

## MOŻLIWOŚCI GENEROWANIA PRECYZYJNEGO NMT NA PODSTAWIE CHMURY PUNKTÓW Z PROJEKTU ISOK

### POSSIBILITIES OF GENERATION A PRECISION DTM BASED ON CLOUDS OF POINTS OBTAINED IN PROJECT ISOK

Anita Biszof, Tomasz Oberski

Katedra Geoinformatyki,  
Wydział Inżynierii Lądowej, Środowiska i Geodezji Politechniki Koszalińskiej

SŁOWA KLUCZOWE: interpolacja, lotniczy skaning laserowy, NMT

STRESZCZENIE: Procesy tworzenia oraz wizualizacji NMT na podstawie danych z lotniczego skaningu laserowego stają się coraz powszechniejsze. Jakość NMT jest uzależniona od wielu czynników. W pracy poddano analizie proces tworzenia NMT w aspekcie zróżnicowania ukształtowania terenu, wielkości siatki GRID oraz metod interpolacji na podstawie danych pozyskanych z projektu ISOK dla fragmentu (1km<sup>2</sup>) miasta Koszalin. Wykorzystano interpolacje deterministyczne oraz stochastyczną do uzyskania modeli o rozdzielczościach 0.1 m, 0.25 m oraz 0.5 m. Porównano ponadto otrzymane modele ze standardowym NMT pozyskanym z ISOK. Największy wpływ na jakość NMT zbudowanego na podstawie danych LIDAR ma zróżnicowanie terenu. Ponadto w zależności od przeznaczenia modelu sprawdzono, czy zmiana wielkości oczka tworzonego modelu GRID ma wpływ na jakość NMT zwłaszcza w kontekście odwzorowania form morfologicznych rzeźby.

#### 1. WPROWADZENIE

W związku z dynamicznym rozwojem technik pomiarowych oraz stale zwiększającymi się możliwościami technicznymi związanymi z przetwarzaniem danych (wydajniejsze komputery i zoptymalizowane algorytmy) NMT systematycznie zyskuje na rozdzielczości i dokładności reprezentacji form ukształtowania terenu. Numeryczny Model Terenu (NMT) stanowi podstawę wielu opracowań przestrzennych. Zatem bardzo istotną kwestią jest dokładność NMT bowiem ma to bezpośredni wpływ na propagację błędów w dalszych analizach przestrzennych. Podstawowymi czynnikami wpływającymi na dokładność NMT, rozumianą jako różnica między wysokością pomierzoną bezpośrednio w terenie techniką klasyczną, a wysokością wyinterpolowaną są: dokładność danych źródłowych, zastosowanej metody filtracji i metody interpolacji (Gołuch *et al.*, 2008).

NMT jest numeryczną reprezentacją fragmentu powierzchni ziemskiej, utworzonej przez zbiór punktów tej powierzchni oraz algorytmy służące do aproksymacji jej położenia i kształtu na podstawie współrzędnych  $x$ ,  $y$ ,  $z$  tych punktów (Gaździcki, 2002). NMT prezentowany jest najczęściej w formie regularnej struktury zwanej GRID, lub w zależności

od zastosowania, w formie nieregularnej siatki trójkątów (TIN) czy linii strukturalnych (Ramirez, 2006). Struktura macierzy (GRID) jest najprostszym i najefektywniejszym modelem ze względu na przechowywanie oraz możliwości dalszych analiz (El – Sheimy *et al.*, 2005)

