

ZASTOSOWANIE POMIARÓW LIDAROWYCH DO TWORZENIA NUMERYCZNEGO MODELU TERENU

© Borowiecki I., Podlasek S., 2005

Problems of the creation of the Numerical Terrain Model (NTM), particularly problems of data acquisition and processing, are an object of a significant number of current research and analyses. The technology of lidar measurements (laser scanning method) applied as a method of data acquisition to the NTM was presented. The analysis of the accuracy of the data acquired with application of the lidar measurements was conducted.

Wprowadzenie. Numeryczny Model Terenu jest zbiorem współrzędnych, odpowiednio wybranych punktów (X, Y, Z) powierzchni terenu, utworzony jako jej numeryczna reprezentacja oraz algorytmy umożliwiające odtworzenie jej kształtu w określonym obszarze (Wytyczne techniczne K-2.8, 2001).

Dzięki nieustannemu rozwojowi technologii informatycznych w dużym stopniu zmniejszyły się ograniczenia w dziedzinie gromadzenia i przesyłania danych. Zbyt duża ilość danych, problemy związane z ich pozyskiwaniem i przetwarzaniem zostały w znacznym stopniu rozwiązane poprzez zastosowanie systemów satelitarnych i laserowych oraz nowoczesnego oprogramowania i sprzętu komputerowego. NMT staje się bardziej szczegółowym, dokładniejszym, a jednocześnie ogólnodostępnym.

Cyfrowe dane wysokościowe dzięki nowoczesnym technologiom ich pozyskiwania i przetwarzania coraz precyzyjniej odwzorowują teren, mogą zawierać więcej istotnych informacji o terenie znajdując tym samym wszechstronniejsze zastosowanie.

Według instrukcji technicznej K-2.8 dane do numerycznego modelu terenu można pozyskać:

- metodą pomiarów bezpośrednich,
- metodą kartograficzną, wykorzystującą mapy i inne materiały znajdujące się w zasobie geodezyjno-kartograficznym,
- metodą fotogrametryczną,
- innymi technicznie uzasadnionymi metodami.

Obecnie przy tworzeniu NMT dla dużych obszarów stosuje się przede wszystkim metodę fotogrametryczną cyfrową. Metoda pomiarów bezpośrednich i kartograficzna stosowane są głównie jako uzupełnienie innych metod (Kurczyński Z., Preuss R., 2003).

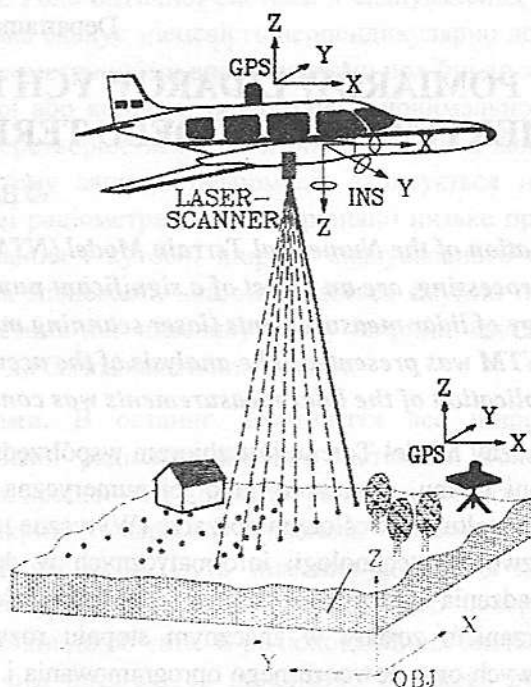
Do innych technicznie uzasadnionych metod możemy zaliczyć pomiary wykorzystujące technologie radarowe i laserowe z pułapu lotniczego. Lotnicze pomiary radarowe (pasmo X i P) są jeszcze w fazie testów, natomiast pomiary laserowe z wykorzystaniem systemu LIDAR cieszą się coraz większą popularnością, stosowane są już nawet w Polsce.

W opracowaniu ujęto metodę skaningu laserowego, kierując się przede wszystkim unikalnymi właściwościami dostarczanych danych przez powyższą metodę. Dla określenia jej dokładności dokonano porównania wyników pomiarów fotogrametrycznych i lidarowych.

