

ANALIZA TECHNOLOGII OPRACOWANIA NUMERYCZNEGO MODELU TERENU PRZY UŻYCIU BEZPOŚREDNICH POMIARÓW SATELITARNYCH I TACHIMETRYCZNYCH

Katarzyna Pająk, Adam Ciećko, Stanisław Oszczak

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Streszczenie. W artykule przedstawiono analizę porównawczą technologii pozyskania danych terenowych w celu wygenerowania numerycznego modelu terenu przy użyciu precyzyjnej metody RTK/OTF z wykorzystaniem łącza GPRS do transmisji poprawek i technologii bezpośrednich pomiarów tachimetrycznych. Istnieje wiele metod pomiarowych służących pozyskiwaniu informacji geometrycznej o terenie. Wśród nich najbardziej dokładne i wiarygodne są metody pomiaru bezpośredniego. Ze względu na szybkość pozyskiwania danych pomiarowych oraz możliwość ich łatwej aktualizacji na szczególną uwagę zasługują metody rejestracji automatycznej, m.in. pomiary GPS. Bezpośrednia metoda satelitarna RTK GPS pozwoliła na pozyskanie bardzo dużej ilości punktów pomiarowych w stosunkowo krótkim czasie, tanio, szybko i bezpiecznie.

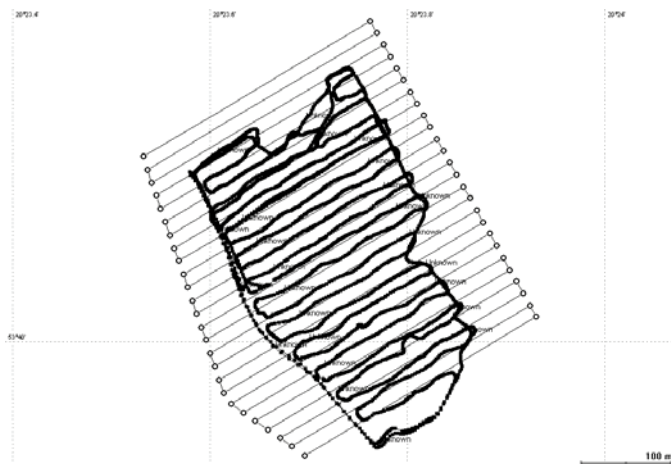
Słowa kluczowe: numeryczny model terenu, GPRS, RTK

WSTĘP

Zarówno technologie pomiaru obiektu, jak i sposób ich opracowania czy rozmieszczenie punktów pomiarowych determinuje jakość uzyskanego numerycznego modelu terenu. Rozmieszczenie punktów pomiarowych lub krok siatki pomiarowej, jak również stosowane algorytmy interpolacyjne mają kluczowe znaczenie dla rezultatu końcowego. Dla jednego obiektu można uzyskać różne wyniki zobrazowania rzeźby terenu w zależności od sposobu wykonania samego pomiaru terenowego, jak i przyjętych założeń dotyczących opracowania.

POMIARY BEZPOŚREDNIE RTK/OTF

Eksperyment przeprowadzono 21 września 2005 r. w okolicy wsi Stawiguda pod Olsztynem. Głównym celem pomiarów było uzyskanie dokładnych współrzędnych, na podstawie których można będzie stworzyć numeryczny model terenu. Dokładne współrzędne wyznaczono techniką GPS RTK/OTF w układzie „2000” w odstępach jedno-sekundowych. Pozycje RTK zostały następnie porównane z pozycjami odniesienia policzonymi jako średnia arytmetyczna z czterech niezależnych wyznaczeń OTF w trybie post-processing. Pomiary wykonano wzdłuż profili w odstępach 15-metrowych, które wcześniej zaprojektowano w programie MikroMapa, a następnie przekonwertowano do odbiornika ruchomego Thales Mobile Mapper, dzięki czemu możliwa była precyzyjna nawigacja po zaprojektowanych profilach [Ciećko i in. 2006, Pająk i in. 2006].



Rys. 1. Zaprojektowane profile pomiarowe w programie MikroMap i nawigacja po profilach

Fig. 1. Measurement profiles in MikroMap program and actual track of the vehicle during real-time measurement

Do pomiarów wykorzystano pojazd czterośladowy typu quad, na którym umieszczono niezbędną aparaturę do pozyskania danych terenowych (rys. 2). Aparatura pomiarowa składała się z dwóch precyzyjnych geodezyjnych odbiorników firmy Ashtech, dwóch odbiorników nawigacyjnych Thales Mobile Mapper z opcją post-processing, anten GPS: geodezyjnej i nawigacyjnej oraz terminala GPRS [Ciećko i in. 2006, Pająk i in. 2006].

