

## ANALIZA NMT W POSTACI GRID I TIN NA PRZYKŁADZIE DANYCH Z OKI

### NMT (GRID/TIN) ANALYSIS - OKI DATA EXAMPLE

**Beata Hejmanowska**

Katedra Geoinformacji, Fotogrametrii i Teledetekcji Środowiska,  
Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, AGH, Kraków

SŁOWA KLUCZOWE: NMT, GRID, TIN

**STRESZCZENIE:** Przedmiotem prezentowanych analiz był numeryczny model terenu (NMT) w postaci regularnej i nieregularnej siatki (GRID i TIN - Triangulated Irregular Network). Do budowy NMT wykorzystano dane źródłowe zgromadzone w OKI (Ośrodek Koordynacyjno-Informacyjny przy Regionalnym Zarządzie Gospodarki Wodnej w Krakowie). Wykorzystując dane źródłowe tworzono model TIN, a następnie GRID wykorzystując oprogramowanie Terrain Analyst i aplikację IT-GIS OKI. Następnie porównywano wyniki modelu GRID z wysokościami z danych źródłowych. Celem prac badawczych była analiza rozbieżności modelu GRID w zależności od wykorzystywanego algorytmu i od wielkości oczka siatki (3m, 2.5m, 2m, 1.5m i 1m). Na podstawie przeprowadzonych badań można sformułować wniosek, że wyniki obu algorytmów różnią się od siebie, a GRID wygenerowany za pomocą aplikacji IT-GIS OKI jest bardziej zgodny z wartościami wysokości w punktach pomiarowych w porównaniu z modelem GRID wygenerowanym za pomocą Terrain Analyst. Wzrost rozdzielczości powoduje generalnie zmniejszenie rozbieżności, ale jedynie dla 1 % punktów. Odchyłki w ponad 80% są poniżej +/- 10 cm, a ponad 99% różnic znajduje się w zakresie +/- 60 cm. Podsumowując można sformułować ogólny wniosek, że testowany NMT w postaci GRID o oczku 3m jest wystarczający dla modelowania stref zagrożenia powodziowego, przysięwszy dokładność założoną w specyfikacji technicznej OKI (<http://oki.krakow.rzgw.gov.pl/>).

## 1. WSTĘP

Ośrodki Koordynacyjno-Informacyjne (OKI) zostały utworzone przy Regionalnych Zarządach Gospodarki Wodnej (RZGW) w celu gromadzenia, przetwarzania i udostępniania informacji związanych z ochroną przeciwpowodziową. Wdrożona została aplikacja IT-GIS OKI dla wspomaganie prac prowadzonych w ośrodku. Jedną z czynności wykonywanych przez OKI jest modelowanie stref zagrożenia powodziowego. Na podstawie danych z IMGW, modeli hydraulicznych oraz numerycznych modeli terenu (często nazywanych zgodnie ze skrótem angielskim NMT – Digital Terrain Model) generowane są granice stref zagrożenia powodziowego.

NMT może mieć postać regularnej siatki kwadratów (GRID) lub np. siatki trójkątów (TIN). Siatka trójkątów TIN powstaje w wyniku triangulacji na podstawie wysokości punktów pomierzonych bezpośrednio w terenie albo pośrednio - metodami teledetekcyjnymi. Algorytm triangulacji może uwzględniać wszystkie punkty pomiarowe, lub tylko wybraną ich liczbę. NMT w postaci GRID powstaje na podstawie interpolacji przeprowadzonej w oparciu o dane pomierzone, lub z wykorzystaniem modelu TIN.