Metoda skaningu laserowego. Metoda skaningu laserowego polega na pomiarze odległości z lecącego samolotu od sensora systemu LIDAR do punktów powierzchni terenu z bardzo dużą częstotliwością, dochodzącą obecnie do 100 kHz (pomiar 100 tys. punktów terenowych w przeciągu 1 sekundy) (Optech, 2004).

W wyniku pomiaru powstaje tzw. chmura punktów reprezentująca trójwymiarową powierzchnię terenu (rys. 1).

LASER-SCANNING



Rys. 1. Schemat pomiaru LIDAR (Hans-Erik Andersen, 2002)

Kluczowym elementem systemu jest dalmierz laserowy, który w odpowiedniej częstotliwości emituje promieniowanie elektromagnetyczne w zakresie bliskiej podczerwieni. Promień lasera przechodzący przez optyczny układ skanujący odbija się częściowo od powierzchni terenu, powraca i zostaje zarejestrowany przez optyczny układ odbiorczy. Na podstawie pomiaru różnicy czasu pomiędzy wysłaniem a odbiorem odbitego sygnału laserowego odbywa się pomiar odległości.

Dla uzyskania wymaganej dokładności pomiaru, ze skanerem laserowym współpracuje system GPS określający współrzędne XYZ trajektorii lotu za pomocą odbiornika umieszczonego w samolocie oraz naziemnych stacji referencyjnych na podstawie tzw. pomiaru różnicowego DGPS.

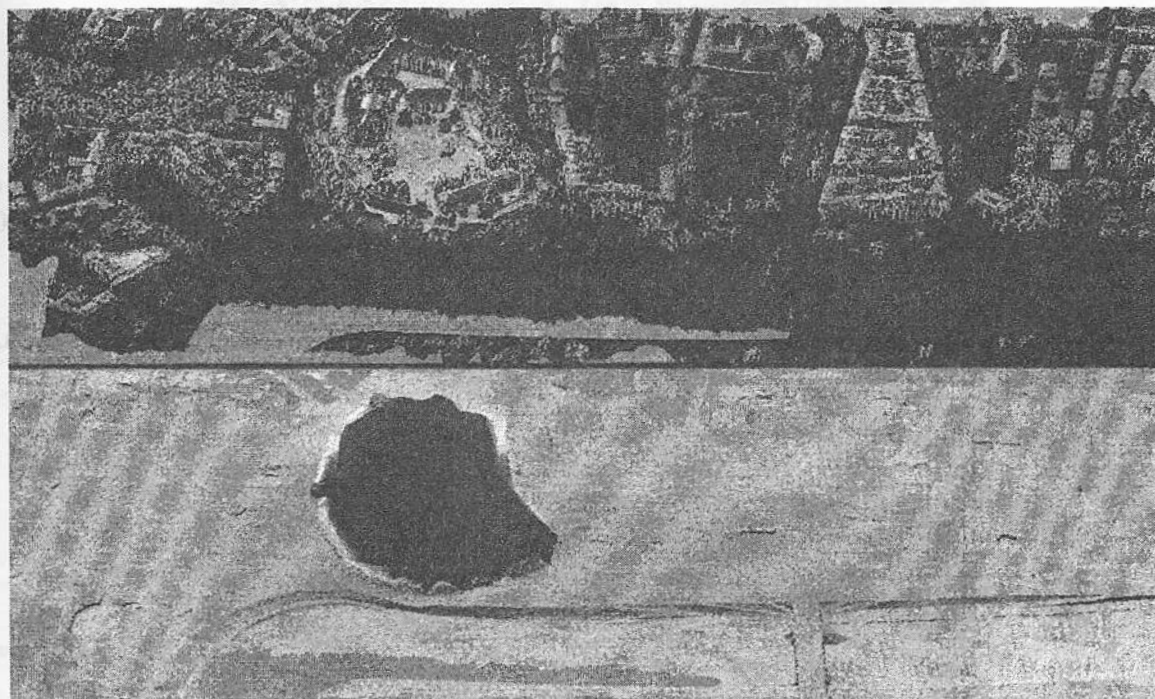
Wraz z systemem GPS współpracuje podsystem INS (Inercjalny System Nawigacyjny) mierzący z dużą precyzją kąt nachylenia głowicy sensora. Połączenie danych z tych systemów pomiarowych daje dokładne położenie, z którego wykonano pomiar odległości (Tarek Z., 2002).