Po przeprowadzeniu pomiarów wykonano szereg obliczeń i analiz. Podczas pracy metodą RTK uzyskano współrzędne pojazdu w czasie rzeczywistym. Cały pomiar trwał 90 min, na początku zbierania danych, gdy liczba dostępnych satelitów była duża, a współczynniki DOP były małe, to dokładności wyznaczenia pozycji kształtowały się na poziomie 1–2 cm. W drugiej części pomiaru (od 40 minuty) spadła liczba widocznych satelitów, co spowodowało pogorszenie geometrycznego rozkładu satelitów, a tym samym spadek dokładności, dlatego do dalszych analiz wzięto dane z pomiaru pierwszych 40 minut. Pozycja dla każdej sekundy, wyliczona jako średnia arytmetyczna z czterech niezależnych wyznaczeń OTF, dała możliwość przeprowadzenia analiz dokładności.



Rys. 2. Pojazd czterokołowy z zamocowanymi odbiornikami geodezyjnymi i nawigacyjnymi
 Fig. 2. The ATV with assembled equipment used in the experiment

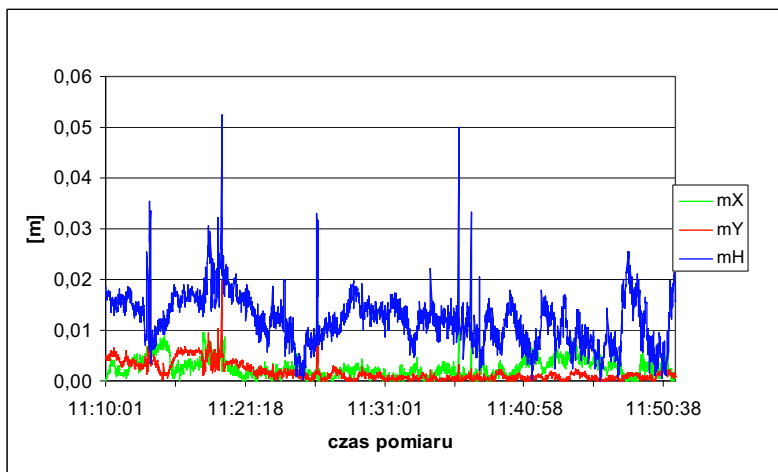
Błędy średnie pozycji odniesienia, korzystając z obserwacji nadliczbowych, policzono dla każdej współrzędnej X , Y , H przy użyciu wzorów:

$$m_X = \sqrt{\frac{\sum (X_{\dot{s}r} - X_i)^2}{n-1}}, m_Y = \sqrt{\frac{\sum (Y_{\dot{s}r} - Y_i)^2}{n-1}}, m_H = \sqrt{\frac{\sum (H_{\dot{s}r} - H_i)^2}{n-1}}$$

Przeciętne błędy współrzędnych X , Y , H dla analizowanej części pomiaru wyniosły:

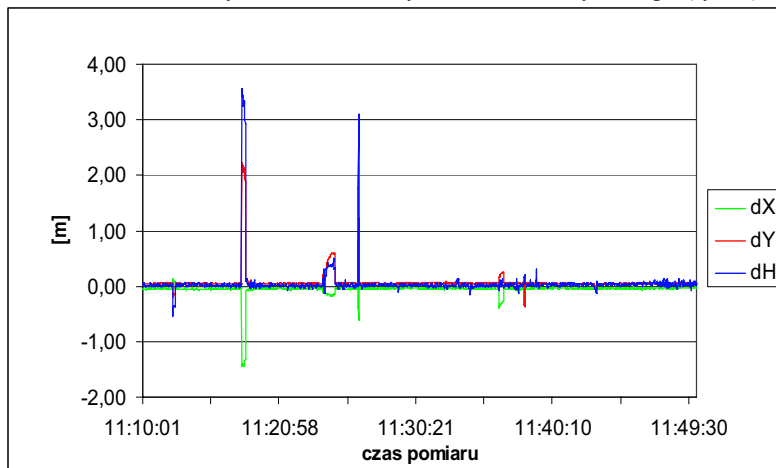
- $M_x = 0,003$ m
- $M_y = 0,002$ m
- $m_H = 0,012$ m

Uzyskane rezultaty na każdą sekundę pomiaru prezentuje rys. 3.



Rys. 3. Średnie błędy współrzędnych dla wartości odniesienia dla pierwszych 40 minut pomiaru
 Fig. 3. Reference positioning accuracy for the first 40 minutes of test

Mając precyzyjne współrzędne obliczone na każdą sekundę pomiaru, możliwe było określenie dokładności metody RTK/OTF w trybie czasu rzeczywistego (rys. 4).