Model trójkątowy uznawany jest jako lepszy w zastosowaniach inżynierskich. Niewątpliwym jego atutem jest bazowanie na oryginalnie pomierzonych wartościach wysokości (w punktach i liniach specjalnych np. liniach strukturalnych). Wykorzystanie modelu terenu w tej postaci wymaga jednak skomplikowanych i czasochłonnych algorytmów. W niektórych przypadkach programy pozornie korzystają z modelu TIN, ale przed wykonywaniem bardziej skomplikowanych analiz dokonują w tle „gridowania” (zamiany modelu TIN na model GRID). Znaczne uproszczenie obliczeń i nieporównywalnie większa szybkość analiz w modelu GRID powoduje, że w wielu aplikacjach NMT wykorzystany jest właśnie w tej formie.

Celem prac badawczych, których wyniki są przedmiotem publikacji, była analiza rozbieżności modelu TIN i GRID w zależności od wykorzystywanego algorytmu i od wielkości oczka siatki. W analizach do budowy NMT wykorzystywano za każdym razem oczywiście ten sam zestaw danych źródłowych.

## 2. PRZEGLĄD LITERATURY

Numeryczny model terenu z definicji jest to numeryczna reprezentacja fragmentu powierzchni ziemskiej, utworzona zazwyczaj przez zbiór punktów tej powierzchni oraz algorytmy służące do aproksymacji jej położenia i kształtu na podstawie współrzędnych  $x$ ,  $y$ ,  $z$  tych punktów. Dane pomiarowe, niezależnie od tego czy są tylko w postaci punktów rozproszonych, czy także linii nieciągłości, linii strukturalnych muszą być uzupełnione o algorytm aproksymujący powierzchnię terenu, żebyśmy mieli do czynienia z NMT. Korzystanie z danych źródłowych jest uciążliwe i w praktycznych aplikacjach przetwarzany jest zwykle model powierzchni (GRID lub TIN) uzyskany w wyniku aproksymacji. Tworzenie NMT z danych pomiarowych może przebiegać w różny sposób. Przykładem jest generowanie NMT w postaci GRID z wykorzystaniem metod interpolacji (np. IDW - Inverse Distance Weighting, kriging, spline). Istnieją również różne algorytmy tworzenia NMT w postaci TIN (metoda Delaunay, algorytmy optymalizujące kształt trójkątów i ich liczbę). Model TIN może być oparty o wszystkie punkty pomiarowe lub też o pewne punkty wybrane (w przypadku znacznej liczby punktów mierzonych, jak ma to miejsce np. podczas skaningu laserowego). W procesie tworzenia NMT często najpierw wykonywana jest triangulacja i budowany jest model TIN, który następnie zamieniany jest na postać GRID. Technologia tworzenia NMT jest przedmiotem badań pod kątem doboru optymalnych parametrów modelu TIN i GRID oraz analiz ich dokładności (np. Kraus K., Otepka J., 2005.). Ogólnie numeryczny model terenu jest analizowany przez jego producentów, specjalistów z dziedziny kartografii, topografii, ale także fotogrametrii i teledetekcji, którzy są obecnie grupą dostarczającą danych źródłowych i kompletnych modeli NMT. NMT jest odpowiednikiem tradycyjnej mapy warstwicznej i obecnie stanowi bardzo istotny element przestrzennych baz danych GIS. Istnieją dwie grupy, które powszechnie wykorzystują NMT, są to specjaliści inżynierii lądowej i hydrologicy. NMT jest bowiem niezbędny podczas projektowania obiektów inżynierskich (np. dróg, kolei itp.) i ogólnie w planowaniu przestrzennym. Z kolei hydrologicy wykorzystują NMT w modelach hydrodynamicznych (tzw. opad-d wpływ) i modelach hydraulicznych (przekroje dolinowe, prognozowanie poziomu zwierciadła wody w rzece, generowanie stref zalewowych).

