

**PRZETWARZANIE LOTNICZYCH DANYCH LIDAROWYCH
DLA POTRZEB GENEROWANIA NMT I NMPT**

**AIRBORNE LIDAR DATA PROCESSING FOR
DIGITAL SURFACE MODEL AND DIGITAL TERRAIN MODEL
GENERATION**

Beata Hejmanowska, Natalia Borowiec, Monika Badurska

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

SŁOWA KLUCZOWE: LIDAR, NMT, NMPT

STRESZCZENIE: Przedmiotem prezentowanych analiz było testowanie metodyki przetwarzania lotniczych danych lidarowych dla potrzeb tworzenia numerycznego modelu terenu (NMT) i numerycznego modelu powierzchni terenu (NMPT). Testowanie przeprowadzono w oparciu o dane lidarowe udostępnione przez instytut badawczy UE. Obszar testowy obejmował okolice Ispry we Włoszech. Do badań wykorzystano oprogramowanie Terrasolid (TerraScan, TerraModeler) oraz Geomedia. Testowano metodykę przetwarzania danych lidarowych i badano dokładność wewnętrzną i zewnętrzną NMT. Optymalna długość trójkąta w TerraScan wynosiła 45 m. Wewnętrzną dokładność NMT (porównanie siatki NMT z danymi pomiarowymi z lidara) oszacowano w zakresie: 10-30 cm. Porównanie NMT z pomiarem GPS wykazało błąd systematyczny 50 cm, a odchylenie standardowe 20-30 cm. W artykule zostały zamieszczone wyniki badań prowadzonych w ramach projektu UE, JRC. Natomiast niniejsza publikacja została przygotowana w ramach projektu AGH nr: 11.11.150.949.

1. WSTĘP

Lotniczy skaning laserowy jest obecnie technologią bardzo intensywnie badaną na świecie. Coraz częściej mamy do czynienia z tego typu danymi. Dane surowe ze skaningu laserowego, w postaci bardzo gęstej chmury punktów (do kilkudziesięciu punktów na metr kwadratowy) można analizować wizualnie, praktycznie bez żadnego wstępnego przetwarzania, pod warunkiem dysponowania odpowiednim oprogramowaniem do otwarcia plików źródłowych. Zwykle jednak dane surowe są poddawane różnym filtracjom, w celu wygenerowania NMT, NMPT, ekstrakcji budynków itp. Oprogramowanie służące do tego celu ma szereg funkcji i opcji. Zwykle nie są znane, dostatecznie szczegółowo, zaimplementowane algorytmy. Oznacza to, że konieczne jest testowanie oprogramowania w celu poznania jego możliwości, ograniczeń i wpływu przyjętych parametrów na wynik poszczególnych procedur obliczeniowych.

2. PRZEGLĄD LITERATURY

Ze względu na niepodważalne zalety skaningu laserowego, pozyskane dane pomiarowe wykorzystuje się w wielu dziedzinach gospodarki. Początkowo określenie „lidar” kojarzyło się z pomiarem punktów, a wynikiem końcowym był NMT.

Wraz z rozwojem nauki i techniki, wzrastała również świadomość otaczającej nas rzeczywistości. Zaczął wzrastać popyt na dane, które dokładnie obrazują badaną powierzchnię, a pozyskane są w sposób prosty i szybki. Technika lotniczego skaningu laserowego zapewnia wysoką dokładność informacji topograficznej i jest wykorzystywana przez wielu użytkowników w różnych gałęziach gospodarki, wśród których można wyróżnić:

- generowanie NMT i NMPT dla terenów zabudowanych - planowanie przestrzenne, telekomunikacja, ocena rozprzestrzeniania się hałasu i zanieczyszczeń (Baillard, 2004).
- generowanie NMT i NMPT dla obszarów leśnych – ocena wartości ekonomicznej lasu oraz pozyskiwanie takich informacji o lesie, jak: pole pierścicowego przekroju, powierzchnia koron drzew, granica rolno-leśna, objętość i wysokość osadzenia korony (Hyypä et al, 2004; Morsdorf et al., 2003; Pitkänen et al, 2004; Weinacker et al., 2004).
- pomiar i kartowanie lodowca, okresowe badania dynamiki czoła lodowca (Kodde M.P, et al 2007).
- budowanie NMT o wysokiej dokładności dla potrzeb projektowanie przebiegu dróg, torów kolejowych, rurociągów, słupów linii wysokiego napięcia (Clode S. et al.,2004; Melzer T.,2004).
- budowa przestrzennego modelu aglomeracji miejskich - trójwymiarowe modele miast (Tóvári D, 2004).

