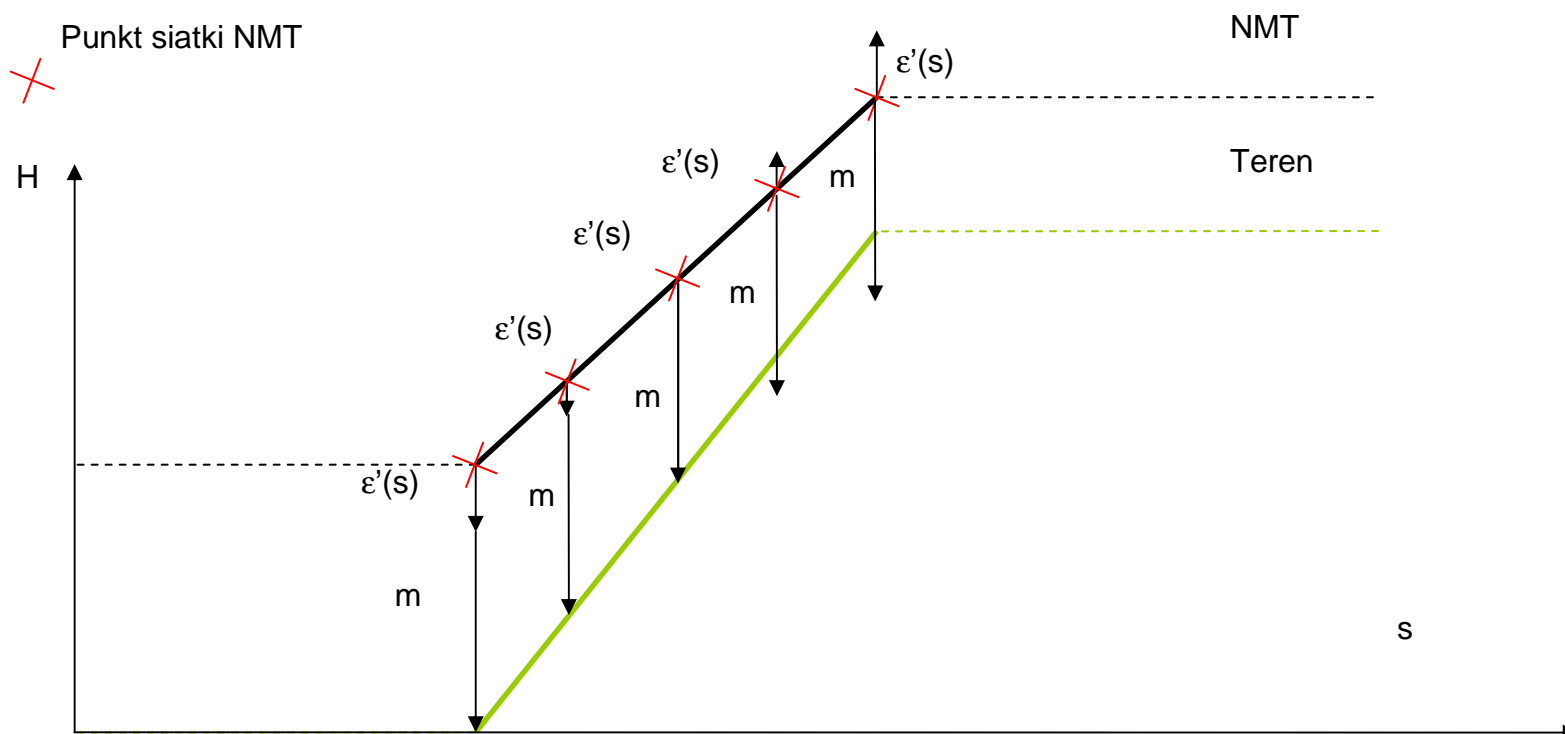
# Błąd przypadkowy



# Błąd przypadkowy i systematyczny

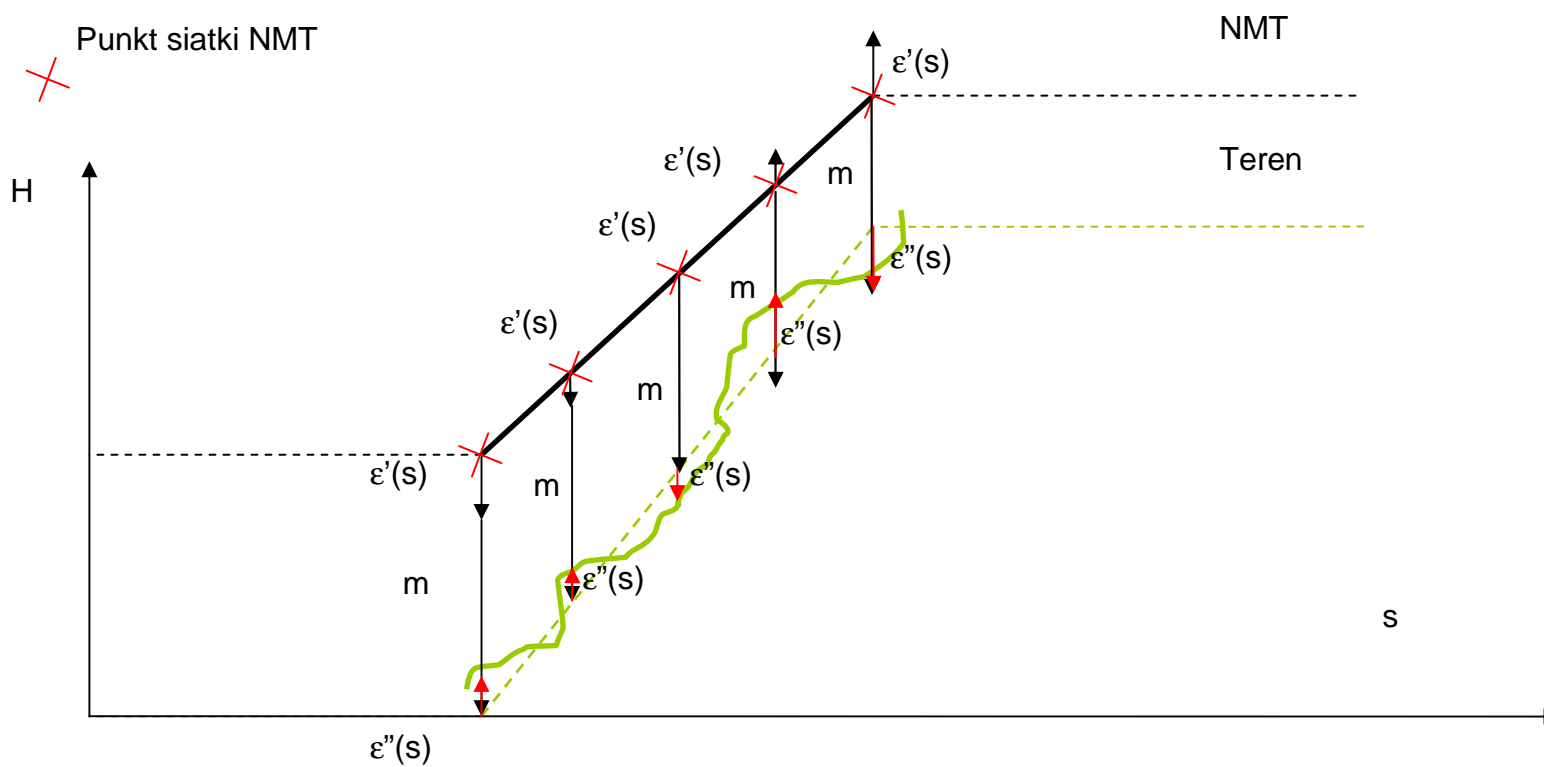
$$H_{\text{Teren}}(s) = H_{\text{NMT}}(s) + \varepsilon'(s) + m$$

Punkt siatki NMT



# Mikrorelief powierzchni terenu

$$H_{\text{Teren}}(s) = H_{\text{NMT}}(s) + \varepsilon'(s) + m + \varepsilon''(s)$$





