

I. Borowiecki

Akademia Rolnicza w Krakowie

**ATESTACJA APLIKACJI TERRASOLID W PROCESIE
PRZETWARZANIA „CHMURY PUNKTÓW” LOTNICZEGO
SKANINGU LASEROWEGO
(ZASTOSOWANIA I WIZUALIZACJE NMT)**

©Borowiecki I., 2007

Use in data processing of lidar data tested and proven applications, influences the cost of the elaboration as well as the accuracy of the numeric model of terrain. The performed certification of applications TerraModeler, TerraScan and TerraPhoto on two objects (Wawel Hill and neighbourhoods of Helsinki in Finland) was focused on application and visualization of NMT.

1. Wprowadzenie

Technologia lotniczego skaningu laserowego należy do współczesnych metod pozyskiwania informacji o powierzchni geograficznej ziemi. Przetworzenie (filtrowanie) „chmury punktów” uzyskanej w wyniku pomiaru lidarowego, pozwala na otrzymanie pełnowartościowego produktu z danymi o powierzchni geograficznej, którym jest numeryczny model terenu (NMT).

Liczne zastosowania numerycznego modelu terenu między innymi do automatycznego wyznaczenia wysokości w dowolnym punkcie, tworzenia przekrojów, rysunków aksonometrycznych powierzchni terenu, automatycznego interpolowania warstw, obliczania objętości mas ziemnych, spadków terenu i jego ekspozycji, wizualizacji 3D terenu, stanowią o wykorzystaniu NMT w wielu dziedzinach (górnictwie, komunikacji, łączności, ekologii, rolnictwie, hydrografii, ochronie środowiska, urbanistyce itp.).

W procesie postprocessingu danych lidarowych znajdują zastosowanie samodzielne pakiety oprogramowania (DTMaster, SCOP++Kornel, SCOP++Lidar) oraz aplikacje i narzędzia w postaci nakładek dla Microstation, do których należą produkty firmy TerraSolid Ltd. (TerraScan, TerraModeler, TerraPhoto).

Przetwarzanie „chmury punktów” należy do procesów szczególnie pracochłonnych (wymagających uczestnictwa operatora) i stanowi podstawowy składnik kosztów technologii lidarowych. Dlatego w etapie postprocessingu powinny znaleźć zastosowanie jedynie narzędzia przetestowane, korzystające z najnowszych algorytmów filtracyjnych, opracowanych w renomowanych ośrodkach naukowych i instytucjach badawczych.

W artykule przedstawiono wyniki testowania aplikacji programistycznych firmy TerraSolid, przeprowadzonej na dwóch obiektach badawczych (Wzgórze Wawelskie w Krakowie i okolice Helsinek w Finlandii).

2. NUMERYCZNY MODEL TERENU (NMT) I NUMERYCZNY MODEL POWIERZCHNI TERENU (NMPT)

2.1. Definicje NMT (DTM) i NMPT (DSM)

Wielokrotnie tworzono definicje numerycznego modelu terenu, do najważniejszych z nich możemy zaliczyć:

- numeryczny model powierzchni terenowej stanowi numeryczną reprezentację powierzchni terenu, utworzoną zazwyczaj jako zbiór odpowiednio wybranych punktów (X,Y,Z) tej powierzchni oraz algorytmy interpolacyjne umożliwiające jej odtworzenie w określonym obszarze (Gaździcki 1990),

- cyfrowy model terenu to struktura danych o charakterze ciągłym, w której współrzędne punktów (X,Y,Z) są przechowywane w zorganizowany sposób, jako dane punktowe, gdzie X, Y określają położenie punktu na płaszczyźnie, a Z jest wartością mierzonej zmiennej (np. wysokości) w danym punkcie (Urbański, 1997),
- numeryczny model rzeźby terenu (DTM – Digital Terrain Model) jest numeryczną, dyskretną (punktową) reprezentacją wysokości topograficznej terenu, wraz z algorytmem interpolacyjnym umożliwiającym odtworzenie jej kształtu w określonym obszarze (Kurczyński i Preuss, 2003),
- numeryczny model powierzchni terenu (DSM – Digital Surface Model) przedstawia opis powierzchni wraz z opisem obiektów wystających ponad powierzchnię gruntu (Kurczyński i Preuss, 2003).