3. OBSZAR TESTOWY I DANE ŹRÓDŁOWE

Wszystkie dane wykorzystane w pracy zostały udostępnione przez Wspólnotowe Centrum Badawcze Unii Europejskiej (JRC - Joint Research Centre), jednostkę Agriculture and Fisheries (Hejmanowska B. *et.al* 2008).

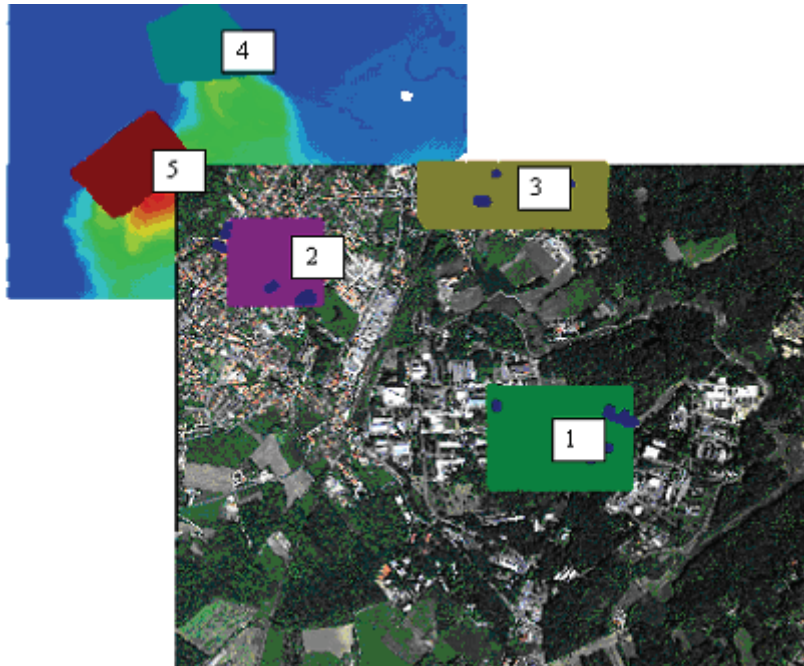
Na dane składały się:

- Lotnicze dane lidarowe dostarczone w formie plików ASCII, zawierające współrzędne XYZ pierwszego i ostatniego impulsu wraz z siłą sygnału, o gęstości 2 punktów na m². Dane zostały zarejestrowane w kwietniu 2005 roku.
- Zobrazowania kamery cyfrowej ADS40 – ortofotomapa z wielkością piksela 0.2 m, obejmująca częściowo miejscowość Ispra we Włoszech oraz centrum badawcze JRC (Rys. 1). Dane zostały pozyskane w maju 2005 roku.
- Współrzędne XYZ punktów kontrolnych z bezpośredniego pomiaru GPS RTK, wykorzystane do wyznaczenia dokładności bezwzględnej.

Do analiz wybrano dwa obszary, dla których wygenerowano NMT i NMPT o wielkości siatki 1m. Dane przedstawiały miejscowość Ispra we Włoszech wraz z centrum badawczym JRC. Pierwszy obszar obejmował swym zasięgiem okolice JRC (duże budynki biurowe) oraz fragment miejscowości z typową zabudową jednorodziną.

Obszar ten charakteryzował się niewielkim zróżnicowaniem ukształtowania terenu i częściowo pokrywał się z zasięgiem ortofotomapy. Drugi fragment obejmował swym zasięgiem nadbrzeżną część Ispry, wzdłuż jeziora, z urozmaiconą rzeźbą terenu.

Dodatkowo do przeprowadzenia analizy dokładności wybrano pięć pól testowych, dla których wygenerowano NMT z wielkością siatki 0.1 m, ich rozmieszczenie przedstawia poniższy rysunek (Rys. 1).