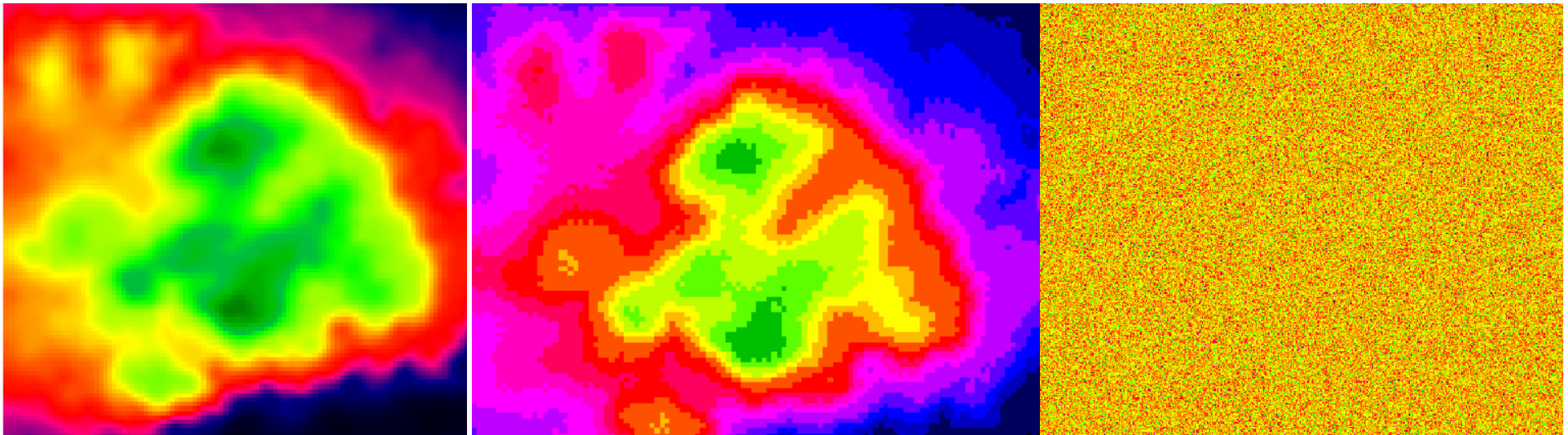
## Rozkład przestrzenny błędu NMT

Metody analityczne

- $h=f(x,y)$ ,  $m_h=g(x,y)$
- NMT  $m_h=g(\text{NMT})$

Metody numeryczne

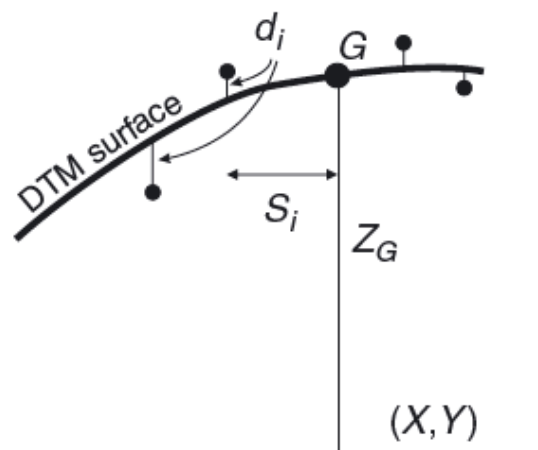
- Wzory empiryczne
- Geostatystyka (np. *kriging*)
- Metody stochastyczne (np. metoda *Monte Carlo*)



## 1. Korelacja?

## 2. Metoda Krausa i innych (2006):

- liczba i układ sąsiadujących punktów źródłowych,
- odległość między węzłem siatki a poszczególnymi punktami źródłowymi,
- krzywizna terenu w sąsiedztwie punktu siatki,
- dokładność wysokościowa punktów źródłowych.



## Zalety

- można ją stosować do istniejących NMT (warunkiem jest posiadanie danych źródłowych użytych do jego interpolacji),
- jest niezależna od algorytmu interpolacji – można badać ich wpływ na błędy wynikowego NMT,
- generuje mapę błędów w takiej samej rozdzielczości jak badany NMT (można wykonywać operacje rastrowe),
- umożliwia tworzenie atrakcyjnych i czytelnych wizualizacji na poszczególnych etapach.