2.2. Sposoby przedstawiania NMT

Wyróżniamy następujące sposoby przedstawiania numerycznego modelu powierzchni terenu (McGlone, Mikhail 2004):

- warstwie (linie reprezentujące punkty o danej wysokości),
- model GRID tzn. siatka kwadratów, których narożniki mają określone współrzędne X,Y oraz zazwyczaj interpolowaną rzędną Z. Zapisywane są w postaci równo odległych od siebie punktów w formacie ASCII lub w postaci plików rastrowych,
- przestrzeń przedstawiona za pomocą nieregularnych punktów, linii oraz krzywych reprezentujących geomorfologię terenu,
- model TIN (ang. Triangular Irregular Network) tzn. nieregularna siatka trójkątów, których wierzchołki mają pomierzone współrzędne X, Y, Z. Model TIN jest zalecany dla terenów o skomplikowanej rzeźbie terenu,
- profile i przekroje terenu, często wykonywane na podstawie już istniejących modeli GRID lub TIN.

2.3. Dokładność NMT

Dokładność budowy NMT zależy głównie od danych wejściowych, rozłożenia punktów wysokościowych wziętych do zbudowania modelu oraz znajomości dodatkowych danych jak np. linii szkieletowych (Wytyczne techniczne K - 2.8, 2001).

Dokładność wyznaczenia wysokości punktu z NMT poprzez interpolację opisuje wzór prof. Akcermann'a:

$$m_{NMT}^2 = m_z^2 + (\alpha d)^2 \quad (1)$$

gdzie:

m_{NMT} – średni kwadratowy błąd wyznaczenia wysokości punktu z NMT,
 m_z – średni kwadratowy błąd pomiarów przy tworzeniu NMT,
 α – parametr opisujący typ rzeźby terenu,
 d – średnia odległość między punktami, dla których wykonuje się pomiar.

Przyjmuje się: $\alpha = 0.004 \div 0.007$ dla terenów łatwych o gładkiej powierzchni,
 $\alpha = 0.010 \div 0.020$ dla terenów o średniej trudności,
 $\alpha = 0.022 \div 0.044$ dla terenów trudnych (o nieregularnych i stromych powierzchniach).

3. CHARAKTERYSTYKA PRODUKTÓW TERRASOLID LTD.

Aplikacje programistyczne firmy TerraSolid Ltd. należą do grupy zaawansowanych narzędzi inżynierskich. Zaprojektowane zostały w postaci nakładek przeznaczonych dla środowiska 3D Microstation. Do najważniejszych z nich zaliczamy:

- TerraModeller (tworzenie numerycznego modelu terenu w postaci siatek trójkątów; modele powstają na podstawie danych pomiarowych, elementów graficznych oraz danych XYZ z plików tekstowych),
- TerraScan (badanie linii przesyłowych, obszarów zalewowych, obszarów leśnych, modeli miast czy planowanie autostrad),
- TerraPhoto (oczyszczanie, obróbka zdjęć pozyskanych podczas pomiarów lidarowych),
- TerraPark (projektowanie parków, znajdujących się wewnątrz nich dróg, roślin i przedmiotów użytkowych),
- TerraPipe (projektowanie sieci nawadniających, osuszających),
- TerraStreet (projektowanie dróg),
- TerraSurvey (wczytywanie danych pomiarowych z pliku tekstowego, tworzenie na ich podstawie trójwymiarowego rysunku, automatyczne rozpoznawanie formatu danych).