Rys. 1. Obszar badań z pięcioma polami testowymi (okolice JRC – pole 1, 2 i 3, okolice jeziora – pole 4 i 5) oraz lokalizacja punktów kontrolnych z pomiaru GPS RTK (niebieskie punkty)

4. METODYKA BADAŃ

Przetworzenie surowych danych ze skaningu laserowego oraz pozostałe prace związane z wygenerowaniem NMT i NMPT zostały wykonane w oprogramowaniu firmy Terrasolid, natomiast wszystkie dalsze analizy dokładnościowe oraz wygenerowanie ciągłego NMPT zostało przeprowadzone w programie Geomedia Professional/Geomedia GRID.

4.1. Przetwarzanie danych

Pierwszym etapem badań była klasyfikacja pomierzonej „chmury punktów” na odpowiednie warstwy terenu i pokrycia terenu. Punkty w zależności od wysokości zostały przeklasyfikowane na następujące warstwy: „*low points*”, „*ground*”, „*low vegetation*”, „*medium vegetation*”, „*high vegetation*” i „*building*”. Ponieważ etap

klasyfikacji jest procesem automatycznym, dlatego przed ostatecznym wygenerowaniem NMT i NMPT z odpowiednich warstw, przeprowadzono ich ręczną korekcję. Ostatecznie NMT i NMPT zostały wyeksportowane w programie Terrasolid w formie siatki regularnej (model GRID), co pozwoliło zaimportować dane do programu Geomedia Professional w formie plików ASCII.

Podczas przetwarzania danych ze skaningu laserowego nie wykorzystano informacji o intensywności sygnału (pierwszy i ostatni impuls zostały potraktowane jako jednakowe), co mogłoby być bardzo przydatne w bardziej szczegółowej pracy dotyczącej wykrywania budynków.

4.2. Filtracja danych lidarowych

Proces filtracji danych lidarowych wykorzystywany jest do budowania NMT i polega na eliminacji punktów, które zostały odbite od elementów pokrycia terenu tj. budynki, roślinność. Po wybraniu punktów terenowych, pozostałe punkty poddane są klasyfikacji. Klasyfikacja dzieli „chmurę punktów” na warstwy, uzależnione od wysokości. W badaniach wykorzystano filtrację opartą na algorytmie aktywnego modelu TIN (Axelsson, 2000). Idea filtracji opiera się na wygenerowaniu wstępnej powierzchni przebiegającej poniżej wszystkich punktów pomiarowych, a następnie powierzchnia ta jest łączona z punktami terenowymi za pomocą tzw. punktów łączących, spełniających określone warunki – odległość iteracyjną oraz kąt iteracyjny.

4.3. Budowanie NMT

W technologii lotniczego skaningu laserowego numeryczny model terenu reprezentowany jest przez zbiór punktów rozproszonych, które zostały wyodrębnione z całej „chmury punktów”. Aby przeprowadzić analizy dokładnościowe NMT w Geomediach, należało zbudować model terenu w postaci siatki regularnej GRID. W programie firmy Terrasolid istnieją dwie metody interpolacji punktów: metoda triangulacji i metoda odbicia (zakładająca wysokość określoną pierwszym, średnim lub ostatnim odbiciem).

W obu metodach, oprócz wielkości oczka siatki, określa się parametr odpowiedzialny za uzupełnienie „dziur” występujących w NMT. W metodzie triangulacyjnej jest to długość boku trójkąta, natomiast w metodzie odbicia rozmiar „dziury” w NMT wyrażony w pikselach. W zależności od doboru wielkości parametru, wypełniane są regularną siatką, miejsca NMT, w których brakuje punktów terenowych.

W pracy przeprowadzono testy, które pozwoliły na wybór takiej metody interpolacyjnej, dzięki której uzyskano NMT o najwyższej dokładności. Przetestowano następujące długości trójkątów: 2 m, 15 m, 45 m, 70 m. Natomiast w drugiej metodzie przetestowano różne wypełnienia „dziur”: 3, 10 i 30 pikseli. Ostatecznie, po przeprowadzeniu analizy otrzymanych wyników, wybrano metodę triangulacji z maksymalną długością boku trójkąta równą 45 m.

4.4. Budowanie NMPT

Wygenerowanie numerycznego modelu pokrycia terenu odbyło się po uprzednim wyodrębnieniu punktów, nie należących do terenu, ich klasyfikacji i ręcznej korekcji.

Podczas budowania NMPT, poszczególne warstwy tj. „*low vegetation*”, „*medium vegetation*”, „*high vegetation*” oraz „*building*” zostały połączone i w celu wygenerowania ciągłego modelu nałożone na NMT. Model GRID dla NMPT został wygenerowany w oparciu o ten sam algorytm interpolacji jak w przypadku NMT (metoda triangulacji, maksymalna długość trójkąta: 45), z wielkością oczka siatki równą 1 m.