W skład systemu LIDAR wchodzi także cyfrowa kamera video, lub stosowana od niedawna kamera fotogrametryczna czy skaner CCD. Powyższe urządzenia rejestrują obraz skanowanego terenu, co umożliwia późniejszą filtrację danych, interpretację wyników (Kurczyński Z., 1999), jak również opracowanie ortofotomapy.

Zastosowanie stacji roboczej do obróbki i przetwarzania danych lidarowych pozwala uzyskać produkt końcowy zorientowany w wymaganym układzie geodezyjnym i przedstawić go w postaci (Manue D. F. i inni, 2001):

- Numerycznego Modelu Powierzchni Terenu (DSM),
- numerycznego modelu oczyszczonego z roślinności (wysokiej, średniej, niskiej),
- numerycznego modelu oczyszczonego z budynków,
- Modelu Rzeźby Terenu (DTM),

Proces generowania wyżej wymienionych produktów jest w dużej mierze zautomatyzowany. Rysunek 2 przedstawia fragment Krakowa, gdzie Numeryczny Model Powierzchni Terenu (DSM) oraz Model Rzeźby Terenu (DTM) powstały w wyniku automatycznej filtracji.



Rys. 2. Fragment Krakowa, z widocznym DSM i DTM (dane UMK)

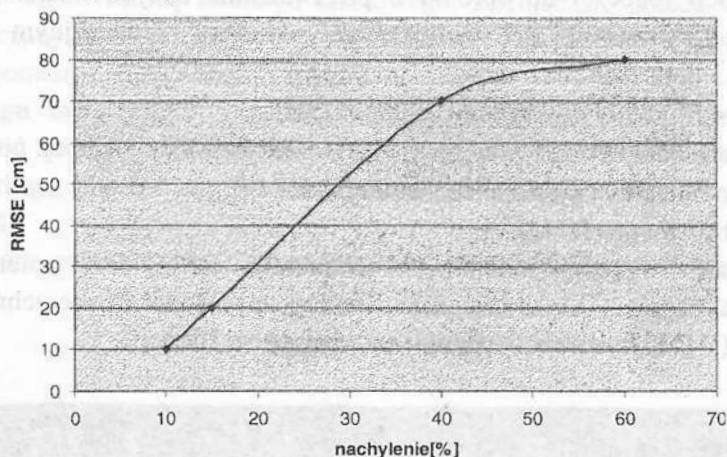
Unikalną właściwością technologii LIDAR jest rejestracja wielu odbić pochodzących z jednego impulsu, co przede wszystkim wynika z faktu obicia fali od wielu obiektów na linii przebiegu impulsu lasera. Poza rejestracją najistotniejszych odbić (pierwszego i ostatniego) systemy laserowe coraz częściej rejestrują wiele pośrednich odbitych fal (Manue D. F. i inni, 2001).

Oprócz samego odbicia rejestracją objęta jest intensywność odbicia impulsu, czyli wartość lub procent energii odbitej od rejestrowanego obiektu. Pomiar odbić pośrednich, wraz z ich intensywnością znajdują zastosowanie w procesie automatycznej detekcji i klasyfikowaniu obiektów skanowanych.

Dokładność i zastosowania systemu LIDAR. Na dokładność systemu LIDAR mają wpływ błędy dalmierza laserowego, błędy systemu GPS, błędy podsystemu INS, proces pomiarowy i rodzaj badanej powierzchni.

Obecnie dokładność systemu LIDAR przedstawiona w postaci średniego błędu kwadratowego wynosi około 15 cm przy pułapie do 1200 m i 25 cm dla wysokości lotu powyżej 1200 m.