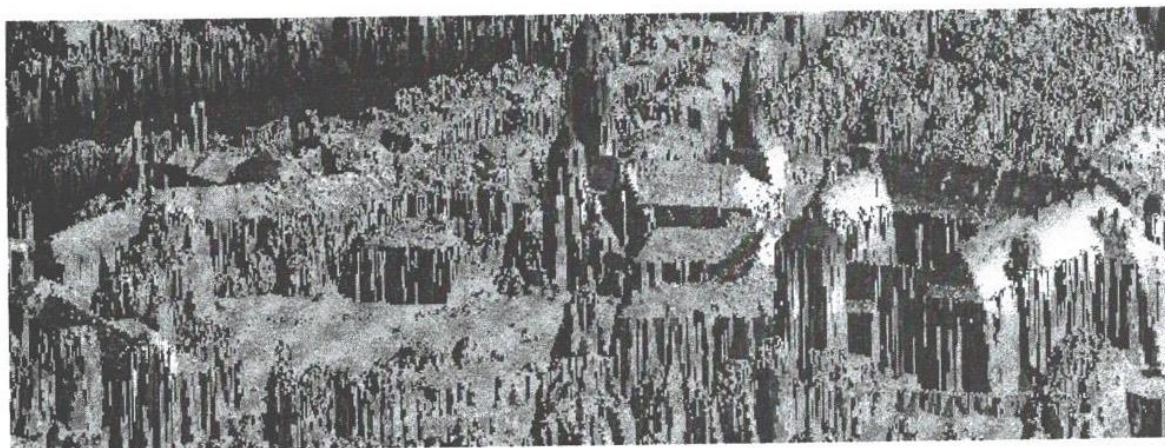
3.1. Testowanie aplikacji TerraModeler (obiekt badawczy Wzgórze Wawelskie)

TerraModeler jest aplikacją przeznaczoną do modelowania powierzchni terenu. Nakładka wykorzystując dane pomiarowe, elementy graficzne oraz pliki tekstowe zawierające współrzędne XYZ, tworzy numeryczny model terenu w postaci nieregularnej siatki trójkątów, modeli warstw terenu lub modeli powierzchni projektowanych (User's Guide TerraModeler 2006).

Program umożliwia wykonanie między innymi następujących czynności: wygenerowanie modelu 3d, opracowanie modelu warstwicowego, utworzenie NMT w postaci regularnej siatki kwadratów lub nieregularnej siatki trójkątów, obliczenie objętości mas ziemnych metodą siatki kwadratów lub trójkątów, obliczenie powierzchni obszaru, opracowanie profilu oraz przekrojów terenu, wyznaczenie spadków terenu, pokazanie kierunków płynięcia wody deszczowej, określenie i porównanie wysokości wyznaczonych powierzchni na modelu.

Testowanie nakładki TerraModeler na obiekcie badawczym Wzgórze Wawelskie przeprowadzono głównie pod kątem zastosowań geodezyjnych, wybrane z nich przedstawiono poniżej.

Narzędzie „*DISPLAY SHADED SURFACE*” grupuje punkty, łącząc je w elementy liniowe, następnie w płaszczyzny pionowe, poziome, skośne, które przedstawiają ściany, mury oraz dachy przedmiotowego modelu, stosując zaprojektowany układ kolorów (ryc. 1).



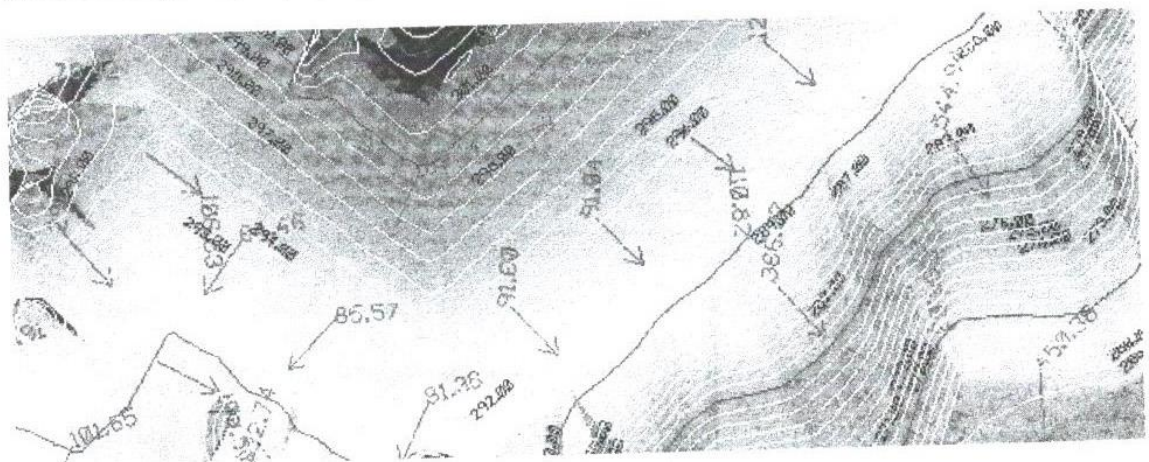
Ryc. 1. Wizualizacja 3D obiektu Wzgórze Wawelskie („*DISPLAY SHADED SURFACE*”)

Przy pomocy opcji „*DISPLAY TRIANGLES*” powstaje model terenu w postaci nieregularnej siatki trójkątów (TIN), kolorowanych według zaprojektowanego schematu barw (zmieniają się w zależności od wysokości powierzchni lub nachylenia elementów). Narzędzie „*DISPLAY GRID*” generuje model terenu w postaci regularnej siatki kwadratów (GRID), o zaprojektowanej wielkości oczka kwadratu (ryc. 2).