4.5. Analiza dokładności

Analiza dokładności NMT została przeprowadzona w programie Geomedia Professional. Na podstawie stworzonych map różnicowych porównano wygenerowany NMT z surowymi danymi lidarowymi (oryginalne punkty po klasyfikacji i ręcznej korekcji) oraz z danymi z pomiaru GPS RTK (po rasteryzacji).

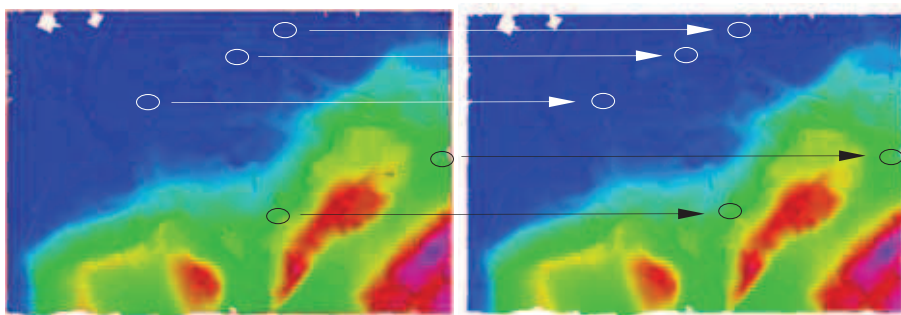
Analizę dokładności przeprowadzono dla NMT w dwóch aspektach: zgodności wewnętrznej modelu z danymi źródłowymi i porównując model z wysokością terenu pomierzoną metodą GPS RTK. Wygenerowano histogramy map różnicowych, obliczono wartość średnią błędu i odchylenie standardowe. Analizę dokładności przeprowadzono dla pięciu pól testowych. Do analizy dokładności wykorzystano model o wielkości siatki 0.1 m i 1 m. NMT o wielkości siatki 0.1 m wybrano, uznając, że jest on bardziej zbliżony do rzeczywistej rozdzielczości pomiaru laserowego. NMT o rozdzielczości 1 m wybrano z kolei dlatego, że jest to standardowa wielkość oczka siatki modelu wysokościowego generowanego w oparciu o lotniczy skaning lidarowy.

Dokładność wewnętrzną została określona na podstawie mapy różnicowej pomiędzy NMT, a danymi źródłowymi wykorzystanymi do interpolacji modelu NMT. Dokładność bezwzględną wyznaczono w oparciu o pomiar bezpośredni GPS RTK wykonany przez A. Simę JRC. Obliczono różnice pomiędzy NMT, a pomiarem GPS, średnią wartość odchyłki i odchylenie standardowe.

5. WYNIKI

5.1. Wyniki klasyfikacji, przykłady korekcji ręcznej

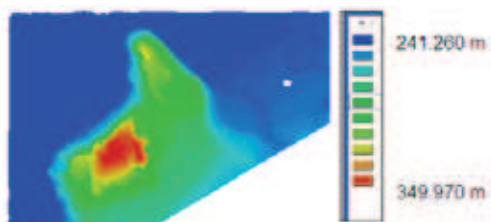
Automatyczna klasyfikacja pozwoliła na pogrupowanie punktów na poszczególne warstwy. Jednak na szczególną uwagę zasługiwał NMT, który sprawdzono w sposób wizualny i w przypadku występujących nienaturalnych deniwelacji, skorygowano manualnie. Ręczna korekta generalnie polegała na sprawdzeniu prawidłowości zaklasyfikowania punktów reprezentujących powierzchnie terenu. Najdokładniej prawidłowe zaklasyfikowanie punktów oraz ukształtowanie terenu można ocenić na przekrojach. Dlatego miejsca, gdzie pojawiały się nierzeczywiste dziury lub piki w NMT zostały sprawdzone i poprawione poprzez zmianę przynależności punktów do warstwy (Rys. 2).