Ciekawy raport dotyczący ilościowych badań porównawczych modelu TIN i GRID został przygotowany na stanowym uniwersytecie Iowa w USA (Souleyrette R. i inni 2002). Generowano TIN i GRID o rozdzielczości: 1, 5 i 10 m, w oparciu o pomiar

fotogrametryczny i z wykorzystaniem skaningu laserowego. Głównym celem tych badań było przetestowanie metody fotogrametrycznej i skaningu laserowego do budowy NMT dla potrzeb projektowania obiektów inżynierskich (budowy dróg). Dokładność sprawdzano na różnych obszarach testowych (w terenie zurbanizowanym – elementami odbijającymi był beton, asfalt; w obszarach, w których wymagane jest uwzględnienie linii strukturalnych; obszarach pokrytych wysoką i niską roślinnością; gruntach odkrytych). We wszystkich przypadkach, oprócz gruntów odkrytych, uzyskiwano dokładność mniejszą niż 0.2 m (w większości przypadków: 0.5-1.0m). Jedynie dla gruntów odkrytych uzyskano dokładność poniżej 0.2 m oboma metodami i dla każdej rozdzielczości modelu. Ogólnie metoda fotogrametryczna dała lepsze rezultaty od skaningu laserowego (30-50%, a dwukrotnie lepszą dokładność dla gruntów odkrytych). TIN metodą fotogrametryczną był w niektórych przypadkach lepszy niż GRID (dokładność terenie zurbanizowanym i dla elementów strukturalnych), w niektórych przypadkach dokładność jego była porównywalna z modelem GRID (roślinność, grunt odkryty). Dokładność TIN i GRID ze skaningu laserowego była natomiast podobna we wszystkich przypadkach.

NMT jest wykorzystywany w modelach hydrodynamicznych i hydraulicznych do prognozowania poziomu wód w rzekach (np. MIKE 11, HEC-RAS). W pierwszym przypadku (MIKE 11) wykorzystywany jest model GRID, w przypadku HEC-RAS model TIN (Snead D., B., 2000, Vazquez R.F., Feyen J. 2007). Wyniki badań porównawczych wykazują na zalety i wady obu metod i nie uzasadniają konieczności wyboru jednego z nich.

Przedmiotem prowadzonych przeze mnie badań nie było ogólne zagadnienie budowy modelu TIN (np. optymalizacja triangulacji) czy modelu GRID (np. badanie metod interpolacji). Skoncentrowałam się na analizie możliwości wykorzystania w OKI modelu GRID dla potrzeb wyznaczania stref zagrożenia powodziowego. W badaniach zostało przyjęte następujące założenie: analizie zostaną poddane istniejące w OKI dane i proces technologiczny wykorzystywany w praktyce do generowania stref zalewowych.

### 3. METODYKA BADAŃ

Przedmiotem analiz były NMT zgromadzone w OKI Kraków, Wrocław i Gliwice. NMT w postaci TIN i GRID były w ramach projektu banku światowego generowane z plików tekstowych zawierających: punkty rozproszone, linie strukturalne, obszary planarne i wyłączone. Modele GRID zostały przygotowane w kroju map topograficznych 1: 10000. Projekt obejmował główne rzeki RZGW, rozmieszczenie arkuszy przedstawiono schematycznie na rysunku (Rys. 1). Zasięg RZGW Kraków nie pokrywa się z granicami administracyjnymi Województwa Małopolskiego (dla porównania sieć rzeczna na rysunku (Rys. 1) dla obszaru województwa – WODGIK).

Do testowania algorytmów i metodyki generowania modeli GRID z modelu TIN wybrano rzekę Sołę. Przykładowy arkusz: M34-75-A-d-4 znajduje się na rysunku (Rys. 2), obejmuje on obszar pomiędzy Kętami a Zbiornikiem Czaniec. Fragment arkusza mapy topograficznej i ortofotomapy znajduje się na rysunkach (Rys. 3, Rys. 4).