Rys. 4. Dokładności wyznaczenia współrzędnych metodą RTK (real-time)
Fig. 4. Accuracy of real time phase (RTK) positioning

Wartości średnich różnic pomiędzy współrzędnymi pozycji odniesienia a współrzędnymi otrzymanymi metodą RTK wyniosły:

- $dX = 0,060$ m
- $dY = 0,080$ m
- $dH = 0,060$ m

Otrzymane wyniki posłużyły do wygenerowania numerycznego modelu terenu w programie Surfer Software. Na skutek chwilowych spadków dokładności pozycji część obserwacji uzupełniono danymi pochodzącymi z pomiarów w trybie post-processing.

POMIARY BEZPOŚREDNIE TACHIMETRYCZNE

Pierwszym etapem prac w metodzie pomiarów bezpośrednich tachimetrycznych był pomiar GPS metodą statyczną punktów pomiarowych.

Do tego celu wykorzystano stację referencyjną znajdującą się w budynku Wydziału Geodezji i Gospodarki Przestrzennej przy ulicy Prawocheńskiego 15 w Olsztynie. Anteny ustawiano nad punktami na statywach Wilda, używając spodarek z pionownikami optycznymi. Pomiarów wysokości anten nad punktami dokonywano przymiarami milimetroowymi. Wszystkie pomiary wysokości anten wykonywano dwukrotnie przed rozpoczęciem obserwacji GPS i dwukrotnie – po ich zakończeniu.

Odbiornik GPS typu Z-Xtreme był połączony z anteną. Po otrzymaniu pozycji w odbiorniku pomiar na punkcie był kontynuowany jeszcze przez około 60 minut. Dane ze stacji referencyjnej zostały zapisane na dysku twardym komputera stacji. Jako minimalną ilość satelitów podczas obserwacji przyjęto 3, minimalną wysokość satelitów nad horyzontem – 15° , współczynnik PDOP < 6.

Surowe współrzędne (XYZ) kartezjańskie oraz współrzędne (BLh) opracowane w AOSS (tab. 1) zostały następnie przetransformowane do układu płaskiego „2000”

za pomocą programu Transpol, który jest załącznikiem do Instrukcji Technicznej G-1.10. Ostatecznie uzyskano zestawienie porównywanych współrzędnych w formacie: (XY) „2000” i (h), wysokość elipsoidalną dla elipsoidy WGS-84 .

Tabela 1. Wyniki obliczeń współrzędnych stanowiska i nawiązania z programu AOSS Ashtech Office Suite (opracowanie własne na podstawie badań)

Table 1. The results of computation of position coordinates and references from AOSS Ashtech Office Suite for Survey (own elaboration based on the studies)

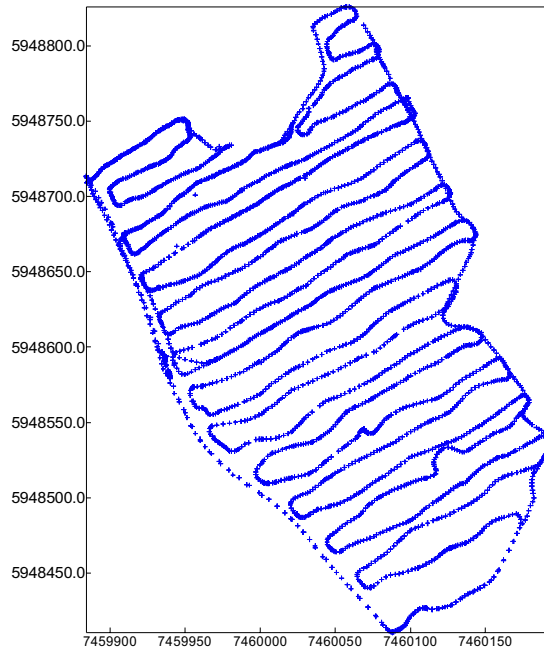
Point	X [m]	Y [m]	Z [m]	sX [mm]	sY [mm]	sZ [mm]			
1000	3549825.364	1319767.355	5115025.315	2.6	1.6	3.2			
3000	3549945.146	1320023.407	5114863.589	2.6	1.6	3.2			
LAM6	3524631.141	1329777.991	5129764.005	0.0	0.0	0.0			

Point	Lat [Deg]	Lon [Deg]	ell.H [m]	orth.H [m]	geoid.H [m]	sN [mm]	sE [mm]	sH [mm]
1000	N53° 40' 01.94002"	E20° 23' 39.53689"	174.206	174.206	0.000	2.4	1.5	3.4
3000	N53° 39' 53.59025"	E20° 23' 50.33426"	163.314	163.314	0.000	2.4	1.5	3.4
LAM6	N53° 53' 27.64726"	E20° 40' 14.02103"	197.716	197.716	0.000	0.0	0.0	0.0