W procesie budowy NMT interpolacja stanowi etap, którego celem jest predykcja wartości wysokości w punktach, w których nie dokonano pomiaru na podstawie danych źródłowych (Burrough i McDonnell, 1998). Istnieje wiele rodzajów klasyfikacji metod interpolacyjnych. Możemy wyróżnić interpolację globalną oraz lokalną. Interpolacja globalna wykorzystuje wszystkie źródłowe wartości atrybutów generując NMT natomiast interpolacja lokalna estymuje wartości w nieznanach punktach na podstawie określonego sąsiedztwa punktu interpolowanego. Innym kryterium klasyfikującym metody interpolacyjne jest podział na metody deterministyczne oraz stochastyczne. Metody deterministyczne polegają na oszacowaniu nieznanach wartości bez kontroli błędu (zależności przestrzennej) tego oszacowania w przeciwieństwie do metod stochastycznych, które biorą pod uwagę przestrzenną korelację danych (Anderson *et al.*, 2005a). Wśród najczęściej stosowanych w budowie NMT, lokalnych metod deterministycznych można wymienić metody: odwrotnej ważonej odległości (IDW), triangulacyjna TIN, naturalnego sąsiedztwa (NaN) oraz metodę funkcji sklepanych (Spline), która może być lokalna lub globalna. Natomiast do metod stochastycznych o zasięgu globalnym zalicza się różne odmiany krigingu: prosty kriging (SK), uniwersalny kriging (UK), zwykły kriging (OK) (Burrough i McDonnell, 1998). Najprostszą metodą interpolacyjną stosowaną w budowie NMT jest TIN. W wyniku tej metody generuje się model w postaci wektorowej. Wykorzystując punkty źródłowe uzyskuje się siatkę trójkątów na podstawie triangulacji Delauney'a. Pozostałe metody pozwalają na estymację wartości wysokości w węzłach siatki tworzącej GRID na podstawie wartości punktów pomiarowych.

Wybór najodpowiedniejszej metody interpolacyjnej do budowy NMT wielokrotnie analizowano (Zimmerman *et al.*, 1999; Kyriakidis i Goodchild, 2006; Chaplot *et al.*, 2006), jednak nie wskazano jednej uniwersalnej metody interpolacji dla wszystkich przypadków. Jest to uzależnione od wielu czynników takich jak rodzaj danych źródłowych, gęstość danych źródłowych, rozmiar siatki GRID, ukształtowanie terenu, przeznaczenie generowanego NMT itd. Zimmerman *et al.* (1999) porównując OK, UK oraz IDW pokazał, że zastosowanie krigingu daje lepszy NMT w zależności od ukształtowania terenu i w przypadku danych, które nie są zbyt gęsto rozłożone. Natomiast w przypadku gęstego ( $4 \cdot 10^9$  punktów/km<sup>2</sup>) rozkładu danych, przy jednoczesnej kontroli struktury przestrzennej, widoczna jest nieznaczna przewaga IDW nad innymi metodami (Chaplot *et al.*, 2006). Stosując dane pochodzące z lotniczego skaningu lotniczego zapewniona jest gęstość danych, co ma istotny wpływ na jakość NMT i bardziej zalecaną metodą jest wówczas IDW (Liu *et al.*, 2007)

Istotną kwestią w tworzeniu NMT, w formie GRID, który ma stanowić odzwierciedlenie rzeczywistej powierzchni jest wielkość komórki. Rozmiar piksela jest uzależniony od danych źródłowych, ich gęstości, ukształtowania powierzchni oraz przeznaczenia produktu jakim jest NMT. McCullagh (1988) sugeruje, by rozmiar komórki korespondował z liczbą punktów ( $n$ ) przypadających na badany obszar ( $A$ ) według zależności:

$$S = \sqrt{\frac{A}{n}} \quad (1)$$

Odpowiedni dobór rozmiaru komórki w modelach GRID, będących reprezentacją NMT jest bardzo istotny również ze względu na dokładność tzw. atrybutów topograficznych jak aspekt, nachylenie, krzywizna, które są pochodnymi NMT (Urbański, 2010)

Coraz doskonalsze techniki pomiarowe, a w szczególności skaniny laserowe umożliwiają szybkie pozyskanie dokładnych danych przestrzennych. Skaniny laserowe (LiDAR), zwłaszcza lotniczy (ALS) stanowi cenną alternatywę dla tradycyjnych źródeł danych wykorzystywanych w opracowaniach NMT i jest obecnie szeroko stosowana w opracowaniach krajowych i zagranicznych.

W niniejszej pracy poddano analizie dokładność NMT opracowanych na podstawie zbioru danych pozyskanych z lotniczego skaningu laserowego w ramach projektu ISOK (Informatyczny System Osłony Kraju) z wykorzystaniem następujących metod interpolacji: IDW, Naturalnego Sąsiedztwa (NaN), Spline oraz Kriging Zwykły (OK). Dla każdej z wymienionych metod zbudowano modele o rozdzielczościach: 0.1 m, 0.25 m oraz 0.5 m. Tak utworzone modele poddano weryfikacji obliczając dokładność wewnętrzną oraz zewnętrzną dla całego obszaru oraz wyróżnionych ze względu na ukształtowanie i pokrycie terenu części.