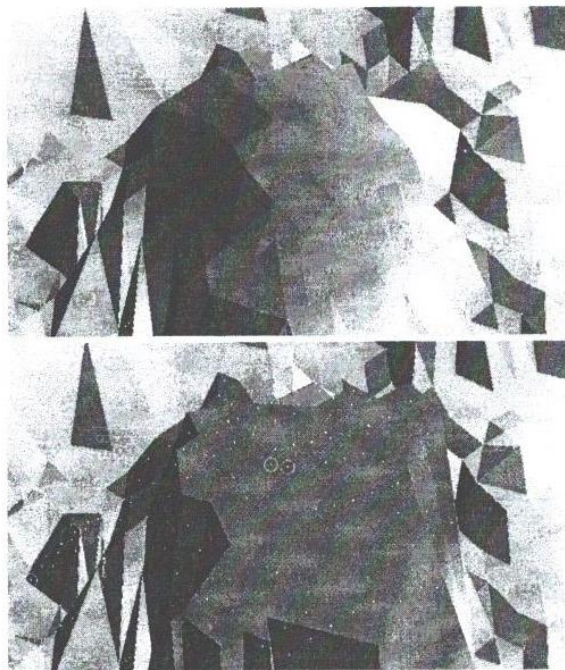
Ryc.2. Model powierzchni TIN i GRID („DISPLAY TRIANGLES”, „DISPLAY GRID”)

Funkcja „DISPLAY CONTOURS” tworzy model warstwicowy, określeniu podlega skok warstwicowy, charakter linii (linie łamane lub gładkie linie krzywe „smooth line strings”), zakres wysokości dla warstwic oraz kolorystyka. Do wizualizacji spadków terenu stosuje się narzędzie „DISPLAY SLOPES”, które umieszcza oznaczenia kierunku spadków terenu w postaci strzałek (wielkość nachylenia jest proporcjonalna do długości strzałek) oraz opisy (ryc. 3).



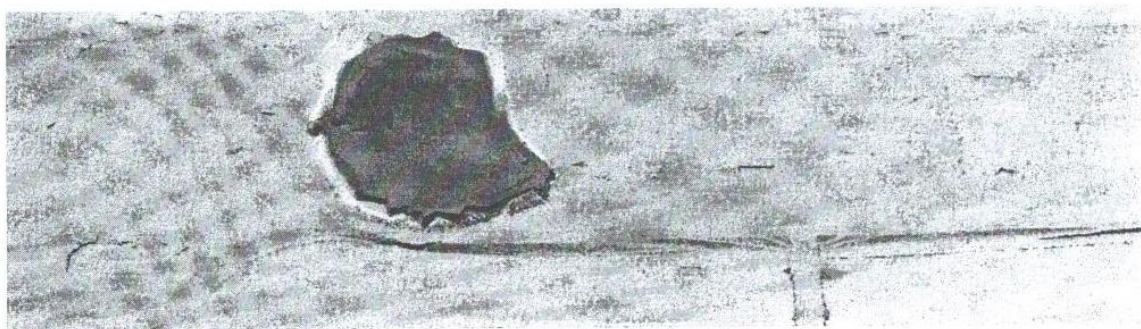
Funkcja „*COMPUTE AREA*” służy do obliczeń powierzchni, funkcja „*COMPUTE QUANTITY*” dokonuje obliczeń objętości mas ziemnych na podstawie modelu powierzchni terenu typu GRID, natomiast opcja „*COMPUTE PRISMOIDAL QUANTITY*” wykonuje obliczenia objętości mas ziemnych na podstawie modelu siatki trójkątów TIN.

