

**APROKSYMACJA POWIERZCHNI TERENU NA PODSTAWIE DANYCH
LOTNICZEGO SKANINGU LASEROWEGO Z WYKORZYSTANIEM
MODELU AKTYWNYCH POWIERZCHNI***

**AIRBORNE LASER SCANNING DATA-BASED APPROXIMATION
OF TERRAIN SURFACE USING THE ACTIVE SURFACE MODEL**

Andrzej Borkowski, Grzegorz Józków

Institut Geodezji i Geoinformatyki, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

SŁOWA KLUCZOWE: flakes, NMT, TIN, GRID, interpolacja

STRESZCZENIE: Model aktywnej powierzchni (flakes) otrzymuje się w wyniku rozwiązania zadania wariacyjnego, w którym minimalizowana jest energia całkowita powierzchni, Energia ta opisuje zarówno właściwości geometryczne modelowanej powierzchni jak i właściwości oraz strukturę danych pomiarowych. Model flakes wykorzystywano dotychczas w procesie filtracji danych skaningu laserowego. W niniejszej pracy model ten zastosowano zarówno do filtracji błędów grubych jak i do interpolacji numerycznego modelu terenu (NMT). Otrzymany NMT porównano z modelem otrzymanym w wyniku interpolacji z wykorzystaniem oprogramowania komercyjnego ImageStation. Wykorzystując model aktywnej powierzchni wyinterpolowano NMT na regularnej siatce (GRID) o boku 1 m. Zbiór punktów terenu powstały w wyniku filtracji posłużył do utworzenia, z wykorzystaniem ImageStation, modelu GRID z węzłami ściśle odpowiadającymi węzłom NMT. Modele zbudowano dla terenu rolniczo-leśnego o powierzchni około 1.5 km². W około 1.5*10⁶ węzłach siatki obliczono różnice wysokości pomiędzy obydwo modelami. Średnia różnica wysokości pomiędzy modelami wynosi -0.05 m, a błąd średni różnic wysokości wynosi 0.34 m. Największe rozbieżności pomiędzy modelami zaobserwowano dla terenów leśnych. Dla pozostałych terenów różnice wysokości pomiędzy modelami są znikome. Przeprowadzony eksperyment numeryczny pokazał, że model flaks może być z powodzeniem zastosowany zarówno do filtracji danych skaningu laserowego jak i do interpolacji NMT na podstawie tych danych.

1. WSTĘP

Wiodącą technologią w zakresie pozyskiwania danych do budowy numerycznych modeli terenu (NMT), o wysokiej dokładności i szczegółowości, staje się w ostatnich latach coraz częściej lotniczy skaningu laserowy. Dokładność NMT budowanych w oparciu o tego typu dane zależy od trzech czynników:

- dokładności danych źródłowych (dokładności skanowania),
- dokładności (poprawności) identyfikacji w chmurze punktów, punktów należących do powierzchni terenu,
- metody interpolacji NMT.

Decydujące znaczenie ma oczywiście pierwszy z wymienionych czynników. Technologia lotniczego skaningu laserowego jest dopracowana na tyle, że błędy instrumentalne i związane z procesem skanowania mają mniejsze znaczenie.

O dokładności danych źródłowych decyduje głównie kategoria powierzchni terenu, jej ukształtowanie i pokrycie roślinnością. W zakresie filtracji danych skaningu laserowego opracowano szereg algorytmów. Praktyka opracowania danych wygląda tak, że po mniej lub bardziej zautomatyzowanym procesie filtracji możliwa jest pewna korekta w trybie interaktywnym a następnie dane przekazywane są do modułu (programu) generowania NMT z zaimplementowaną metodą (metodami) interpolacji.