Sposób przetwarzania danych źródłowych był następujący:

- generowanie NMT w modelu TIN na podstawie danych źródłowych w plikach tekstowych (oprogramowanie Terrain Analyst),
- zamiana modelu TIN na GRID:

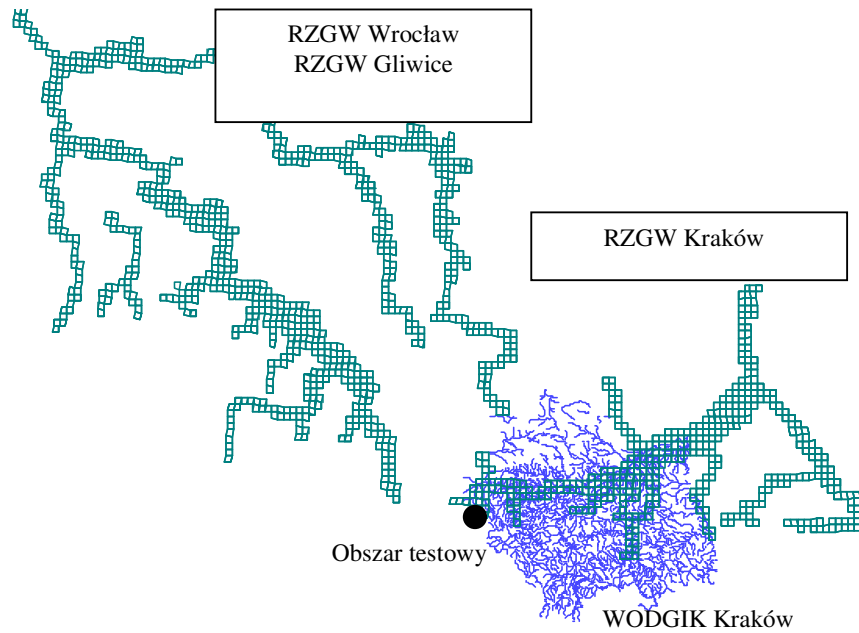
- z wykorzystaniem oprogramowania Terrain Analyst,
- z wykorzystaniem aplikacji IT-GIS OKI.

Oprogramowanie Terrain Analyst jest powszechnie stosowanym rozszerzeniem funkcjonalności Microstation w zakresie opracowania NMT. Aplikacja IT-GIS OKI opracowana została specjalnie dla potrzeb wspomagania decyzji w OKI. W ramach tej aplikacji zbudowany został moduł do zamiany modelu TIN na GRID z uwzględnieniem elementów strukturalnych (np. wałów), co ma szczególne znaczenie dla potrzeb modelowania stref zalewowych.

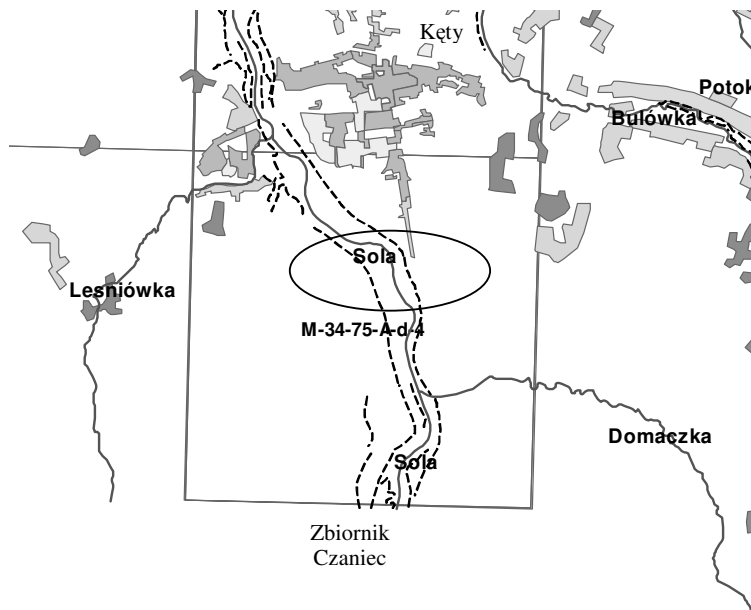
Optymalizacja metody generowania modelu GRID w oparciu o model TIN polegała na:

- tworzeniu szeregu NMT w modelu GRID o rozdzielczości: 3, 2,5, 2, 1,5, 1 m za pomocą: Terrain Analyst i aplikacji IT-GIS OKI
- analizy dokładności NMT w modelu GRID biorąc pod uwagę dane źródłowe.