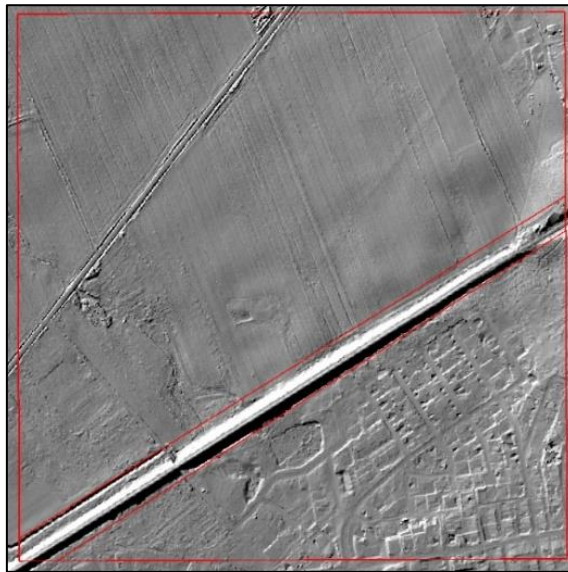
## **2. OBSZAR BADAŃ**

Obszar objęty analizą to fragment miasta Koszalin o powierzchni 1 km<sup>2</sup> (rys.1 i 2). Struktura pokrycia terenu jest zróżnicowana. W południowej części występuje zwarta zabudowa jednorodzinna, w części centralnej częściowo zadrzewione tereny niezabudowane, a na północy pola uprawne i łąki. Obiektem charakterystycznym jest nasyp kolejowy zlokalizowany skośnie na całej szerokości obszaru.



Rys.1. Badany obszar, źródło: Google Earth

Najbardziej aktualne dane pomiarowe dostępne dla miasta Koszalina w Państwowym Zasobie Geodezyjnym pochodzą z pomiarów wykonanych w ramach projektu ISOK w roku 2011. Obszar miasta został zakwalifikowany jako teren zurbanizowany i dlatego skaniny wykonano zgodnie ze standardem II wytycznych technicznych projektu z gęstością skanowania wynoszącą 12 punktów/m<sup>2</sup>. Średnia dokładność położenia punktów wynosi 0.4 m, natomiast wysokościowa nie przekracza 0.1 m.