W pracy (Borkowski, 2005) zaproponowano algorytm filtracji danych skaningu laserowego oparty na modelu aktywnej powierzchni (*flakes*). Algorytm ten, w wersji udoskonalonej, został poddany weryfikacji z wykorzystaniem danych referencyjnych (Borkowski i Józków, 2007; 2008). Przeprowadzone eksperymenty numeryczne dla różnych kategorii terenu pokazały, że algorytm ten może być zaliczony do najskuteczniejszych. Ideę tego algorytmu można w lapidarny sposób przedstawić następująco: w przestrzeni zbioru punktów skaningu laserowego umieszczana jest, prawie dowolnie, pewna powierzchnia startowa oparta na regularnej siatce, na ogół kwadratów. Powierzchnia ta „dopasowywana” (w sensie optymalnym) jest następnie w procesie iteracyjnym do danych skaningu z jednoczesnym odrzuceniem punktów nie należących do powierzchni terenu. Powstaje pytanie czy powierzchnia taka, po ostatnim kroku iteracji, może być uznana jako optymalna aproksymacja powierzchni terenu – odpowiednik NMT. Niniejsza praca jest próbą odpowiedzi na tak sformułowane pytanie. Aktywny model powierzchni wykorzystano zarówno do filtracji tzw. błędów grubych skaningu jak i interpolacji NMT.

2. MODEL AKTYWNEJ POWIERZCHNI

Model aktywnej powierzchni otrzymuje się w wyniku rozwiązania zadania wariacyjnego, w którym minimalizowana jest energia całkowita powierzchni,

$$E_{tot} = E_{int} + E_{ext} \rightarrow \min. \quad (1)$$

Energia wewnętrzna E_{int} opisuje właściwości geometryczne modelowanej powierzchni i jest ważoną sumą jej nachylenia (spadku), reprezentowanego przez kwadrat normy gradientu $z_x^2 + z_y^2$ i krzywizny, reprezentowanej przez sumę kwadratów drugich pochodnych $z_{xx}^2 + 2z_{xy}^2 + z_{yy}^2$,

$$E_{int} = \frac{\alpha}{2}(z_x^2 + z_y^2) + \frac{\beta}{2}(z_{xx}^2 + 2z_{xy}^2 + z_{yy}^2) \quad (2)$$

Parametry wagowe α i β dobierane są zależnie od zastosowania i pożądanych właściwości geometrycznych (gładkości) modelowanej powierzchni. Energia zewnętrzna jest zależna od danych i jest definiowana w zależności od zastosowania.

Rozwiązanie zadania wariacyjnego (1) przedstawiono w pracy (Borkowski, 2004), w pracach (Borkowski, 2005) i (Borkowski i Józków, 2007; 2008) podano dalsze szczegóły algorytmu. Informacji tych nie będziemy tutaj powtarzać.

Dane pomiarowe aproksymowane są modelem aktywnej powierzchni, reprezentowanym w postaci siatki kwadratów, w sposób iteracyjny,

$$\mathbf{z}_t = (\mathbf{A} + \mathbf{I})^{-1}(\mathbf{z}_{t-1} + \mathbf{E}_{ext,t-1}), \quad (3)$$

gdzie:

$\mathbf{z}_t, \mathbf{z}_{t-1}$ - wektory wysokości punktów estymowanej, aktywnej powierzchni w aktualnym t i poprzednim $t-1$ kroku iteracji,