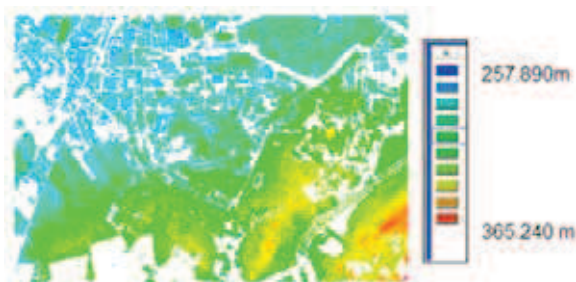
Rys. 2. Obszar I po lewej: przed korektą , po prawej: po ręcznej korekcie

5.2. Przykładowy NMT, NMPT

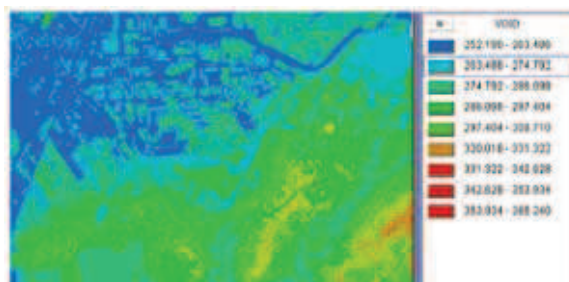
Na rysunkach poniżej (Rys. 3, Ryc.4, Rys. 5) znajdują się przykłady utworzonych NMT i NMPT o rozdzielczości 1 m. W przypadku NMT przedstawionego dla okolic jeziora (Rys. 3), obszar zaznaczony kolorem białym oznacza brak danych (dziury) i spowodowany jest zbyt krótką długością trójkąta podczas interpolacji modelu GRID.



Rys. 3. NMT dla okolic jeziora



Rys. 4. NMPT dla okolic JRC



Rys. 5. Ciągły NMPT nałożony na NMT dla okolic JRC.

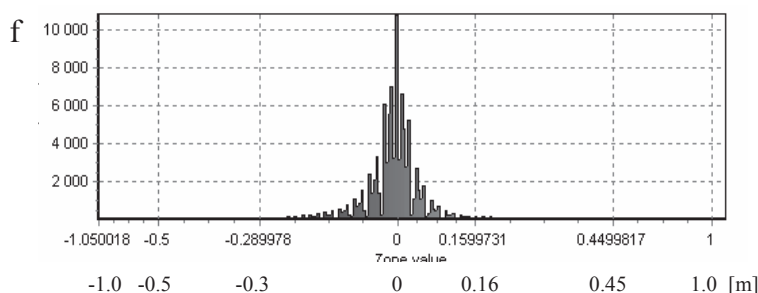
5.3. Wyniki analizy dokładności

Przykładowy histogram błędów dla pola testowego 1 przedstawiono na rysunku (Rys. 6). Na uwagę zasługują wąski kształt wykresu, bardziej zbliżony do rozkładu Laplace'a niż Gaussa. Większość odchyłek wysokości mieści się w zakresie: -0.2; 0.2 m. Natomiast rozkład przestrzenny błędów dla pola testowego 1 można przeanalizować, w 4 przedziałach wartości błędu, na rysunku (Rys. 7). Można zaobserwować większe błędy występujące na granicach gwałtownej zmiany wysokości, np. w pobliżu krawędzi budynków, czy lasu.

W tabelach (Tab. 1 i Tab. 2) zamieszone zostały wartości parametrów charakteryzujących dokładność wewnętrzną NMT (liczba punktów, średnia odchyłka, odchylenie standardowe oraz minimalna i maksymalna wartość odchyłki) dla wielkości oczka siatki 0.1 m. W ostatnim wierszu tabel znajdują się wartości tych parametrów dla NMT

o wielkości oczka siatki 1 m. Porównując wyniki dla NMT o różnych rozdzielczościach można zauważyć uśrednianie się błędu systematycznego i odchylenia standardowego dla oczka siatki 1 m w porównaniu z oczkiem siatki 0.1 m. Wewnętrzną dokładność NMT można oszacować:

- za pomocą odchylenia standardowego: JRC 0.09 m i obszaru w okolicy jeziora 0.29 m.
- za pomocą błędu systematycznego: JRC: -0.04 m i obszaru w okolicy jeziora: -0.033 m.