Narzędzie „*FLATTEN AREA*” tworzy płaskie obszary wewnątrz modelu 3D (poprzez przetworzenie istniejących obiektów na powierzchni). Operator wybiera wysokość do której teren zostanie wyrównany lub przyjmuje wysokość wybranego kursorem punktu (ryc. 4).



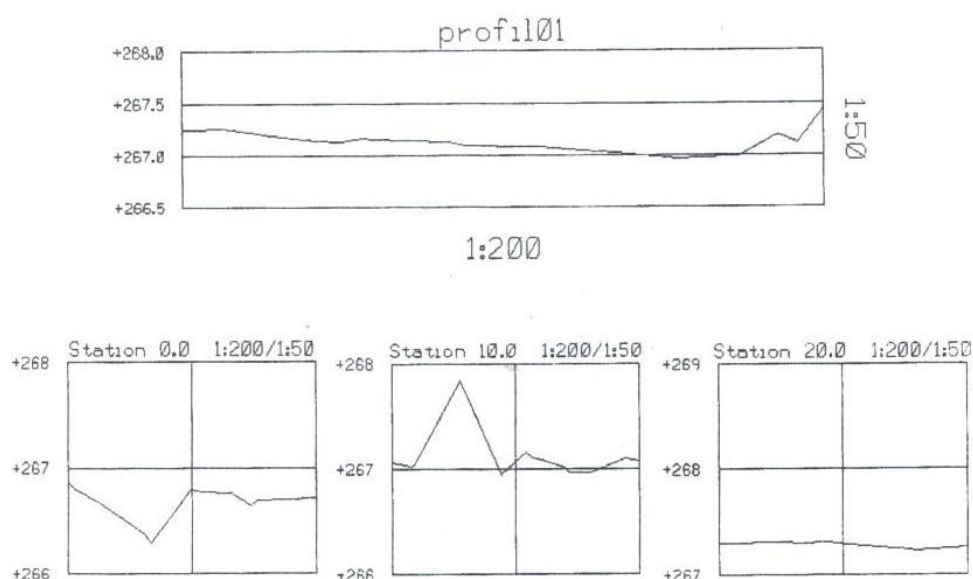
Ryc. 4. Spłaszczenie obiektu („*FLATTEN AREA*”)

Funkcja „*DROP AREA*” tworzy numeryczny model terenu (bez obiektów znajdujących się na powierzchni ziemi - murów obronnych, zabudowań i roślinności) (ryc. 5).



Ryc. 5. NMT Wzgórza Wawelskiego („*DROP AREA*”)

Narzędzie „*DRAW PROFILE*” służy do wygenerowania profilu podłużnego, natomiast opcja „*DRAW ALIGNMENT SECTIONS*” generuje przekroje poprzeczne modelu (ryc. 6)



Ryc. 6. Profil podłużny i przekroje poprzeczne („DRAW PROFILE”, „DRAW ALIGNMENT SECTIONS”)

Za pomocą funkcji „DISPLAY DRAINAGE” generowany jest model terenu z zaznaczonymi kierunkami i zasięgiem płynięcia wody deszczowej, natomiast opcje palety „QUANTITY” pozwalają na zaprojektowanie przebiegu trasy rowu.