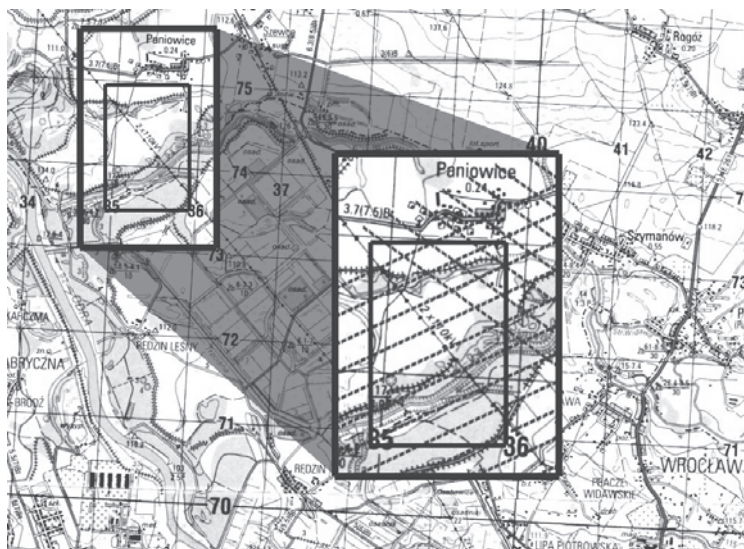
\mathbf{A} - macierz odpowiadająca energii wewnętrznej, zależna od parametrów α , i β

\mathbf{I} - macierz jednostkowa,

$\mathbf{E}_{ext,t-1}$ - wektor energii zewnętrznej, zależny od wartości residuów pomiędzy położeniem aktywnej powierzchni w kroku $t-1$ a danymi pomiarowymi.

3. FILTRACJA DANYCH ORAZ INTERPOLACJA NMT

Obszar badawczy, dla którego zbudowano NMT, stanowi teren o powierzchni 1.5 km^2 (1 km na 1.5 km). Jest to fragment doliny rzeki Widawy, znajdujący się w odległości około 1 km od jej ujścia do rzeki Odry (rys. 1).



Rys. 1. Obszar badawczy wraz z osiami lotu

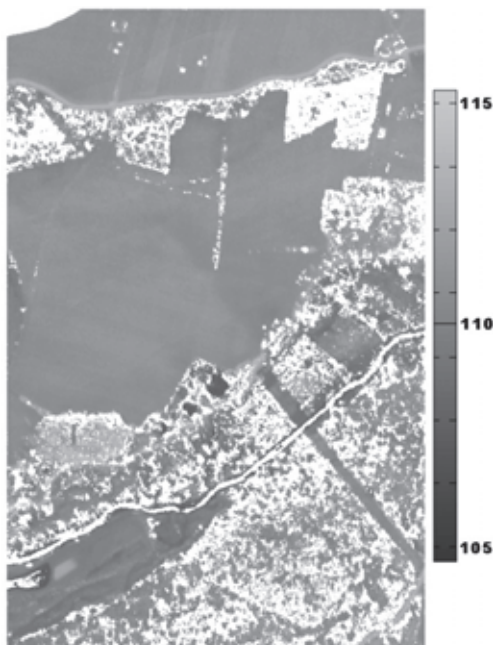
Badany obszar charakteryzują niewielkie deniwelacje terenu z wyróżniającymi się po obu stronach rzeki wałami przeciwpowodziowymi. Teren ten w około 35% pokryty jest gęstym, wysokim lasem (powierzchnia terenu mocno pofałdowana, można zauważyć kilka oczek wodnych). Pozostała część to łąka porośnięta wysoką roślinnością trawiastą (teren płaski).

Dla 20 kilometrowego odcinaka doliny rzeki Widawy wykonany został lotniczy skaning laserowy prototypowym systemem ScaLARS. Szczegółowy opis systemu ScaLARS oraz projektu lotniczego skanowania laserowego doliny rzeki Widawy znaleźć można w pracach (Borkowski *et al.*, 2006a; 2006b). Dane, które posłużyły do budowy

NMT stanowią zbiór 4.1 mln punktów pochodzących z połączonych fragmentów 13 skanów (rys. 1).

3.1. Filtracja danych

Filtrację danych przeprowadzono w oprogramowaniu MATLAB z wykorzystaniem autorskich algorytmów wykorzystujących model aktywnych powierzchni. Metoda ta charakteryzuje się dużą skutecznością, a poprawność filtracji przekracza znacznie 90% (Borkowski i Józków, 2007; 2008).