Rys.2. Cieniowany NMT z zaznaczonym badanym obszarem, źródło: opracowanie własne

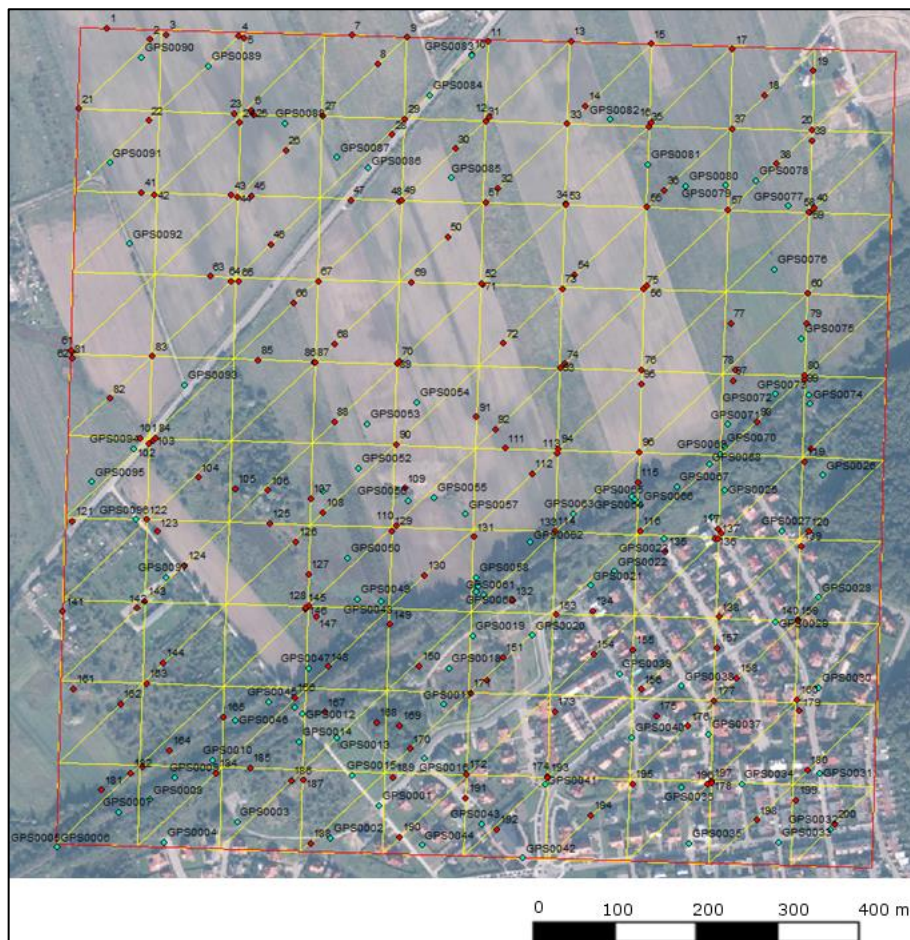
### 3. METODYKA

Do przeprowadzenia eksperymentu wykorzystano gotową chmurę punktów udostępnioną w podziale arkuszowym dla godła N-33-69-A-d-2-3. W celu uniknięcia tzw. efektu krawędzi zniekształceń na granicach zmniejszono obszar badań do 1 km<sup>2</sup>. Przygotowanie materiału badawczego oraz analizy przeprowadzono wykorzystując oprogramowanie SAGA-GIS, ArcGIS oraz Microsoft Excel.

Punkty w chmurze są zapisane zgodnie ze standardem LAS 1.2. Każdy punkt posiada odpowiednią klasę nadaną w wyniku filtracji i klasyfikacji podczas procesu opracowania danych. Klasa punktu określa jego położenie. W zależności od pokrycia terenu punkt może być zmierzony na powierzchni gruntu lub istniejącego w miejscu pomiaru obiektu topograficznego (np. budynek, drzewo itp.). Dodatkowo rejestrowane są odbicia wiązki lasera, która przenikała przez obiekty niepokrywające szczelnie powierzchni ziemi, takie jak drzewa, krzewy, czy niska roślinność. W celu wykorzystania danych do generowania NMT wybrano tylko te punkty, które usytuowane są na powierzchni terenu (klasa 2 z klasyfikacji LAS1.2). Tak przygotowana chmura punktów została przycięta do obszaru opracowania.

Analizy dokładności interpolacji oraz dokładności NMT przeprowadzono wieloetapowo na podstawie dwóch zbiorów punktów kontrolnych biorąc pod uwagę

ukształtowanie terenu, gęstość siatki GRID oraz rodzaj interpolacji. Pierwszy rodzaj punktów kontrolnych (K1) stanowi podzbiór chmury punktów, a drugi (K2) pozyskano za pomocą bezpośrednich pomiarów przy użyciu GPS – RTK. W celu wytypowania punktów kontrolnych z chmury obszar podzielono na 100 kwadratów o powierzchni 1 ha. W każdym kwadracie wybrane zostały przynajmniej 2 punkty położone najniżej. W rezultacie uzyskano ponad 200 punktów o najniższych wysokościach w każdym kwadracie względnie równomiernie rozmieszczonych w badanym obszarze. Po dokonaniu ręcznej selekcji i usunięciu punktów występujących w skupieniach ostatecznie wytypowano 199 punktów kontrolnych (rys.3). Dokładność pomiaru wysokości punktów za pomocą lotniczego skaningu laserowego zweryfikowano przy użyciu technologii GPS – RTK. Do pomiaru wykorzystany został odbiornik Leica GPS 1200 podłączony do sieci referencyjnej ASG-EUPOS.



Rys.3. Zbiory punktów kontrolnych K1-czerwone, K2-niebieskie

W kolejnym etapie badany obszar podzielono na trzy części (rys.4) ze względu na zróżnicowanie pokrycia i ukształtowania terenu: A – teren płaski, w większości pole uprawne, B – nasyp kolejowy, częściowo zadrzewiony oraz C – obszar z zabudową jednorodziną.