Rys. 6. Przykładowy histogram odchyłek ΔH dla pola testowego 1; zależność częstotliwości występowania błędu (f) od wielkości tego błędu; szczegółowe wartości oczekiwanych i odchyłeń standardowych dla rozdzielczości 0.1 m i 1 m znajdują się w tabelach (Tab. 1, Tab. 2)



Rys. 7. Rozkład przestrzenny różnic pomiędzy NMT, a danymi źródłowymi wykorzystanymi do budowy NMT (wysokości pomierzone za pomocą skaningu laserowego), obszar testowy 1); A - ΔH (-1.0; -0.2 m), B - ΔH (-0.2; -0.1 m), C - ΔH (0.1; 0.2 m), D - ΔH (0.2; 1.4 m), na pozostałym obszarze ΔH (-0.1; 0.1 m)

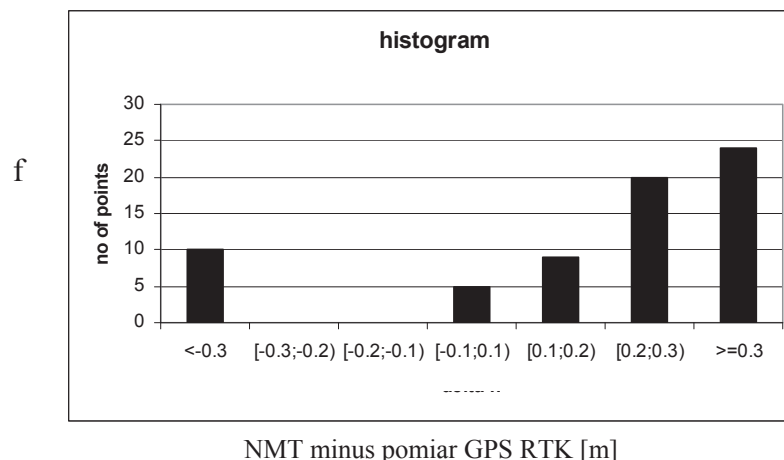
Tabela 1. Analiza dokładności – JRC (wielkość piksela - 0.1 m, test 1, 2, 3, wielkość piksela – 1 m dla całości)

Nr pola testowego	Liczba punktów	Średnia różnica [m]	Odchylenie standardowe [m]	Min Δh [m]	Max Δh [m]
1	96478	-0.0074	0.073	-1.05	+2.46
2	83596	+0.0007	0.083	-2.08	+2.93
3	81006	-0.0061	0.125	-3.63	+2.50
Średnia [m]		-0.04	0.090		
Rozmiar piksela – 1m	920477	+0.004	0.061	-2.57	+3.06

Tabela 2. Analiza dokładności – okolica jeziora (rozmiar piksela - 0.1 m, pola testowe 4, 5, rozmiar piksela – 1 m dla całości)

Nr pola testowego	Liczba punktów	Średnia różnica [m]	Odchylenie standardowe [m]	Min Δh [m]	Max Δh [m]
4	36723	-0.0164	0.316	-3.93	+9.86
5	27003	-0.0496	0.272	-7.81	+10.64
Średnia [m]		-0.033	0.290		
Rozmiar piksela – 1m	411090	+0.056	0.170	-5.90	+8.16

Dokładność bezwzględną modelu można przeanalizować w oparciu o histogram różnic wysokości NMT i z pomiaru GPS RTK (Rys. 8). Wartości średnie, odchylenia standardowe i wartości maksymalne i minimalne odchyłek znajdują się w tabelach (Tab.3 i Tab. 4). Histogram błędów bezwzględnych NMT nie ma charakteru rozkładu normalnego, być może ze względu na zbyt małą liczbę punktów kontrolnych, które w sposób nie reprezentatywny oddają charakter tego błędu. Analizując histogram można powiedzieć, że w około 50% przypadków błędy zawierają się w przedziale: -0.1 m do 0.3 m, a również w 50% przypadków błąd przyjmował duże wartości ujemne, był mniejszy niż -0.3 m i większy niż 0.3 m. Po wyeliminowaniu 4 punktów, dla których $\Delta h < -2.4$ m błąd systematyczny wyniósł 0.2-0.3 m (w zależności od analizowanej wielkości piksela) a odchylenie standardowe: ok. 0.5 m.



Rys. 8. Histogram rozkładu odchyłek pomiędzy NMT, a pomiarem GPS –RTK; 4 punkty o błędzie < -2.4 m; 12 punktów o błędzie w przedziale: [0.3 – 0.5 m), 9 w przedziale: [0.5 – 0.7) i 1 punkt o błędzie 1.3 m.