Rys. 2. Zbiór punktów terenu uzyskany w procesie filtracji

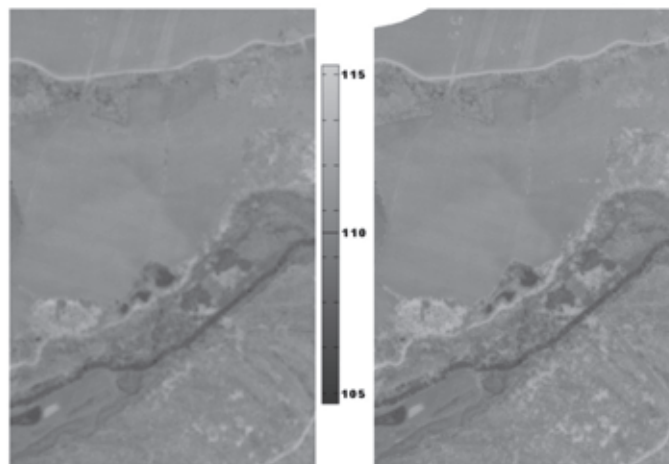
Filtrację przeprowadzono w podejściu hierarchicznym (Briese *et al.*, 2002). Polega ono na stopniowej eliminacji ze zbioru danych punktów nie będących odbiciami wiązki lasera od powierzchni terenu. Na podstawie punktów reprezentatywnych wybranych dla podobszarów powstałych z podziału całej powierzchni opracowania estymowana jest przybliżona powierzchnia, reprezentowana przez powierzchnię aktywną *flakes*. Punkty skaningu znajdujące się blisko tej powierzchni (w pewnym buforze) zostają sklasyfikowane jako punkty terenu. W każdym kolejnym kroku podejścia hierarchicznego wielkość podobszaru oraz bufora zostaje zmniejszana, dzięki czemu eliminowane są punkty znajdujące się coraz bliżej powierzchni terenu, jednak wciąż będące odbiciami wiązki lasera od obiektów nie terenowych.

W prezentowanych badaniach wykonano filtrację w 4 krokach począwszy od rozmiaru podobszaru 50 m na 50 m, a skończywszy na obszarze 1 m na 1 m. W wyniku przeprowadzonych obliczeń uzyskano zbiór około 2.6 mln punktów sklasyfikowanych jako punkty terenu (rys. 2).

3.2. Interpolacja NMT z wykorzystaniem aktywnej powierzchni

W przeprowadzonym procesie filtracji na każdym etapie filtracji hierarchicznej aproksymowana była powierzchnia aktywna będąca „zgrubnym” modelem terenu, z którym porównywane były punkty skaningu. Postanowiono zatem aproksymować NMT powierzchnią *flakes* na podstawie punktów sklasyfikowanych w procesie filtracji jako punkty terenu (rys. 2).

Przedstawiony w pracy model aktywnej powierzchni jest odporny na błędy grube, zatem wpływ błędnie sklasyfikowanych w procesie filtracji punktów będących tzw. błędami filtracji typu drugiego (punkty obiektów sklasyfikowane jako punkty terenu), nie powinien mieć istotnego wpływu na aproksymowany NMT. Ponieważ model *flakes* bazuje na danych rozmieszczonych w węzłach regularnej siatki GRID, konieczne było przeliczenie danych skaningu do takiej postaci. W tym celu wykorzystano metodę najbliższego sąsiada – punkty w węzłach siatki otrzymywały wysokości najbliższego punktu skaningu. Dzięki temu możliwe było również estymowanie powierzchni terenu na obszarach pozbawionych punktów skaningu (rzeka, oczka wodne). Powierzchnia aktywna, będąca jednocześnie modelem terenu w postaci regularnej, aproksymowana została w bardzo podobny sposób w jaki następowała aproksymacja trendu terenu podczas procesu filtracji. W odróżnieniu od filtracji podczas tworzenia NMT nie stosowano podejścia hierarchicznego, a jedynie jednoetapową estymację powierzchni aktywnej w regularnej siatce 1 m na 1 m. Z racji innego przeznaczenia powierzchni *flakes* parametry wagowe α i β w tym przypadku również były odmienne. Wizualizacja NMT (1.5 mln punktów) przedstawiona jest poniżej (rys. 3). Wyraźnie widoczne są wały przeciwpowodziowe, koryto rzeki oraz lokalne zagłębienia i wyniosłości terenu występujące w terenach leśnych. Model sprawia wrażenie „wygładzonego”, niemniej jednak zauważyć można obszary, które porośnięte są zwartą roślinnością leśną. Dla płaskich obszarów jest to szczególnie widoczne w miejscach, gdzie tereny łąki przylegają do lasu, gdyż znacznie zmieniona jest struktura obrazu. Spowodowane to może być przez trzy czynniki: dużą rozdzielczość utworzonego NMT, małą liczbą punktów pomiarowych w tych miejscach, błędami filtracji.