Rys. 4 – Podział badanego obszaru

Do budowy NMT wykorzystano 5605710 punktów na obszarze 1 km<sup>2</sup> co według wzoru (1) daje rozmiar komórki ok. 0.43 m. Wynika z tego, że dane mogą być wykorzystane do uzyskania modelu o rozdzielczości przynajmniej 0.5 m. W celu sprawdzenia możliwości uzyskania dokładniejszego modelu wygenerowano dodatkowo modele o większych rozdzielczościach: 0.1 m i 0.25 m. Do uzyskania każdego modelu zastosowano algorytmy interpolacyjne: IDW (ang. *Inverse Distance Weighting*), NaN (ang. *Natural Neighbor*) i Spline. Dla poszczególnych części obszaru wykonano również interpolację techniką krigingu (OK – ang. *Ordinary Kriging*), która często uznawana jest za właściwą do uzyskania dokładnego NMT, szczegółowo ilustrującego rzeźbę (Zarychta i Zarychta, 2013).

W oparciu o punkty kontrolne ( $n(K1) = 199$ ,  $n(K2) = 94$ ) obliczono błąd RMSE (ang. *Root Mean Square Error*) według wzoru (Desmet, 1997):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n(Kj)} (z_{i,Kj} - z_{i,int})^2}{n(Kj) - 1}} \quad (2)$$

gdzie:

$z_{i,Kj}$  – wysokość  $i$  – tego punktu kontrolnego z  $j$  – tego zbioru ( $j=1, 2$ );

$z_{i,int}$  – wysokość  $i$  – tego punktu interpolowanego;

$n(Kj)$  – liczba punktów kontrolnych  $j$  – tego zbioru ( $j=1, 2$ ).

Wyniki dla poszczególnych części badanego obszaru przedstawione zostały w tabeli (tabela 1), a dla całego badanego obszaru w tabeli (tabela 2).

Tabela 1. Błąd RMSE obliczony dla poszczególnych obszarów

RMSE	Rozmiar celki [m]	Punkty kontrolne	NaN	IDW (p=2)	Spline	OK (kriging zwykły)
A	0.1	K1	0.057	0.071	0.057	0.057
		K2	0.134	0.134	0.135	0.136
	0.25	K1	0.059	0.046	0.056	0.056
		K2	0.134	0.136	0.134	0.134
	0.5	K1	0.052	0.054	0.056	0.056
		K2	0.139	0.138	0.135	0.135
B	0.1	K1	0.137	0.154	0.148	0.148
		K2	0.107	0.111	0.494	0.136
	0.25	K1	0.137	0.145	0.160	0.160
		K2	0.109	0.112	0.492	0.135
	0.5	K1	0.133	0.146	0.166	0.166
		K2	0.125	0.130	0.385	0.139
C	0.1	K1	0.087	0.091	0.099	0.099
		K2	0.091	0.090	0.111	0.097
	0.25	K1	0.093	0.096	0.102	0.102
		K2	0.090	0.090	0.108	0.097
	0.5	K1	0.094	0.100	0.100	0.100
		K2	0.091	0.090	0.114	0.095

Tabela 2. Błąd RMSE obliczony dla całego obszaru badawczego

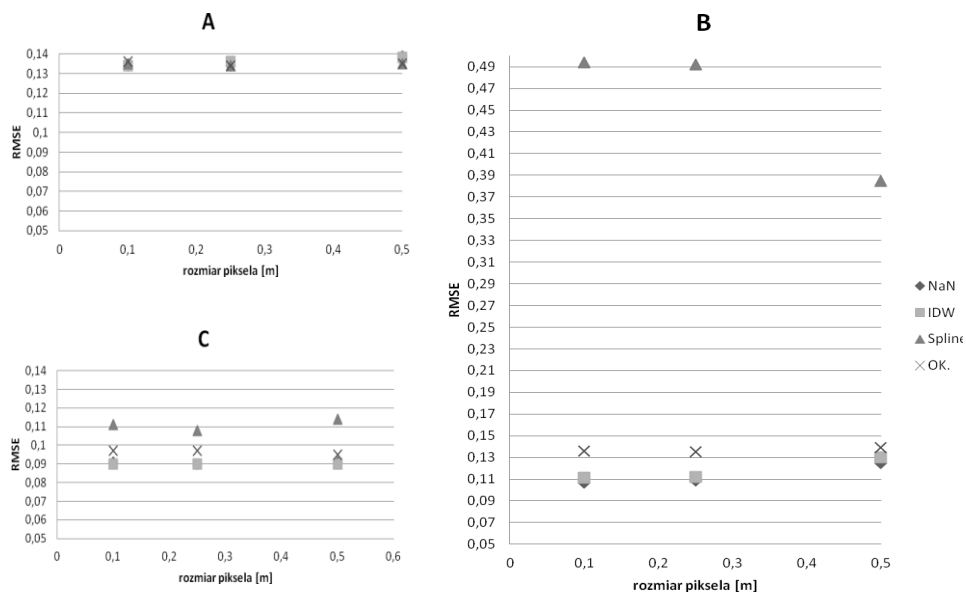
RMSE	Rozmiar celki [m]	Punkty kontrolne	NaN	IDW (p=2)	Spline
A+B+C	0.1	K1	0.076	0.087	0.074
		K2	0.390	0.421	0.439
	0.25	K1	0.079	0.089	0.079
		K2	0.382	0.427	0.471
	0.5	K1	0.084	0.092	0.083
		K2	0.443	0.598	0.576