Tabela 3. Analiza dokładności NMT w oparciu o pomiar RTK GPS (wszystkie punkty kontrolne)

Liczba punktów	Średnia różnica [m]	Odchylenie standardowe [m] (Min Δh, Max Δh)
66 (piksel 0.1 m)	-0.009	0.907 (-4.001,+1.288)
51 (piksel 1 m)	+0.009	1.14 -3.952,+1.288)

Tabela 4. Analiza dokładności NMT w oparciu o pomiar RTK GPS (usunięte 4 punkty kontrolne, Δh < -2.4 m)

Liczba punktów	Średnia różnica [m]	Odchylenie standardowe [m] (Min Δh, Max Δh)
62 (piksel 0.1 m)	+0.186	+0.478 (-1.976,+1.288)
47 (piksel 1 m)	+0.262	+0.521 (-1.976,+1.288)

6. WNIOSKI

Podsumowując analizę dokładności NMT można sformułować następujące wnioski:

- Dla jakości NMT generowanego w oprogramowaniu firmy Terrasolid, wykorzystując metodę triangulacji, istotna jest wartość długości trójkąta. Zgodnie z przeprowadzonymi testami optymalna długość trójkąta wynosiła: 45 m.
- Wewnętrzną dokładność NMT można scharakteryzować za pomocą błędu systematycznego, wynoszącego około 0.04 m i odchylenia standardowego: 0.1-0.3 m.

Zgodnie z przeprowadzonymi badaniami dokładność NMT zależna od interpolacji wynosiła: +/- (0.3;0.5) m na poziomie prawdopodobieństwa 90%. Dokładność bezwzględną trudno określić jednoznacznie. Błąd średni kwadratowy wyniósł +/- 1.5 m (90%), a po usunięciu z analizy 4 punktów +/- 0.8 m (90%).

Wyniki przeprowadzonych badań prowokują do kilku refleksji. Dokładność wewnętrzna modelu, obliczona przez nas w oparciu o analizę odchyłek pomiędzy NMT, a lidarowymi punktami pomiarowymi okazała się zaskakująco niska: 0.3-0.5 m. Podobnie jak dokładność zewnętrzna, obliczona w oparciu o pomiar RTK. W tym przypadku zaobserwowano decymetrowe wartości błędu systematycznego i odchylenia standardowego. Uzyskana w wyniku przeprowadzonych badań dokładność jest gorsza od oczekiwanej. Przeprowadzona w ramach projektu JRC (Hejmanowska *et. al.* 2008) analiza korelacji pomiędzy błędem zewnętrznym, a nachyleniem i ekspozycją nie wykazała zależności pomiędzy tymi wielkościami. Planowane są dalsze badania w celu, między innymi, zbadania ewentualnej korelacji pomiędzy typem pokrycia terenu, a dokładnością. Na uwagę zasługują również rozkłady błędów, zarówno wewnętrznych (Rys. 6), jak i zewnętrznych (Rys. 8), które w obu przypadkach nie mają charakteru rozkładu normalnego. Histogram błędów wewnętrznych (Rys. 6) jest bardziej zbliżony do rozkładu Laplace'a niż do rozkładu normalnego. Natomiast histogram błędów zewnętrznych (Rys. 8) jest w ogóle niepodobny do rozkładu normalnego. Na tym etapie nie potrafimy zinterpretować tego faktu, poza stwierdzeniem, że być może pomiar RTK

był niewystarczająco reprezentatywny. Jeśli chodzi o błąd systematyczny to może on pochodzić zarówno z pomiaru RTK jak i lidarowego. Dla tego obszaru dostępne są zdjęcia lotnicze z kamery ADS 40, które planujemy wykorzystać. Pomiar kontrolny na modelu stereoskopowym, jako pomiar niezależny, pozwoliłby określić w sposób bardziej wiarygodny dokładność NMT uzyskanego ze skaningu laserowego.

7. LITERATURA

Axelsson P., 2000. DEM generation from laser scanner data using adaptive TIN models. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing* Vol. XXXIII/4B, 110-117, Amsterdam 2000.

Baillard C., 2004. Production of DSM/DTM in urban areas: role and influence of 3D vectors. *International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 35; PART 3, pages 112-117, Great Britain 2004.

Clode S., Kootsooko P., Rottensteiner F., 2004. The automatic extraction of roads from lidar data *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* Vol. III/3, Stambuł 2004.