Rys. 3. Numeryczne Modele Terenu (wykorzystujący aktywne powierzchnie – z lewej, utworzony w oprogramowaniu ImageStation – z prawej)

3.3. Interpolacja NMT z wykorzystaniem oprogramowania ImageStation

Na podstawie zbioru punktów terenu powstałych w wyniku filtracji (rys.2) zbudowano drugi NMT z wykorzystaniem komercyjnego oprogramowania ImageStation (ImageStation DTM Collection, 2004). Oprogramowanie to umożliwia tworzenie zarówno modeli typu TIN jak i GRID.

W pierwszym etapie, na podstawie nieregularnie rozmieszczonych w przestrzeni punktów, tworzona jest trójwymiarowa siatka trójkątów – powstaje NMT w formie nieregularnej TIN. By zapobiec dużej liczbie trójkątów, a w efekcie obliczeń, możliwe jest przerzedzenie danych. Szczególnie przydatne jest to dla terenów płaskich. Ponieważ stworzony z wykorzystaniem aktywnych powierzchni NMT ma dużą rozdzielczość (1 m), dlatego też postanowiono nie redukować liczby danych pomiarowych i zbudować równie wysokorozdzielczy NMT. Powstały na podstawie około 2.6 mln punktów skaningu model TIN posiadał w przybliżeniu 1.8 mln trójkątów.

Wykorzystane oprogramowanie fotogrametrycznej stacji cyfrowej posiada możliwość wtórnego stworzenia modelu GRID z modelu TIN. Niestety w dokumentacji oprogramowania nie podano bliższych informacji na temat zastosowanego algorytmu. Analiza wyników pozwala jednak na sformułowanie przypuszczenia, że model regularny powstaje poprzez liniową interpolację wysokości w węzłach regularnej siatki.

Model GRID utworzony został w siatce 1 m na 1 m, a jej węzły wybrane zostały dokładnie w tych samych miejscach jak w NMT utworzonym z wykorzystaniem modelu aktywnych powierzchni. Ponieważ w narożnikach obszaru opracowania brak było punktów pomiarowych, dlatego też brak w tych miejscach wyinterpolowanych wysokości modelu GRID (oprogramowanie ImageStation nie wykonuje ekstrapolacji poza obszar pokryty siatką trójkątów). Wizualizacja zbudowanego w ten sposób NMT znajduje się powyżej (rys. 3). Utworzony model jest bardzo podobny do poprzedniego, jednak wyraźnie widoczna jest jego mniejsza „gładkość”. Znacznie wyraźniej zauważalne są również obszary, które porośnięte są zwartą roślinnością leśną. Wpływ na to miała najprawdopodobniej liniowa metoda interpolacji, co dla obszarów o niedostatecznej liczbie punktów terenu mogło spowodować błędną interpolację NMT.