Dodatkowo, w celu porównania parametrów obliczono RMSE dla gotowego NMT o rozdzielczości 1 m pochodzącego z projektu ISOK. Obliczeń dokonano w oparciu o punkty kontrolne K2 (tabela 3).

Tabela 3. Błąd RMSE dla poszczególnych obszarów NMT z projektu ISOK

RMSE	A	B	C
K2	0.137	0.749	0.282

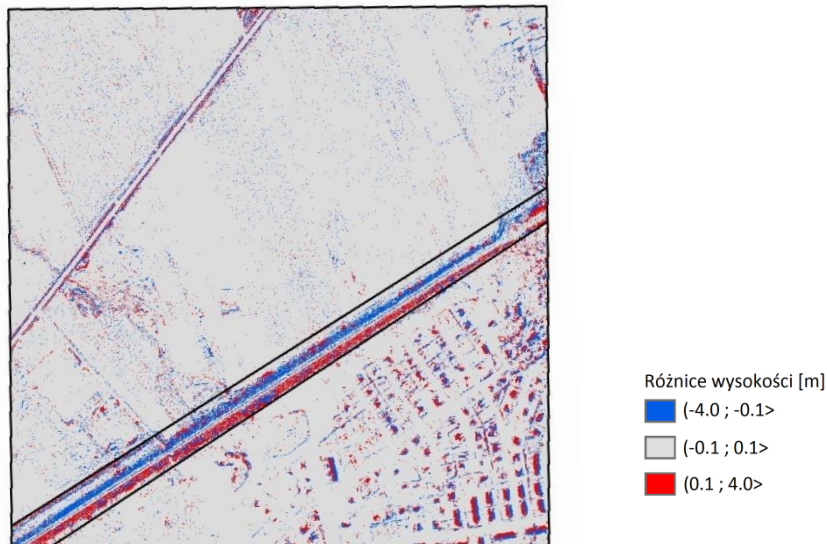
W kolejnym etapie poddano analizie rozkład błędu dla całego badanego obszaru oraz w poszczególnych częściach (rys. 5).



Rys.5. Wartości błędu RMSE dla różnych metod interpolacji

W celu graficznej prezentacji różnic porównano model pochodzący z projektu ISOK z modelem o rozdzielczości 0.5m, uzyskanym w wyniku interpolacji IDW. Obraz różnicowy przedstawiający miejscowe różnice wysokości w obu modelach przedstawiono na rysunku (rys. 6).