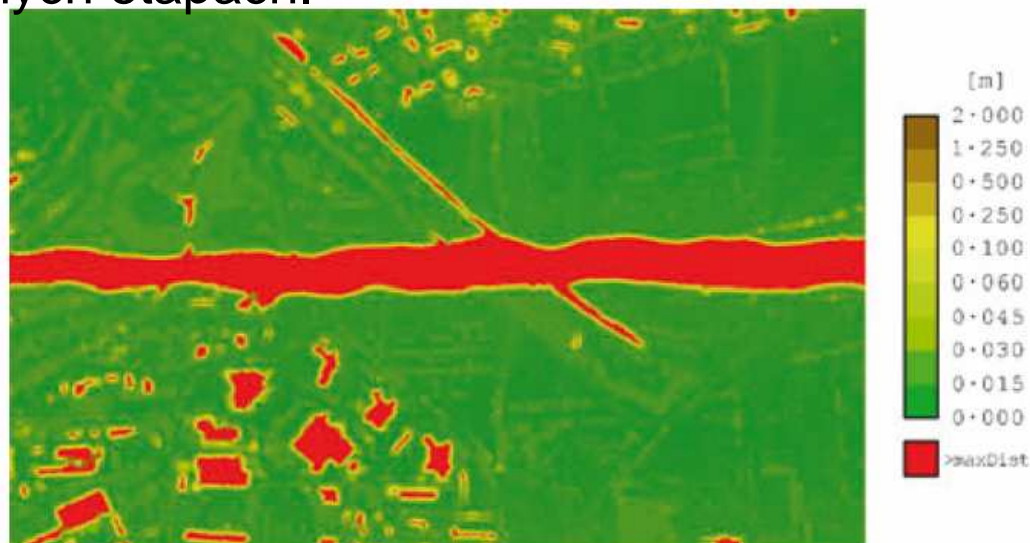


FIG. 13. Standard deviation in height of the DTM.



## Wzór Ackermana

$$m_h^2 = m_{ZPOM}^2 + (\alpha \cdot d)^2$$

- $m_h$  – błąd średni interpolowanej wysokości,
- $m_{ZPOM}$  – błąd średni danych pomiarowych,
- $H$  - wysokość fotografowania,
- $\alpha$  - współczynnik charakteryzujący powierzchnię terenu,
- $d$  – średnia odległość między punktami pomiarowymi.

## Wzór Wysockiego

$$m_h^2 = p_1 A^2 + p_2 (D \cdot \operatorname{tg} \alpha)^2 + C^2$$

gdzie:

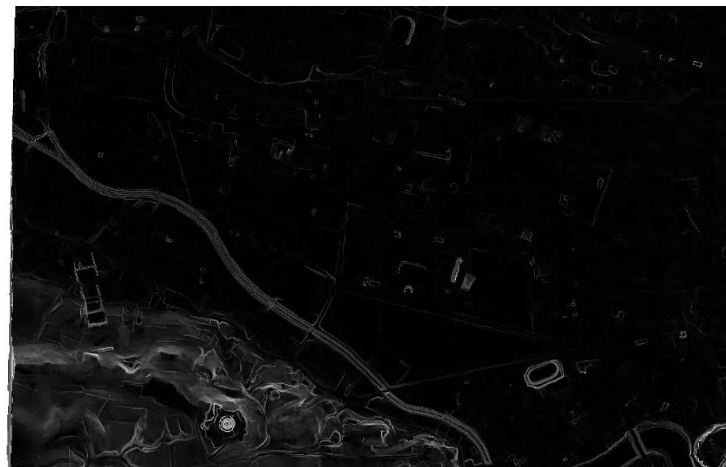
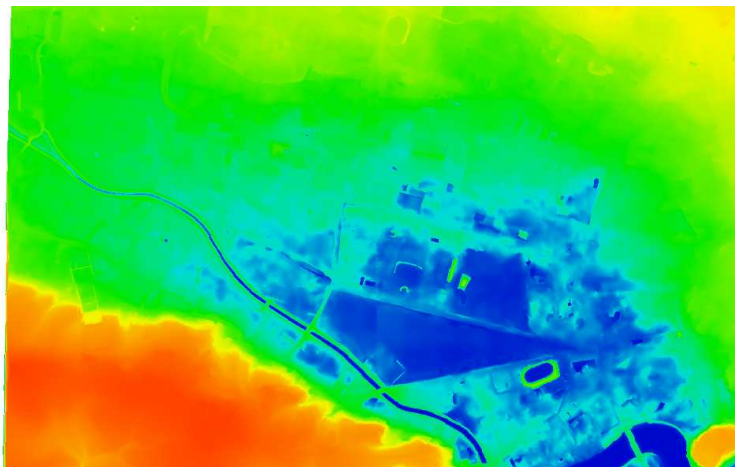
- $m_h$  – średni błąd wysokości wyznaczanego (interpolowanego) punktu powierzchni terenu, określający również dokładność aproksymacji powierzchni terenu na podstawie punktów odniesienia,
- $p_1$  – współczynnik zależny od zastosowanej metody interpolacji powierzchniowej,
- $A$  – parametr, charakteryzujący za pomocą błędu średniego dokładność określenia (pomiaru) wysokości punktów odniesienia,
- $p_2$  – współczynnik wynikający z wpływu kąta  $\alpha$ , występującego tutaj jako parametr związany z oddziaływaniem warunków terenowych (chropowatość terenu),
- $D$  – przeciętna odległość punktów pomiarowych,
- $\alpha$  – przeciętny kąt nachylenia terenu na opracowywanym obszarze,
- $C$  – parametr charakteryzujący wpływ chropowatości terenu na dokładność aproksymacji jego powierzchni przy małych wartościach kąta nachylenia terenu różnych wielkościach  $D$ .