4. PORÓWNANIE NUMERYCZNYCH MODELI TERENU I OCENA ICH DOKŁADNOŚCI

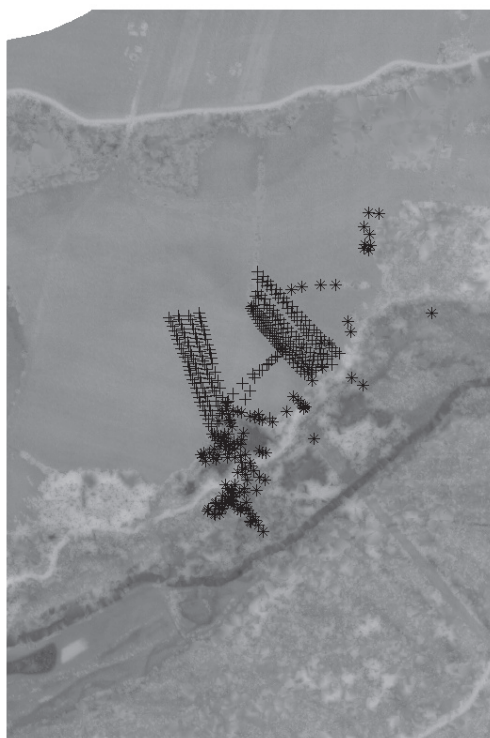
Zarówno dane lotniczego skaningu laserowego, jak i NMT z nich powstały mają różną dokładność na różnych kategoriach terenu (Gołuch *et al.*, 2007). Należałoby zatem porównać modele w częściach odpowiadających poszczególnym rodzajom terenu. Jednakże dla zbudowanych modeli terenu składających się niemalże z 1.5 mln punktów trudno przyporządkować każdemu punktowi jedną kategorię terenu. Postanowiono zatem porównać modele w całości. Z racji, iż model utworzony w oprogramowaniu ImageStation posiada nieco mniej punktów, dlatego z modelu utworzonego z wykorzystaniem aktywnych powierzchni usunięto punkty, których brak było w modelu ImageStation. Porównano ze sobą wysokości odpowiadających sobie węzłów siatki GRID obu modeli. Od wysokości NMT uzyskanego z wykorzystaniem aktywnych powierzchni odjęto wysokość modelu uzyskanego z wykorzystaniem oprogramowania uzyskując różnice Δh . Wyniki porównania przedstawione są poniżej (tabela 1).

Błąd różnic wysokości pomiędzy modelami wynosi 0.34 m i jest porównywalny ze średnim błędem danych systemu ScaLARS wynoszący ok. 0.35 m (Gołuch *et al.*, 2007), które posłużyły do zbudowania obu modeli. Można również stwierdzić, że model utworzony z wykorzystaniem aktywnych powierzchni leży nieco niżej niż model uzyskany z wykorzystaniem oprogramowania ImageStation.

Tabela 1. Porównanie wysokości węzłów siatki GRID obu modeli

Liczba węzłów	1490817
Δh minimalne [m]	-2.72
Δh maksymalne [m]	3.31
Δh średnie [m]	-0.05
Średnia bezwzględna Δh [m]	0.19
Błąd Δh [m]	0.34

Na części obszaru opracowanego NMT (rys. 4) bezpośrednio w terenie pomierzone zostały metodami GPS-RTK i tachymetryczną punkty terenu (Gołuch *et al.*, 2007). Traktując punkty pomierzone bezpośrednio w terenie jako bezbłędne, określono błędy obu NMT dla dwóch kategorii terenu: łąki, lasy. Określenie dokładności odbyło się poprzez obliczenie różnic wysokości punktów pomierzonych bezpośrednio w terenie i odpowiadających im wysokości interpolowanych z utworzonych modeli terenu. Wyniki oceny dokładności NMT przedstawione zostały poniżej (tabela 2).