3.2. Testowanie aplikacji TerraScan (obiekt badawczy okolice Helsinek w Finlandii)

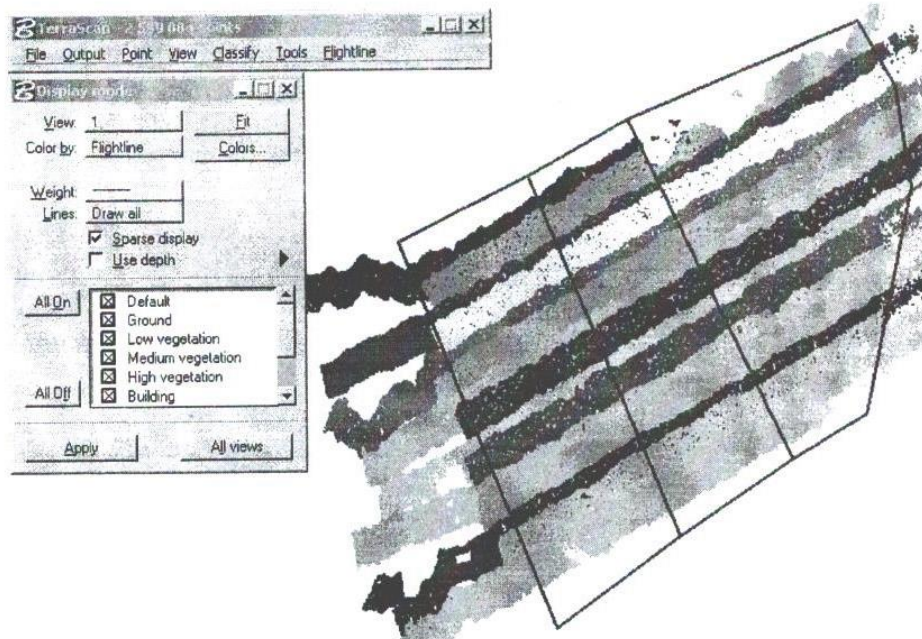
TerraScan jest aplikacją MDL (ang. *MicroStation Development Language*) służącą do przetwarzania danych pochodzących z pomiarów lidarowych. Program przetwarza miliony punktów lidarowych (format danych: plik tekstowy, binarny) i umożliwia wykonanie między innymi następujących operacji: widok punktów w 3D, ręczne definiowanie punktów w klasy (powierzchnia terenu, budynki, rośliny), automatyczne klasyfikowanie punktów za pomocą zdefiniowanych procedur, klasyfikacja obiektów 3D (wieże, słupy przesyłowe), usuwanie niepotrzebnych i błędnych punktów z danego obszaru, wykrywanie linii napowietrznych, dachów budynków, eksport zdefiniowanych powierzchni do postaci kolorowych obrazów rastrowych (User’s Guide TerraScan 2006).

TerraPhoto analogicznie jak aplikacje TerraModeler i TerraScan, jest nakładką dla środowiska 3D Microstation i służy do oczyszczania oraz obróbki zdjęć pozyskanych podczas pomiarów lidarowych.

Testowanie nakładki TerraScan i TerraPhoto wykonano na obiekcie badawczym okolice Helsinek w Finlandii (teren zurbanizowany z roślinnością niską i wysoką oraz wodami).

Proces testowania oprogramowania firmy TerraSolid Ltd. składał się z następujących etapów:

- wyboru odpowiedniego dla opracowania układu współrzędnych oraz przeprowadzenia niezbędnej transformacji (fiński układ współrzędnych), a następnie utworzenia pliku projektowego i podziału na bloki wczytywanych danych lidarowych (ryc. 7),
- połączenia punktów z odpowiednią linią nalotu, a następnie usunięcia punktów pokrywających się, operacja zapewnia równomierne pokrycie modelu przez punkty (ryc. 8),



Ryc. 7. Podział na bloki wczytywanych danych lidarowych (aplikacja TerraScan)

- sklasyfikowania „niskich punktów”, w pierwszej fazie usunięcia punktów obarczonych największym błędem („CLASSIFY BY ABSOLUTE ELEVATION”, „CLASSIFY”, „LOW POINTS”),
- sklasyfikowania powierzchni terenu, znalezienia na całym obszarze budynku o największej powierzchni („CLASSIFY GROUND”) oraz przeniesienia kolejnych punktów do klasy low points (niskie punkty) poprzez skorygowanie powierzchni („CLASSIFY BELOW SURFACE”),
- ręcznej klasyfikacji punktów znajdujących się na budynkach i poniżej powierzchni terenu, dzięki zastosowaniu aplikacji TerraPhoto (ryc. 9),
- obrysowania powierzchni morza korzystając z nakładki TerraPhoto, a następnie przeniesienia obrysowanej powierzchni do osobnej klasy,
- wygenerowania trójwymiarowej powierzchni terenu za pomocą programu TerraModeler, następnie ręcznej korekty powierzchni terenu obserwując zmiany powierzchni i nienaturalnie wyglądające miejsca (ryc. 10),
- zaklasyfikowania roślinności niskiej, średniej oraz wysokiej („CLASSIFY BY HEIGHT”),
- korekty modelu terenu na model geoidy obejmujący teren opracowania,
- sprawdzenia modelu z punktami o znanych współrzędnych (analiza dokładnościowa modelu wykazała zgodność błędów średnich z wartościami podawanymi przez instytucje i ośrodki badawcze).