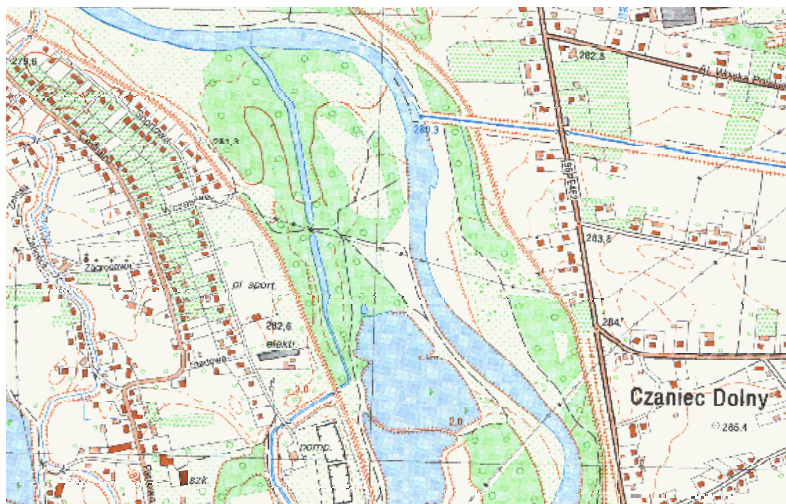
Analiza dokładności polegała na sprawdzeniu rozbieżności pomiędzy danymi źródłowymi a NMT w modelu GRID. W ten sposób można było określić stopień degradacji informacji, który następuje podczas generowania modelu GRID, oraz wybrać optymalne oczko siatki.



Rys. 1. Rozmieszczenie arkuszy map 1:10000 - zasięgi NMT w RZGW Kraków, Wrocław i Gliwice, sieć rzeczna Województwa Małopolskiego (WODGIK) i położenie obszaru testowego



Rys. 2. Przykładowy zasięg arkusza mapy topograficznej 1:10 000 o godle M34-75-A-d-4, w pobliżu Kęt i zbiornika Czaniec, rzeka Soła (fragment środkowej części przedstawiony został na poniższych rysunkach: Rys. 3 i Rys. 4)



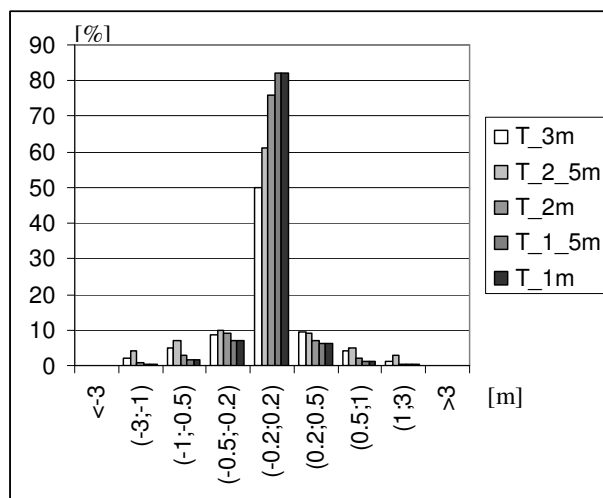
Rys. 3. Fragment mapy topograficznej: M34-75-A-d-4



Rys. 4. Fragment ortofotmapy: M34-75-A-d-4 (geoportal.gov.pl)

#### 4. WYNIKI I WNIOSKI

Różnice pomiędzy wysokościami w punktach źródłowych a wysokościami NMT w modelu GRID, o różnej rozdzielczości (T\_3m, T\_2.5m, T\_2m, T\_1.5m, T\_1m), wygenerowanym w Terrain Analyst, obliczone dla każdego punktu źródłowego, zostały przedstawione w postaci histogramu na rysunku (Rys. 5). Histogram przedstawia procentową liczbę punktów o danej wartości odchyłki od wartości tej odchyłki.