## Dziękuję za uwagę

Już przed wojną na terenie Dolnej Saksonii do warstwy linii zalewowej dodawano 1 m określając strefę, w której nie wolno się było osiedlać





## Weryfikacja DTM Minimalna liczebność pomiarów

$$N = z^2 M_z^2 / e^2$$

$M_z = \pm 1.5\text{m}$   
95%,  $z = 1.96$

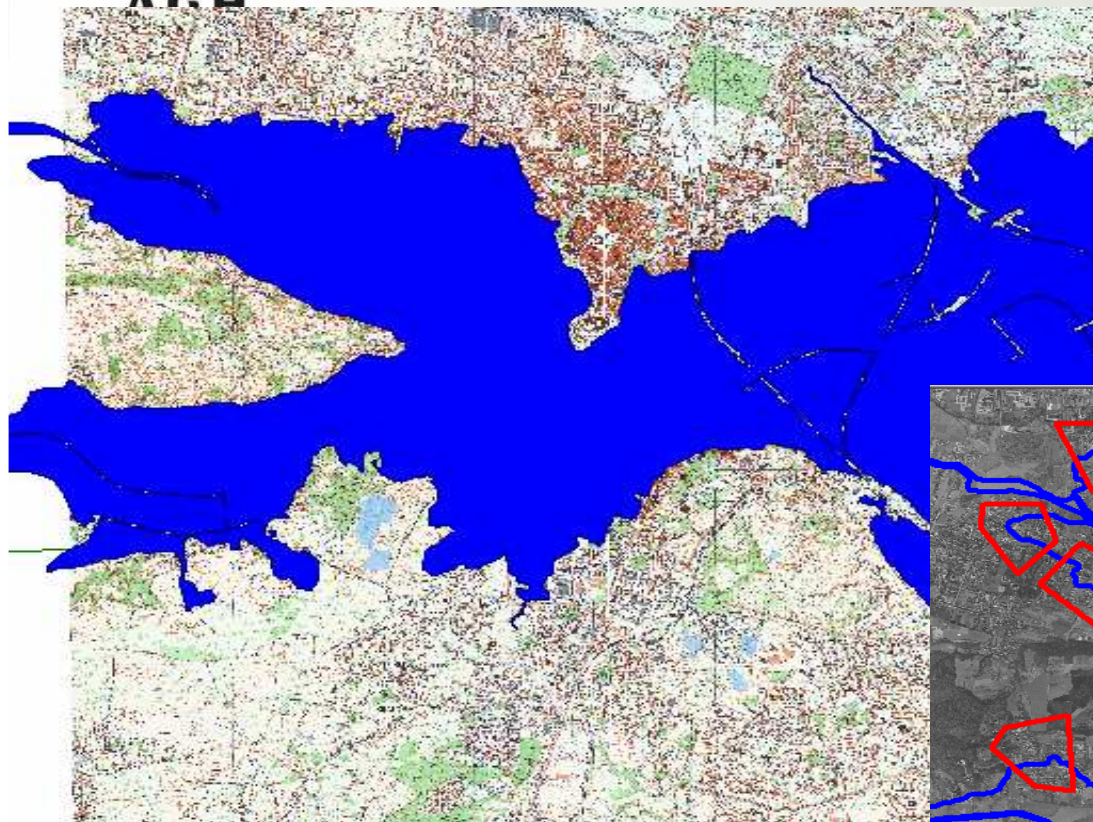
e [m]	N
0.01	86436
0.05	3457
0.1	864
0.2	216
0.5	35