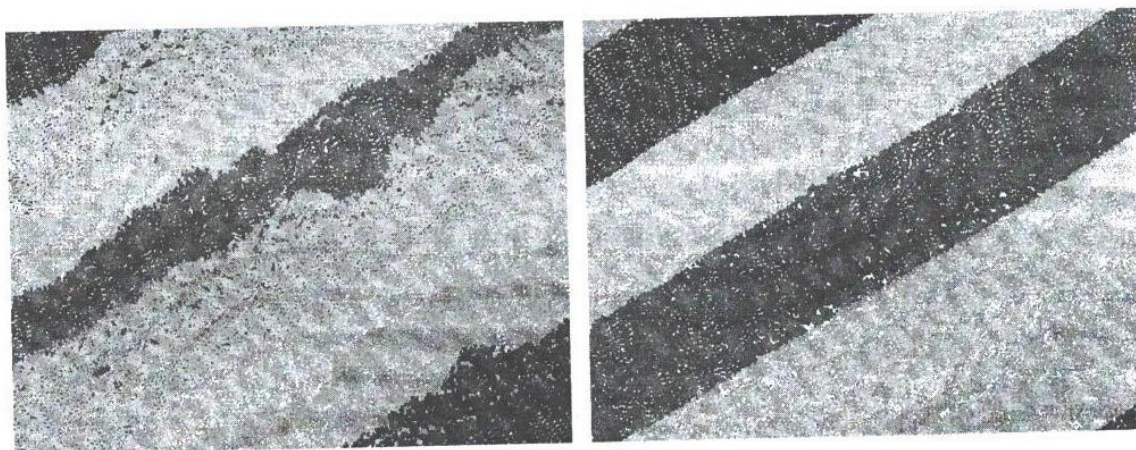
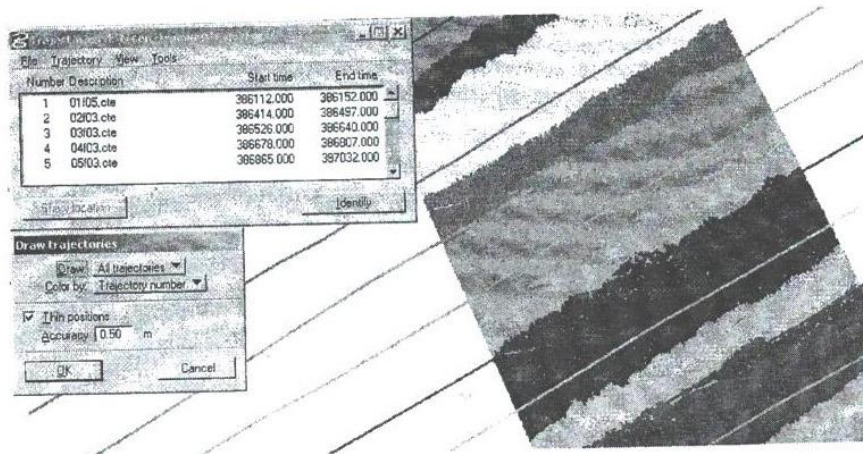


Рис. 8. Процес usuwania punktów pokrywających się (aplikacja TerraScan)