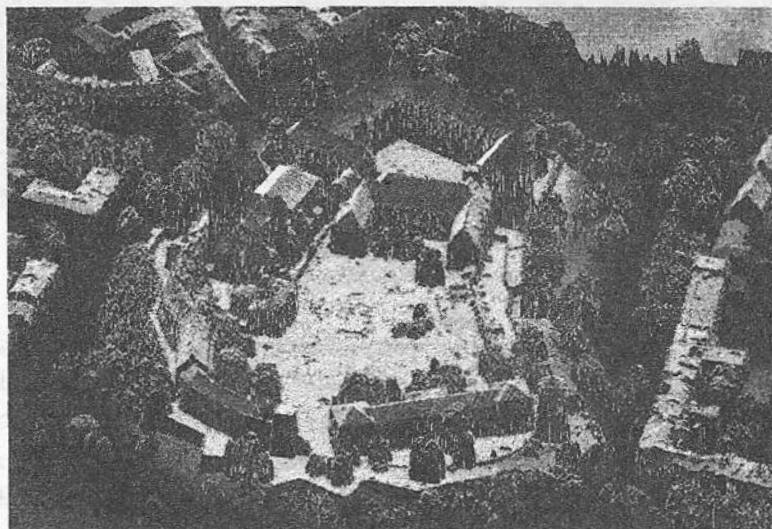
Przy porównywaniu danych w wykonanych badaniach duży wpływ na dokładność ma nachylenie terenu. Rozkład RMSE (średniego błędu kwadratowego) w zależności od nachylenia terenu przedstawia wykres 1 (Kraus K., Pfeifer N., 1998).



Wykres 1. Rozkład RMSE

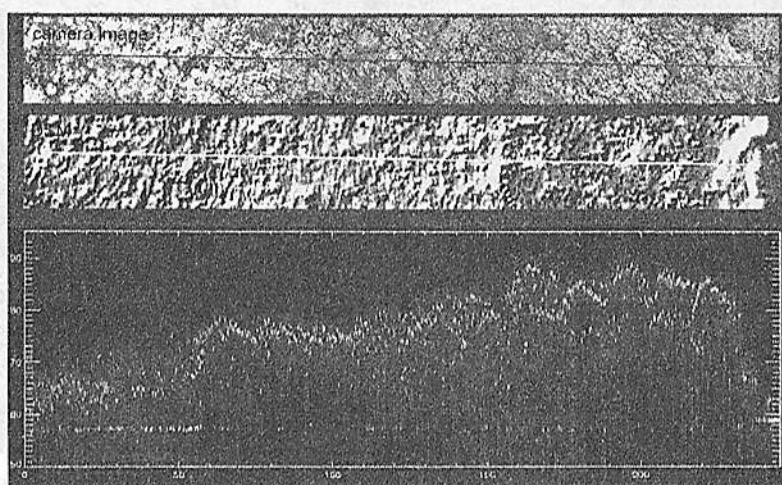
Dzięki wystarczającej dokładności oraz unikalnym zaletom systemu LIDAR, pozyskane dane pozwalają na zastosowanie ich w wielu dziedzinach (Manue D.F. i inni, 2001), (Andersen H.E., 2002), (Kurczyński Z., 2003):

- budowa przestrzennego modelu DEM i DSM aglomeracji miejskich 3D (rys. 3),
- badanie propagacji fal dla optymalizacji rozmieszczenia przekazników telekomunikacyjnych,
- planowanie przestrzenne,
- badanie wpływu i zasięgu fal akustycznych,



Rys. 3. Model 3D wzgórza wawelskiego z zabudową (dane UMK)

- badanie zasięgu źródeł zanieczyszczeń,
- do produkcji filmów animowanych, gier, itp.
- budowa przestrzennego modelu 3D podłużnych inwestycji:
- inwentaryzacja i konserwacja linii energetycznych,
- badanie zagrożenia zarastaniem roślinnością linii wysokiego napięcia,
- inwentaryzacja i konserwacja dróg oraz pobocza,
- badanie jakości nawierzchni dróg,
- inwentaryzacja i konserwacja rurociągów,
- inwentaryzacja i konserwacja wałów przeciwpowodziowych,
- generowanie modeli terenu dla terenów leśnych:
- zarządzanie drzewostanem: wysokość drzew, średnica korony, gęstość zalesienia, oszacowanie biomasy, określanie granic lasu, itp.(rys. 4),



Rys. 4. Przekrój przez teren leśny (RIEGL)

- monitoring środowiska,
- zarządzanie działem wodnym,
- badanie rozprzestrzeniania się ognia,
- projektowanie i monitoring zabiegów leśnych,
- szybka rejestracja i ocena zniszczeń po kataklizmach: huragany, trzęsienia ziemi, powodzie,
- pomiar powierzchni zaśnieżonych i pokrytych lodem dla monitorowania przemieszczeń lodowców,
- pomiar terenów podmokłych,
- pomiary batymetryczne.