Rys. 4. Pomierzone bezpośrednio w terenie punkty („+” – na łące, „*” – dla terenów porośniętych drzewami)

Tabela 2. Ocena dokładności Numerycznych Modeli Terenu

Kategoria terenu	NMT <i>flakes</i>			NMT ImageStation		
	Las	Łąka	Ogólnie	Las	Łąka	Ogólnie
Liczba punktów	149	245	384	149	245	384
Odchyłka minimalna [m]	-1.40	-0.06	-1.40	-1.28	-0.26	-1.28
Odchyłka maksymalna [m]	1.46	0.57	1.46	1.95	1.01	1.95
Średnia [m]	0.21	0.19	0.20	0.49	0.23	0.33
Średnia bezwzględna [m]	0.44	0.19	0.28	0.59	0.24	0.37
Błąd NMT [m]	0.49	0.10	0.31	0.53	0.16	0.37

Powyższe wyniki pokazują, że NMT aproksymowany z użyciem aktywnych powierzchni jest nieco dokładniejszy niż model powstały z użyciem komercyjnego oprogramowania ImageStation. Zarówno dla łąki jak i lasu mniejszy błąd ma NMT powstały z aproksymacji danych modelem aktywnych powierzchni. Jak wynika z przeprowadzonych obliczeń oba modele leżą nieco ponad rzeczywistą powierzchnią terenu. Ma to swoje uzasadnienie w fakcie, iż dane skaningu z których te modele powstały mają nieznaczne przesunięcie pionowe w górę. Większa wysokość modeli nie zależy w tym przypadku od metody aproksymacji NMT. Oba prezentowane modele mają dokładności zbliżone do dokładności danych lotniczego skaningu laserowego, a dla terenów łąk nawet większe. Świadczy to o poprawności obu metod w zadaniu aproksymacji NMT na podstawie danych lotniczego skaningu laserowego.

5. PODSUMOWANIE

W pracy przedstawiono metodę aproksymacji NMT na podstawie danych lotniczego skanowania laserowego z wykorzystaniem modelu aktywnych powierzchni. Zbudowany NMT porównany został z modelem uzyskanym na podstawie tych samych danych z wykorzystaniem komercyjnego oprogramowania fotogrametrycznej stacji cyfrowej ImageStation. W oparciu o bezpośrednie pomiary terenowe oceniono również dokładności obu modeli dla dwóch kategorii terenu: łąki i lasy.

Uzyskane wyniki świadczą o możliwości wykorzystania modelu aktywnych powierzchni do aproksymacji NMT. Błąd uzyskanego w ten sposób NMT wynosi 0.31 m i jest nieco mniejszy niż błąd NMT zbudowany na podstawie tych samych danych, lecz z wykorzystaniem oprogramowania komercyjnego. Dodatkową zaletą jest fakt, iż proces interpolacji NMT wykorzystuje ten sam algorytm obliczeniowy, jaki użyty został w celu filtracji chmury punktów skaningu laserowego. Oba etapy opracowania danych lotniczego skaningu laserowego w celu zbudowania NMT mogą być zatem połączone w jeden proces.

Uzyskane dokładności modeli terenu pokazują, że NMT uzyskany z wykorzystaniem modelu aktywnych powierzchni dobrze reprezentuje teren niezależnie od jego pokrycia jak i również od ilości danych pomiarowych. NMT uzyskany z wykorzystaniem metody interpolacji zaimplementowanej w oprogramowaniu ImageStation nie daje zadowalających rezultatów dla zwartych terenów leśnych, szczególnie w miejscach, dla których występują niewielkie ilości danych pomiarowych.

6. LITERATURA

Borkowski A., 2004. Modellierung von Oberflächen mit Diskontinuitäten. Deutsche Geodätische Kommission, Reihe C, Heft Nr 575.

Borkowski A., 2005. Filtracja danych lotniczego skaningu laserowego z wykorzystaniem metody aktywnych powierzchni. *Roczniki Geomatyki*, tom III, zeszyt 4, PTIP, s. 35-42.

Borkowski A., Gołuch P., Wehr A., 2006a. Rejestracja doliny rzeki Widawy z wykorzystaniem lotniczego skanowania laserowego. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 16., s. 53-62.