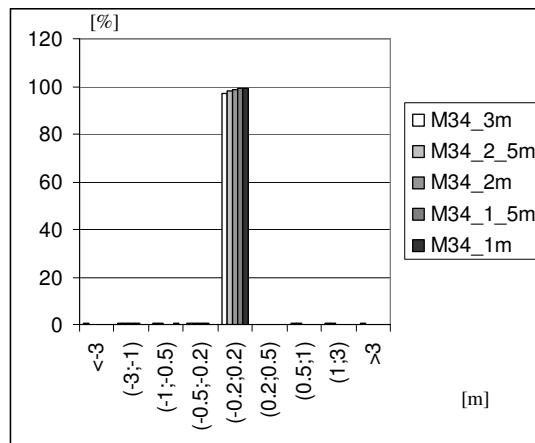


Rys. 5. Histogram odchyłek pomiędzy wysokościami NMT w modelu GRID (wygenerowany za pomocą oprogramowania Terrain Analyst) a wysokościami z danych źródłowych

Różnice pomiędzy wysokościami w punktach źródłowych a wysokościami NMT w modelu GRID, o różnej rozdzielczości (M34\_3m, M34\_2.5m, M34\_2m, M34\_1.5m, M34\_1m), wygenerowanym za pomocą aplikacji IT-GIS OKI, obliczone dla każdego punktu źródłowego zostały przedstawione w tabeli (Tab 1) i w postaci histogramu na rysunku (Rys. 6).

**Tab 1.** Różnica pomiędzy wysokościami w punktach źródłowych a modelem GRID (o różnej rozdzielczości: M34\_3m, M34\_2.5m, M34\_2m, M34\_1.5m, M34\_1m) wygenerowanym za pomocą aplikacji IT-GIS OKI

Wartość odchyłki [m]		M34_3m	M34_2_5m	M34_2m	M34_1_5m	M34_1m
Poniżej	-3	0.3	0.1	0.1	0.1	0.2
	-3	-1	0.7	0.5	0.4	0.3
	-1	-0.5	0.5	0.3	0.1	0.0
	-0.5	-0.2	0.5	0.5	0.5	0.4
	<b>-0.2</b>	<b>0</b>	<b>0.1</b>	<b>0.1</b>	<b>0.1</b>	<b>0.0</b>
	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>96.7</b>	<b>97.7</b>	<b>98.4</b>	<b>98.9</b>
	<b>0</b>	<b>0.2</b>	<b>0.1</b>	<b>0.1</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>
	0.2	0.5	0.2	0.2	0.1	0.0
	0.5	1	0.5	0.4	0.1	0.0
	1	2	0.4	0.3	0.0	0.0
Powyżej	3	0.3	0.0	0.0	0.1	0.0



Rys. 6. Histogram odchyłek pomiędzy wysokościami NMT w modelu GRID (wygenerowany za pomocą IT-GIS OKI) a wysokościami z danych źródłowych

Na podstawie przeprowadzonych analiz można sformułować następujące wnioski:

- zwiększanie rozdzielczości oczka siatki GRID powoduje uzyskiwanie lepszych wyników na punktach linii strukturalnych,
- GRID wygenerowany za pomocą aplikacji IT-GIS OKI jest bardziej zgodny z wartościami wysokości na liniach strukturalnych w porównaniu z modelem GRID wygenerowanym za pomocą oprogramowania Terrain Analyst; zależność ta występuje dla wszystkich rozdzielczości,
- zwiększanie rozdzielczości wpływa w dużym stopniu na wyniki uzyskiwane za pomocą Terrain Analyst, a w niewielkim na wyniki uzyskane za pomocą aplikacji IT-GIS OKI,
- zwiększanie rozdzielczości od 3m do 1m, w przypadku aplikacji IT-GIS OKI ma jedynie znikomy wpływ na zgodność wysokości na liniach strukturalnych, z czego wynika, że rozdzielczość modelu GRID równa 3m jest wystarczająca w przypadku jego generowania za pomocą IT-GIS OKI,
- wzrost rozdzielczości powoduje generalnie polepszenie wyniku w przypadku 1 % ogólnej liczby analizowanych punktów.

W publikacji analizowana była zgodność pomiędzy NMT, a wysokościami w punktach pomiarowych, które stanowiły dane źródłowe dla jego zbudowania. Oznacza to, że powyższe wnioski dotyczą jedynie stopnia dopasowania NMT do punktów pomiarowych.

## 5. LITERATURA

Bundela D.S. 2004. Influence of Digital Elevation Models Derived from Remote Sensing on Spatio-Temporal Modelling of Hydrologic and Erosion Processes. National Soil Resources Institute PhD Thesis.

Isenburg M., Yuanxin L., Shewchuk J., Snoeyink J., Thirion T., 2006. Generating Raster DEM from Mass Points via TIN Streaming. *GIS Science*

Kraus K., Otepka J., 2005. NMT Modelling and Visualization – The SCOP Approach. *'Photogrammetric Week 05'*, Wichmann Verlag, Heidelberg 2005. s. 241-252

Snead D., B., 2000. Development and Application of Unsteady Flood Models Using Geographic Information Systems. Master of Science in Engineering. The University of Texas at Austin. December 2000

Vazquez R.F., Feyen J. 2007. Assessment of the effects of DEM gridding on the predictions of basin runoff using MIKE SWE and a modelling resolution of 600 m. *Journal of Hydrology*, 334, s. 73– 87.

Souleyrette R., Hallmark S., Velanziono D., 2002. Comparison of Lidar and Conventional Mapping Methods for Highway Corridor Studium. Centem for Transportation, Research and Educatio, Final Repor, October 2002.

Praca została wykonana w ramach badań statutowych AGH nr 11.11.150.459



## **NMT (GRID/TIN) ANALYSIS - OKI DATA EXAMPLE**

KEY WORDS: NMT, GRID, TIN

SUMMARY: The subject of the analysis contained herein is the Digital Terrain Model (NMT) in a form of GRID and TIN. Initial data gathered in OKI (Coordination-Information Centre in Regional Water Management Office in Krakow) were applied to NMT generation. With the initial data, TIN was calculated and afterwards, GRID in Terrain Analyst and IT-GIS OKI application. Then, GRID was compared with the initial data. The main issue of the study was to analyse the discrepancy obtained from different algorithms, and with varying GRID resolution (3m, 2.5m, 2m, 1.5m i 1m). From the research made, it can be concluded that the two algorithms (Terrain Analyst and IT-GIS OKI) give different results. The accuracy of GRID generated with IT-GIS OKI application was higher than that obtained using the Terrain Analyst. The smaller the cell size in GRID, the better is the GRID accuracy, but the improvements appear only in 1% of points. There are more than 80% discrepancies below +/- 10 cm, and more than 99% discrepancies below +/- 60 cm. To summarise, it can be stated that GRID of 3 m cell size, generated using IT-GIS OKI application is accurate enough for flood area estimation, according to OKI technical specification (<http://oki.krakow.rzgw.gov.pl/>).

dr hab. inż. Beata Hejmanowska, prof. AGH  
e-mail: [galia@agh.edu.pl](mailto:galia@agh.edu.pl)  
telefon: 012 617 22 72  
fax: 012 633 17 91