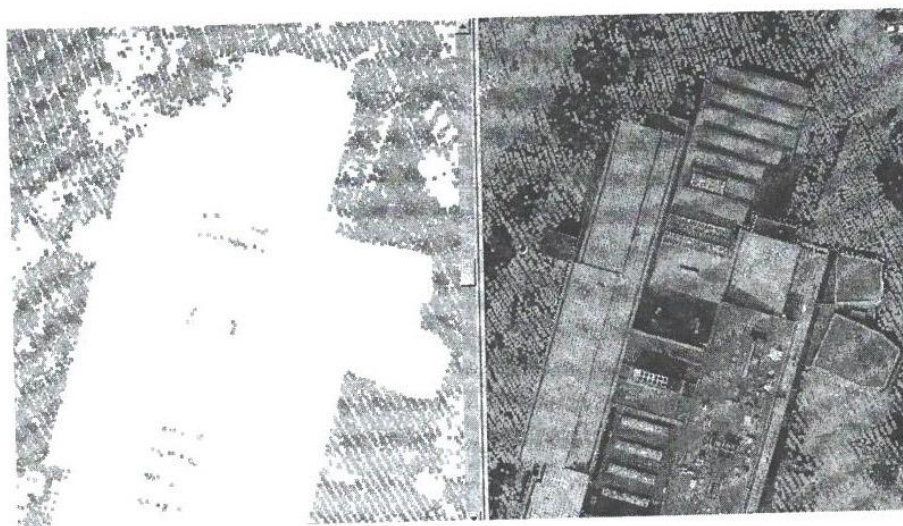
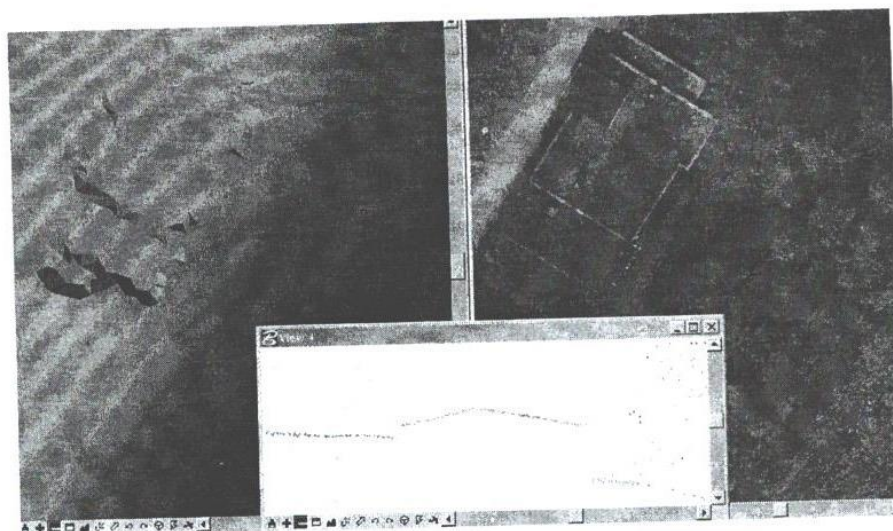


Рис. 9. Процес ręcznej klasyfikacji budynków (aplikacja TerraPhoto)



Ryc. 10. Proces ręcznej korekty powierzchni terenu (aplikacje TerraModeler i TerraPhoto)

4. ZAKOŃCZENIE

Opracowanie numerycznego modelu terenu na podstawie danych lotniczego skaningu laserowego jest procesem pracochłonnym i wymagającym ręcznej ingerencji operatora, głównie ze względu na czasochłonny proces filtrowania „chmury punktów”. Poprawność działania poszczególnych metod filtracji zależy przede wszystkim od ilości obiektów znajdujących się na powierzchni terenu, dlatego w etapie postprocessingu danych lidarowych powinny znaleźć zastosowanie jedynie narzędzia sprawdzone, korzystające z najnowszych algorytmów filtracyjnych, opracowanych w renomowanych ośrodkach naukowych i instytucjach badawczych.

Testowanie oprogramowania firmy TerraSolid Ltd., dowiodło przydatności aplikacji TerraScan, TerraModeler i TerraPhoto w procesie przetwarzania danych lidarowych oraz w dalszej kolejności przetwarzania NMT (zastosowania i wizualizacje NMT).

1. Gaździcki J. 1990. *Systemy informacji przestrzennej*. PPWK, Warszawa.
2. Kurczyński Z., Preuss R. 2003. *Podstawy fotogrametrii*. OWPW, Warszawa.
3. McGlone Ch, Mikhail E., Bethel J., i inni 2004. *Manual of Photogrammetry, 5th Edition*, PRS, Hardcover.
4. *User's Guide TerraModeler 2006*. Przewodnik użytkownika TerraModeler. TerraSolid Ltd.
5. *User's Guide TerraScan 2006*. Przewodnik użytkownika TerraScan. TerraSolid Ltd.
6. Urbański J. 1997. *Zrozumieć GIS. Analiza informacji przestrzennej*. PWN, Warszawa.
7. Wytyczne techniczne K – 2.8, 2001. *Zasady wykonywania ortofotomap w skali 1 :10 000*. GUGIK, Warszawa.

Recenzował: dr hab. inż. Krzysztof Gawroński