Borkowski A., Gołuch P., Wehr A., Schiele O., Thomas M., 2006b. Airborne laser scanning for the purpose of hydrodynamic modelling of Widawa river valley. *Reports on Geodesy*, No 2(77), pp. 85-94.

Borkowski A., Józków G., 2008. Airborne Laser Scanning Data Filtering Using Flakes. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVII, Part B3b, pp. 179-184.

Borkowski A., Józków G., 2007. Ocena poprawności filtracji danych lotniczego skaningu laserowego metodą aktywnych powierzchni. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 17, s. 83-92.

Briese C., Pfeifer, N., Dorninger P., 2002. Applications of the robust interpolation for DTM determination. Symposium ISPRS Commission III, Photogrammetric Computer Vision, Graz, 9 - 13 September 2002. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. XXXIV / 3A, pp. 55-61.

Gołuch P., Borkowski A., Józków G., 2007. Dokładność danych lotniczego skaningu laserowego systemu ScaLARS. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 17, s. 261-270.

ImageStation DTM Collection (ISDC), 2004. *User's Guide*. Z/I Imaging, Huntsville, Alabama, s. 132.

AIRBORNE LASER SCANNING DATA-BASED APPROXIMATION OF TERRAIN SURFACE USING THE ACTIVE SURFACE MODEL

KEY WORDS: flakes, DTM, TIN, GRID, interpolation

Summary

The active surface model (the flakes model) is determined by solving a variation problem in which the total energy of the surface is minimized:

$$E_{tot} = E_{int} + E_{ext} \rightarrow \min.$$

The internal energy, E_{int} describes geometrical properties of the modelled surface and is defined as the weighted sum of membrane kernel $z_x^2 + z_y^2$ and thin plate kernel $z_{xx}^2 + 2z_{xy}^2 + z_{yy}^2$:

$$E_{int} = \frac{\alpha}{2}(z_x^2 + z_y^2) + \frac{\beta}{2}(z_{xx}^2 + 2z_{xy}^2 + z_{yy}^2).$$

The weighting parameters α and β are chosen arbitrarily, the choice depending on implementation and geometrical properties (smoothness) of the modelled surface. The external energy E_{ext} depends on the data. Depending on the implementation, the external energy may be described in different ways.

So far, the active surface model has been used in research on filtration of airborne laser scanning data. The filtration is based on elimination of points (laser beam reflections) which do not belong to the terrain surface. The numerical tests performed confirmed the correctness of the method of airborne laser scanning data filtering presented. The filtration was correct in more than 90%.

In this work, the active surface model was used both for filtering out gross errors and for interpolating the digital terrain model (DTM). The DTM obtained was compared to the DTM built with the commercial software ImageStation.

In the active surface model application, a 1 m GRID DTM was interpolated. The filtering process produced a set of terrain points. The set was entered in the ImageStation to build a DTM of irregular TIN type. The software used allowed to transform this DTM to a regular GRID format. The GRID model was generated strictly in the same nodes to which the first DTM (interpolated using the active surface model) was interpolated.

The models were developed for a rural-forested area of about 1.5 km². Differences between the DTMs built using the flakes model and the ImageStation were calculated for about of 1.5•10⁶ GRID nodes. The altitude differences ranged from -2.72 to 3.31 m. The mean difference between the models was -0.05 m, the RMS of the differences amounting to 0.34 m. The largest discrepancies between the DTMs were identified in the forested part of the area, particularly where there were few terrain points. In the rural part of the area, the altitude differences between the models were small.

dr hab. inż. Andrzej Borkowski, prof. nadzw.
e-mail: borkowski@kgf.ar.wroc.pl
tel. (71) 3205609
fax: (71) 3205617

mgr inż. Grzegorz Józków
e-mail: jozkow@kgf.ar.wroc.pl
tel. (71) 3201951
fax: (71) 3205617