Rys.6. Obraz różnicowy modeli NMT

#### 4. DYSKUSJA

Weryfikacja wysokości punktów, znajdujących się na powierzchni ziemi, zmierzonych za pomocą lotniczego skaningu laserowego dała wynik pozytywny. W wyniku pomiarów bezpośrednich stwierdzono, że wysokość wybranych punktów spełnia wymogi stawiane danym ISOK, a różnica wysokości wynosi mniej niż 10 cm. Przeprowadzone analizy porównawcze otrzymanych NMT dają możliwość wskazania pewnych podobieństw i różnic z uwzględnieniem ukształtowania terenu, gęstości siatki oraz wyboru metody interpolacyjnej. Wyraźnie widać, iż istotnym czynnikiem wpływającym na jakość NMT jest ukształtowanie i zagospodarowanie terenu. Dla całego badanego obszaru RMSE jest wyższy (tabela 2) niż dla dwóch części składowych (A i C) (tabela 1). Jedynie dla części stanowiącej nasyp kolejowy (B) RMSE znacznie przekracza łączną wartość błędu. Analiza wartości RMSE (tabela 1) w poszczególnych obszarach wykazuje najlepsze wyniki dla obszarów, w których powierzchnia nie jest pokryta roślinnością, a zróżnicowanie rzeźby terenu jest nieduże (A i C). Wielkość błędu interpolacji jest powiązana z błędem NMT, który zgodnie z oczekiwaniami okazał się najmniejszy dla terenów A i C. Kolejną kwestią, którą poddano analizie była wielkość celek stosowanych w tworzonych NMT. W większości badane rozdzielczości w zakresie 0.1–0.5 m nie wykazały dużego wpływu na wielkość RMSE (tabela 1 i 2). NMT uzyskano poprzez zastosowanie różnych metod interpolacyjnych, zarówno deterministycznych jak i stochastycznej. Zastosowane metody dały zbliżone wyniki w badanych obszarach w zakresie RMSE. Różnice wartości błędu pomiędzy modelami wykonanymi poszczególnymi metodami interpolacji nie są w większości istotne. Można jednak zauważyć pewną rozbieżność wyników dla terenu (B). W sytuacji większego zróżnicowania w terenie (B) lepsze wyniki interpolacji uzyskano dla metody NaN (RMSE

dla różnych rozdzielczości modelu wynosi  $0,107 \div 0,137$ ), natomiast interpolacja funkcjami sklejonymi Spline dała najgorsze rezultaty (RMSE dla różnych rozdzielczości modelu wynosi  $0,148 \div 0,494$ ). W ostatnim etapie porównano model NMT otrzymany metodą interpolacyjną dla wielkości oczka 0.5 m oraz NMT pozyskany z ISOK tworząc model różnicowy (Rys.6). Wyraźnie widać, że największe zróżnicowanie w wysokościach otrzymano dla nasypu kolejowego (B), gdzie teren pokryty jest wysoką roślinnością. Przyczyną takiego zjawiska może być błędna klasyfikacja punktów w chmurze, polegająca na przypisaniu im niewłaściwej kategorii. W eksperymencie nie była badana poprawność klasyfikacji oraz nie korygowano błędów wyinterpolowanych modeli. Można natomiast przypuszczać, że w modelu z ISOK takie usterki zostały usunięte. Mniejsze różnice występują w obszarze z zabudowaniami (C), chociaż w miejscach występowania budynków również ich wartości są znaczne. Najlepsze dopasowanie wysokości celek uzyskano w terenie niemal jednorodnie pokrytym polami uprawnymi (A).

## 5. WNIOSKI

W wyniku realizacji projektu ISOK utworzono zasób danych pomiarowych w postaci chmur punktów i wtórnych (interpolowanych) NMT oraz NMPT o rozdzielczości 1m. Szczególnie interesujące są dane pomiarowe wykonane z rozdzielczością od 4 do 12 punktów na  $m^2$  (w zależności od obszaru skanowania). Na podstawie tych pomiarów można wygenerować NMT o rozdzielczości większej niż oferowana standardowo (przynajmniej 0.5 m). Analiza dokładności NMT utworzonych na podstawie chmury punktów z projektu ISOK w standardzie II z uwzględnieniem różnych aspektów pozwala na wskazanie następujących wniosków:

- istotna jest jednorodność ukształtowania terenu: wyniki dla podobszarów wyraźnie (ok. 20cm) różnią się od wyników dla całego badanego obszaru;
- gęstość punktów źródłowych (12 punktów/ $m^2$ ) dało podobne wyniki RMSE dla różnych rozdzielczości generowanych NMT (0.1m; 0.25m; 0.5m) z uwzględnieniem jednorodności obszarów;
- zastosowane różne metody interpolacji dały podobne rezultaty (różnice w centymetrach) dla jednorodnych obszarów. Jedynie metoda Spline odbiega od pozostałych co może być spowodowane charakterem ukształtowania obszaru środkowego (B), gdzie znajduje się nasyp i wówczas raczej nie stosuje się metod interpolacji tego typu, ponadto warto zwrócić uwagę, iż zastosowanie krigingu pozwala na analizę błędów na całym badanym obszarze poza uśrednioną wartością RMSE.