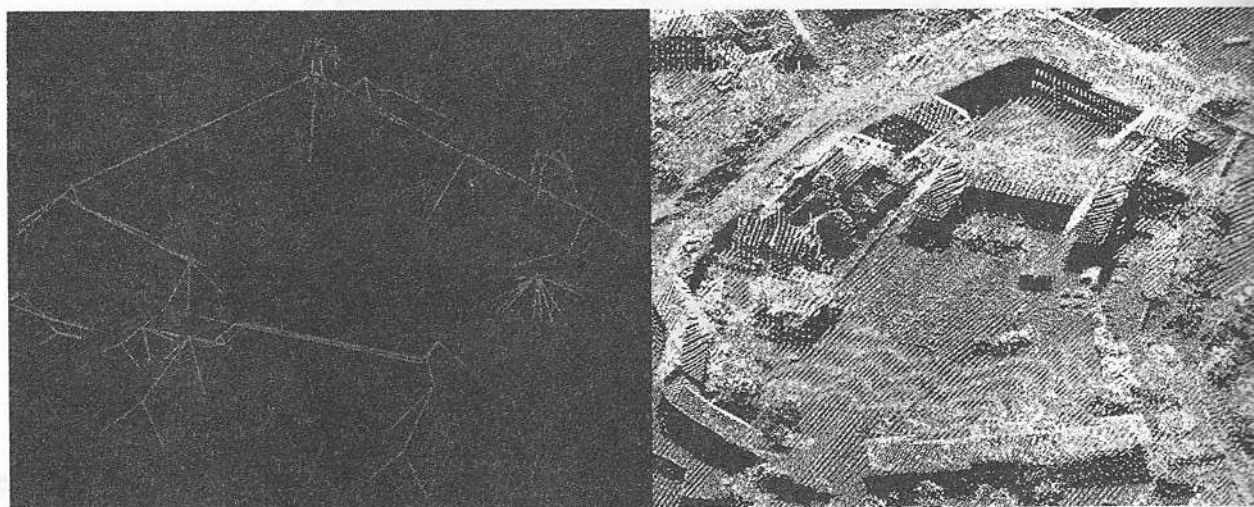
Analiza dokładności. W przeprowadzonej analizie dokładności wykorzystano dane obejmujące część Starego Miasta Krakowa opracowanych dla potrzeb budowy przestrzennego modelu 3D, a w szczególności dla potrzeb inwentaryzacji architektonicznej Krakowa, wpisanego na listę światowego dziedzictwa kulturalnego i naturalnego UNESCO.

Wykorzystane dane obejmują fotogrametryczny pomiar dachów zabudowy centrum miasta Krakowa (rys. 5):

- stereodigitalizacja wykonana na podstawie zdjęć lotniczych w skali 1 : 13 000 z 2004 roku,
- format: linie szkieletowe, MicroStation, dgn,
- układ odniesienia: Lokalny Układ Krakowski, wysokość normalna,

oraz dane pomiaru lidarowego o następujących parametrach skaningu laserowego (rys. 5):

- urządzenie skanujące: TopEye Mk II,
- częstotliwość impulsu lasera: 50kHz,
- wysokość trajektorii lotu: średnia 530 m,
- prędkość lotu: około 45 km/h,
- kąt skanowania: 14-20°,
- plan nalotu: 9 pasów o szerokości 200m (część wspólna między pasami ok. 50 m),
- gęstość pomiaru: ponad 2 punkty/m²,
- format danych: dane binarny,
- układ odniesienia: UTM strefa 33, wysokość elipsoidalna, ETRF'89.



Rys. 5. Dane z pomiarów fotogrametrycznych (z lewej) i dane ze skaningu laserowego (z prawej)

Analizę porównawczą danych fotogrametrycznych i lidarowych wykonano w środowisku MicroStation na stacji graficznej. Do przeliczeń współrzędnych wykorzystano programy Unitrans i Geoida. Przetwarzanie danych binarnych skaningu laserowego wykonano przy użyciu programów TerraScan i TerraModeler dla MicroStation.

Porównane zostały współrzędne punktów załamania kształtów i naroży dachów:

- wstawionych na wektorowym modelu fotogrametrycznym – punkty referencyjne (rys. 6),
- osadzonych za pomocą opcji “Construct Building” i funkcji “Mouse Point adjustment” (TerraScan) na modelu lidarowym – punkty porównawcze (rys. 6).