Hejmanowska B., Borowiec N., Badurska M., 2008. Processing airborne data to Digital Surface Model and Digital Terrain Model. JRC research project 2008 final report, http://home.agh.edu.pl/~galia/research/Processing%20LIDAR%20%202007%20final%20report_5_03_2008.pdf.

Hyypä, J., Mielonen, T., Hyypä, H., Maltamo, M., Yu, X., Honkavaara, E., Kaartinen, H., 2005. Using individual tree crown approach for forest volume extraction with aerial images and laser point clouds. *ISPRS WG IIIA, V/3 Workshop "Laser scanning 2005"*, Enschede, Sept. 12-14, 2005.

Kodde M.P., Pfeifer N., Gorte B.G.H, Geist T., Höfle B., 2007. Automatic glacier surface analysis from laser scanning. *IAPRS Volume XXXVI, Part 3 / W52*, 2007.

Melzer T., Briese Ch., 2004. Extraction and Modeling of Power Lines from ALS Point Clouds. in *Proc. 28th Austrian Assoc. Pattern Recog. Workshop*, Hagenberg, Austria, Jun. 17-18, pp. 47-54, 2004.

Morsdorf, F., Meier, E., Koetz, B., Nüesch, D., Itten, K., Allgöwer, B., 2003. The potential of high resolution airborne laser scanning for deriving geometric properties of single trees. In *EGS - AGU - EUG Joint Assembly*, Nice, France, 2003.

Pitkänen, J., Maltamo, M., Hyypä, J., 2004. Adaptive methods for individual tree detection on airborne laser based canopy height model. *International Archives of Photogrammetry, remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVI - 8/W2, 2004.

Terrasolid. 2001. Tutorial TerraScan, TerraPhoto, TerraModel: <http://www.terrasolid.fi>.

Tóvári D., Vögtle T., 2004. Classification methods for 3D objects in laserscanning data. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* Vol. XXXV/3B, 408 - 413, Stambuł 2004.

Weinacker, H., Kock, B., Heyder, U., Weinacker, R., 2004. Development of filtering, segmentation and modelling modules for LiDAR and multispectral data as a fundament of an automatic forest inventory system. *International Archives of Photogrammetry, remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVI - 8/W2, 2004.

**AIRBORNE LIDAR DATA PROCESSING FOR
DIGITAL SURFACE MODEL AND DIGITAL TERRAIN MODEL
GENERATION**

KEY WORDS: LIDAR, DTM, DSM

SUMMARY

The analysis was aimed at testing of aerial lidar data for Digital Terrain Model (DTM) and Digital Surface Model (DSM) generation. Lidar data were obtained from The JRC, an EU research institute. The test area was located near Ispra, Italy. There were 5 test areas: 3 of them covered a flat JRC region and 2 covered the urban, modulated surface of Ispra near the lake. The TerraScan and Geomedia software packages were applied for data processing. Lidar data processing algorithms and DTM inner and external accuracy were tested. In the ground point classification using the Terrasolid, the triangle length and interaction angle were tested. The optimal triangle length in the TerraScan was found to amount to 45 m. The first phase involved generation of a DTM; subsequently, a DSM was developed based on lidar cloud point classification (low, middle and high vegetation, and buildings). The accuracy analysis was performed using a DTM with 0.1 m and 1 m pixel size. The resolution of 0.1 m was chosen to render the DTM as comparable as possible to the density of lidar points. However, resolution of 1 m was also tested because of its usual application in DTM generation from lidar data. Two kinds of accuracy were tested. We called them the inner (comparison of DTM and lidar data) and the external (comparison of DTM and GPS RTK) accuracy. The inner DTM accuracy was estimated at 10-30 cm. The DTM and GPS comparison allowed to determine the systematic error of 20-30 cm and standard deviation of 50 cm. The accuracy (inner and external) obtained was lower than expected. The future research should explain these phenomena. The work was supported by the AGH project No. 11.11.150.949

dr hab. inż. Beata Hejmanowska, prof. AGH
e-mail: galia@agh.edu.pl
tel. 012 617 22 72
fax: 012 633 17 91

mgr inż. Natalia Borowiec
e-mail: nboro@agh.edu.pl
tel. 012 617 39 93

mgr inż. Monika Badurska
e-mail: monika.badurska@gmail.com
tel. 012 617 39 93