## LITERATURA

- Anderson E. S., Thompson J. A. Austin R. E. 2005. LiDAR density and linear interpolator effects on elevation estimates. *International Journal of Remote Sensing*, 26(18), 3889-3900.
- Borrough P.A., McDonnell, R.A., 1998. *Principles of Geographical Information Systems*. Oxford University Press, New York, 333-335.
- Chaplot V., Darboux F., Bourennane H., Leguedois S., Silvera N., Phachomphon K., 2006. Accuracy of interpolation techniques for the derivation of digital elevation models in relation to landform types and data density, *Geomorphology*, 77(1-2), 126-141.
- Desmet P.J.J. 1997. Effects of interpolation errors on analysis of DEMs. *Earth Surface Processes and Landforms*, 22(6), 563-580.
- El – Sheimy N., Valeo C., Habib A., 2005. *Digital Terrain Modelling: Acquisition, Manipulation And Applications*. Artech House: Boston, MA, 257.
- Gołuch P., Borkowski A., Józków G., 2008. Badanie dokładności NMT interpolowanego na podstawie danych lotniczego skaningu laserowego systemu ScaLARS. *Acta Scientiarum Polonorum Geodesia et Descriptio Terrarum*, 7(2), 37-47.
- Gaździcki J., 2002. *Leksykon geomatyczny – Lexicon of Geomatics*. Polskie Towarzystwo Informatyki Przestrzennej / Wieś Jutra,
- Kyriakidis P.C., Goodchild M.F. 2006. On the prediction error variance of three common spatial interpolation schemes. *International Journal of Geographical Information Science*, 20(8), 823-855.
- Liu X., Zhang Z., Peterson J., Chandra S., 2007. *The effect of LiDAR data density on DEM accuracy*. Proc. of International congress on modelling and simulation (MODSIM07), Christchurch, New Zealand, 1363-1369.
- McCullagh, M.J. 1988. Terrain and surface modelling systems: theory and practice. *Photogrammetric Record*, 12(72), 747-779.
- Ramirez, J.R. 2006. A new approach to relief representation. *Surveying and Land Information Science*, 66(1), 19-25.
- Urbański J., 2010. *GIS w badaniach przyrodniczych*. Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk, 148-158.
- Zarychta R., Zarychta A., 2013. Zastosowanie Krigingu zwyczajnego do rekonstrukcji i wizualizacji relief w miejscu odkrywkowej eksploatacji piasku. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, wydanie specjalne: Monografia „Geodezyjne Technologie Pomiarowe”, 133-146.
- Zimmerman, D., Pavlik, C., Ruggles, A., Armstrong, M., 1999. An experimental comparison of ordinary and universal kriging and inverse distance weighting. *Mathematical Geology*, 31, 375-390.

**POSSIBILITIES OF GENERATION A PRECISION NMT BASED ON CLOUDS OF POINTS OBTAINED IN PROJECT ISOK**

KEY WORDS: interpolation, airborne laser scanning, DTM

**Summary**

Creating and visualizing DTM based on data from airborne laser scanning become a common practice. Quality of DTM depends on many factors. The paper analyzes the process of creating a DTM in terms of diversity of terrain, the size of grid (the cell size) and methods of interpolation, based on data obtained from the project ISOK for a part (1km<sup>2</sup>) of the city of Koszalin. Deterministic and stochastic interpolations are used for cell sizes of 0.1 m, 0.25 m and 0.5 m. Moreover, the models were compared with DTM obtained from the ISOK. Diversity of terrain has the biggest impact on the quality of DTM based on LIDAR data. Furthermore, depending on the application of the model, it has been checked if reducing the cell size of the created model GRID affects the quality of the DTM, especially in the context of mapping morphological forms.

Dane autorów / Authors details

dr Anita Biszof  
e-mail: anitabiszof@gmail.com

dr inż. Tomasz Oberski  
e-mail: tomasz.oberski@tu.koszalin.pl

Przesłano / Submitted 17.12.2018  
Zaakceptowano / Accepted 31.12.2018