Wykonano przeliczenie danych do wspólnego układu współrzędnych (Państwowy Układ Współrzędnych Geodezyjnych 1992):

- w aplikacji TerraScan zdefiniowano transformację danych z układu UTM strefa 33 do układu PUWG 1992,
- współrzędne punktów referencyjnych z pomiarów fotogrametrycznych przeliczono z lokalnego Układu Krakowskiego do PUWG 1992 korzystając z aplikacji Unitrans,
- współrzędne punktów porównawczych z pomiarów lidarowych przeliczono na współrzędne BLH (Unitrans), obliczono odstępstwo wysokości elipsoidalnej ETRF'89 od geoidalnej.

Na podstawie przeprowadzonych badań i analiz otrzymano wyniki obarczone błędem systematycznym po którego redukcji uzyskano średni błąd kwadratowy wysokości 39 cm.

Powyższy wynik jest wprawdzie gorszy od średnich parametrów technologicznych systemów LIDAR, ale w związku z dużym nachyleniem mierzonych płaszczyzn można uznać, że zawiera się w

dopuszczalnej granicy błędów określonej przez producentów systemów i instytucje naukowo-badawcze (Podlasek S., 2005).



Rys. 6. Punkty referencyjne (z lewej) i porównawcze (z prawej)

Zakończenie. Wykonane badania i analizy danych z pomiarów fotogrametrycznych i lidarowych wykorzystanych do budowy przestrzennych modeli budynków pozwalają sformułować następujące wnioski:

- dokładność metody fotogrametrycznej i lidarowej jest porównywalna,
- metoda fotogrametryczna pozwala na dokładniejsze określenie charakterystycznych linii załamań kształtów,

– w przypadku niewielkich i skomplikowanych kształtów (wykusze, kominy, inne kształty o niewielkich gabarytach) zastosowana gęstość punktów nie pozwala na automatyczne ich rozpoznanie.

Wady systemu LIDAR można zminimalizować optymalizując parametry, takie jak prędkość i wysokość lotu, czy częstotliwość impulsu laserowego.

Do zalet systemów laserowych zaliczamy ich aktywność umożliwiającą szybkie pozyskanie danych niezależnie od pory dnia i warunków pogodowych. Większość procesów przetwarzania danych odbywa się automatycznie, dlatego niezbędne dane pomiarowe praktycznie uzyskuje się drugiego dnia po wykonanym nalocie.

Wyjątkowo unikalną właściwością pomiaru laserowego jest penetracja sygnału poprzez pokrywę leśną, co pozwala na pomiar odległości nie tylko do powierzchni lasu, lecz również do powierzchni zalesionego terenu.

Ciągłe doskonalenie metody lidarowej, między innymi w zakresie większej częstotliwości lasera, dokładniejszej rejestracji intensywności odbicia impulsu, zastosowania dodatkowo fotogrametrycznej kamery cyfrowej lub wielospektralnego skanera CCD są przyczyną coraz większej konkurencyjności systemu LIDAR spośród innych metod pozyskiwania danych do NMT.

1. Andersen H.E. *The use of airborne laser scanner data (LIDAR) for forest measurement applications*. WFAA. – 2002. 2. Kraus K., Pfeifer N. *Determination of terrain models in wooded areas with airborne laser scanner data // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. – 1998. 3. Kurczyński Z. *DTM inaczej. Geodeta 2*. – Warszawa, 1999. 4. Kurczyński Z., Preuss R. *Podstawy fotogrametrii*. OWPW. – Warszawa, 2003. 5. Manue D.F. i inni. *Digital Elevation Model Technologies and*

Applications: The DEM Users Manual. ASPRS, Maryland. – 2001. 6. Optech. 100000 reasons to choose ALTM. Brochures. – Toronto, 2004. 7. Podlasek S. Analiza nowoczesnych metod pozyskiwania Numerycznego Modelu Terenu na podstawie porównania pomiarów fotogrametrycznych i lidarowych. Praca magisterska, AR. – Kraków, 2005. 8. Tarek Z. Skanowanie terenu laserem lotniczym. Geodeta 12. – Warszawa, 2002. 9. Wytyczne techniczne G-2.8. Zasady wykonywania ortofotomap w skali 1 : 10 000. GUGI. – Warszawa, 2001.

Recenzował: dr hab. inż. Aleksander Żarnowski, UWM.