$M_z = \pm 1.5\text{m} \pm 0.5\text{m}$

$M_z$  ( $\pm 1.0$ ;  $\pm 2.0$  m) w 95 przypadkach na 100

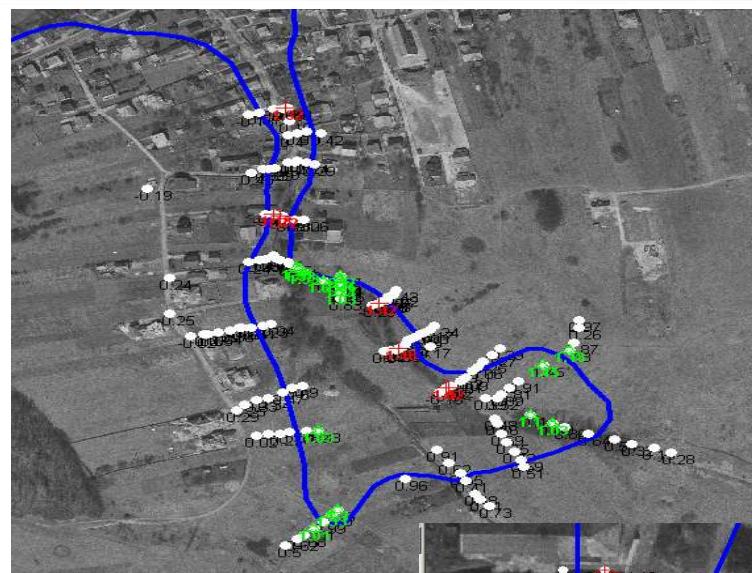
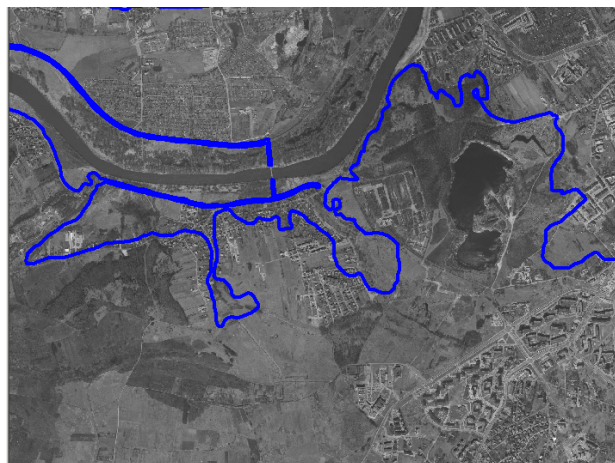


## Strefa bezpośrednia OKI Kraków





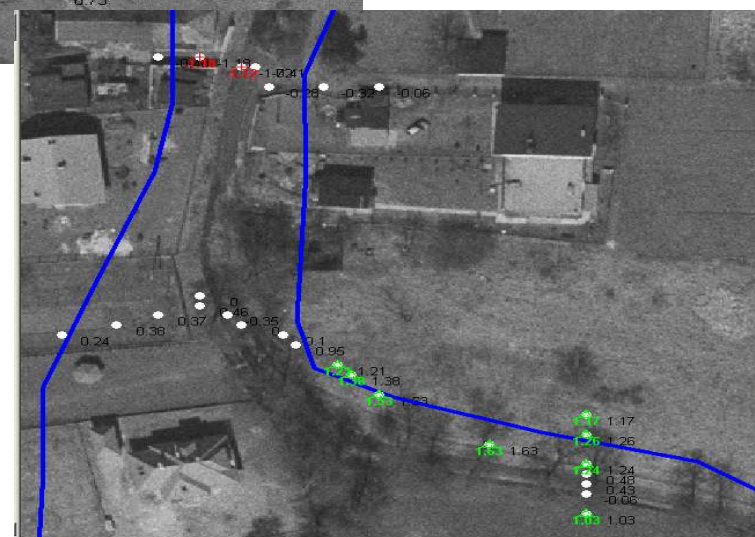
# Weryfikacja DTM – pomiar tachymetryczny



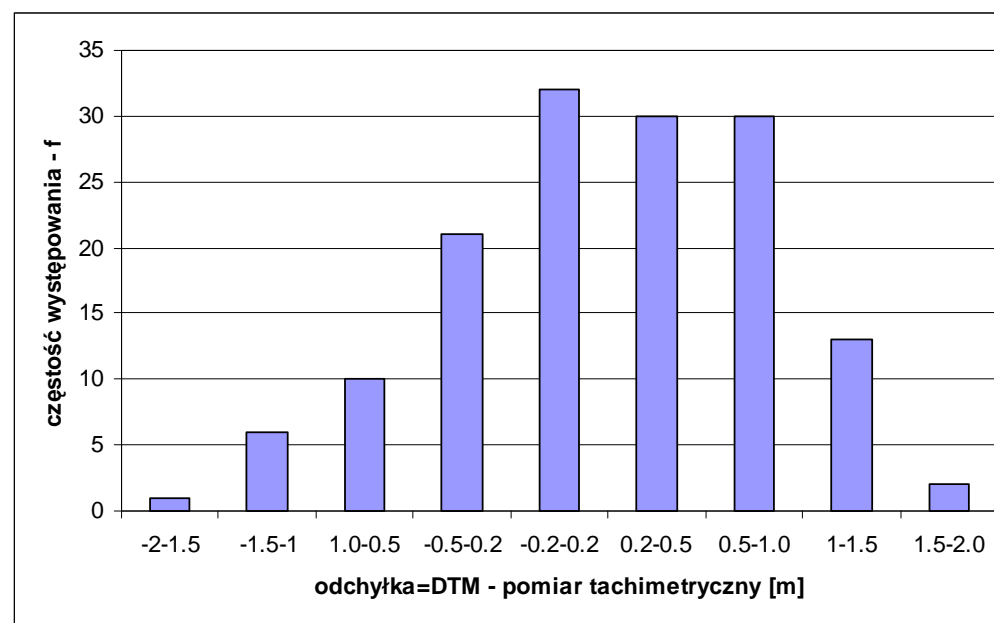
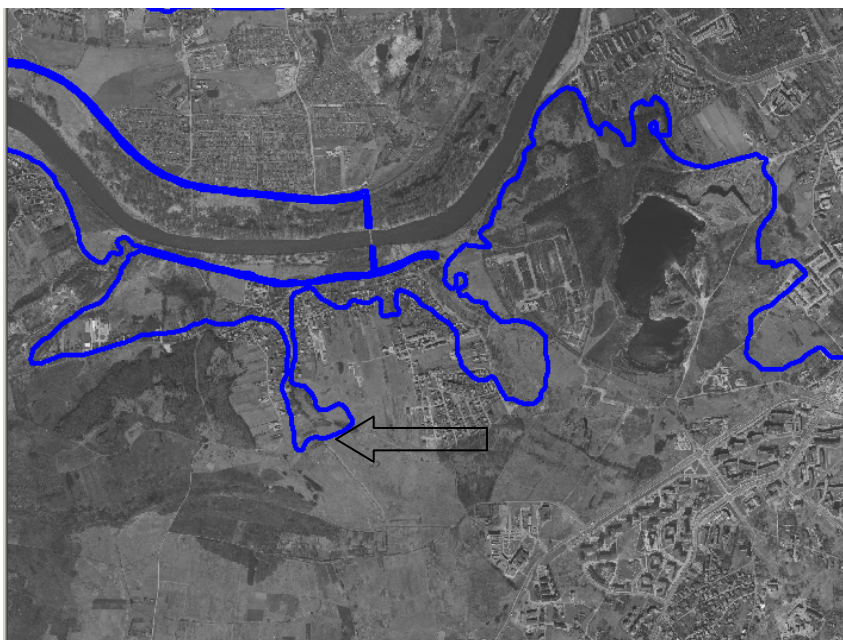
DTM - pomiar

$Mz > 1m$

$Mz < -1m$



## Analiza dokładności 1 pole testowe (z 12)



Średnia = 0.19 m  
 $M_z$  95% = +/-1.28 m