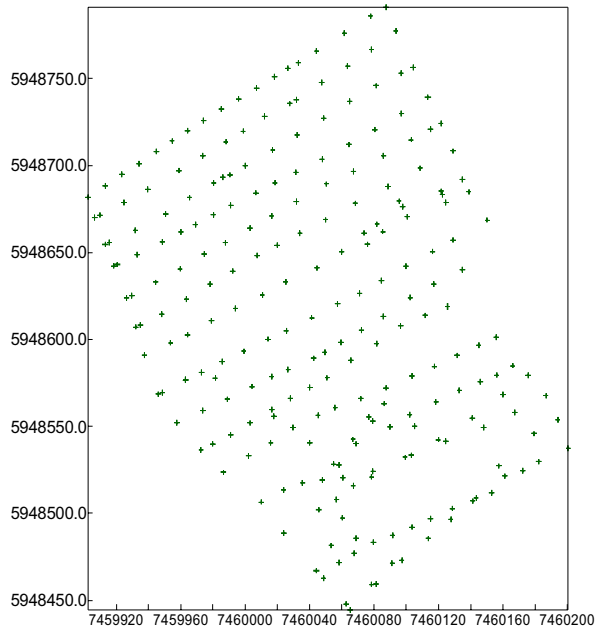
Otrzymane współrzędne wykorzystano do dalszych obliczeń tachymetrycznych w programie Winkalk. Jeden z punktów przyjęto jako stanowisko tachimetru zaopatrzonego w rejestrator wewnętrzny, a dwa pozostałe jako kierunki nawiązań. Kontrolnie dokonano pomiaru odległości i przewyższenia pomiędzy stanowiskiem a nawiązaniem. Pomierzona odległość zgadzała się z wartością obliczoną ze współrzędnych, odchyłka kątowa wyniosła tylko 0^g,0010, a różnica wysokościowa miała zaledwie 4 mm. Po tak przygotowanej orientacji instrumentu i stwierdzeniu jej poprawności rozpoczęto pomiar. Pomiarowi podlegały pikiety rozproszone zlokalizowane w charakterystycznych punktach, pozwalających na wierną prezentację rzeźby terenu (lokalne ekstrema, pikiety wysokościowe). Pomierzonych zostało ok 300 punktów, z których został wygenerowany NMT w postaci siatki GRID.

ANALIZA DANYCH POMIAROWYCH

Pozyskano dane pomiarowe, których rozkład przestrzenny prezentują rysunki 5, 6, 7.

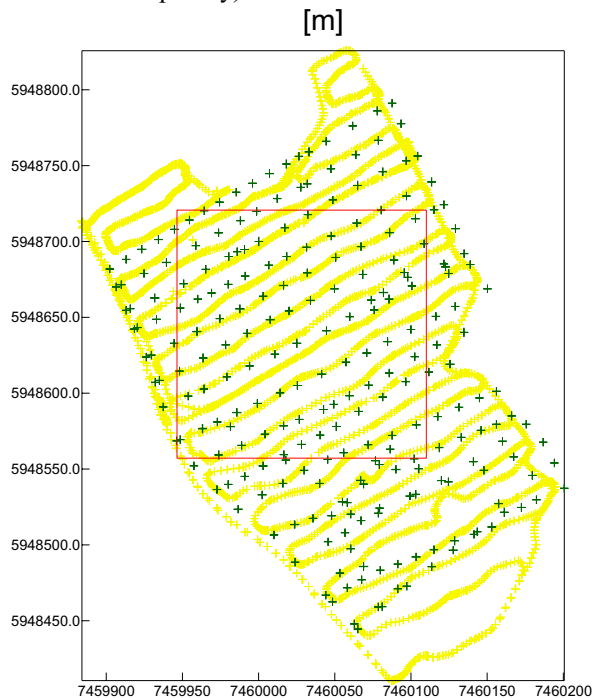


Rys. 5. Rozkład przestrzenny danych pozyskanych metodą satelitarną RTK (opracowanie własne)
Fig. 5. Spatial distribution of data gathered by satellite RTK methods (own elaboration)



Rys. 6. Rozkład przestrzenny danych pozyskanych metodą tachymetryczną (opracowanie własne)
Fig. 6. Spatial distribution of data gathered by tachymetric methods (own elaboration)

Po nałożeniu na siebie danych pozyskanych z dwóch metod wyznaczono wspólny obszar, który podlegał w dalszym etapie analizom (ilość punktów pomiarowych w obszarze wspólnym – bezpośrednie pomiary tachimetryczne – 102 punkty, bezpośrednie pomiary GPS RTK/OTF – 2522 punkty).



Rys. 7. Rozkład przestrzenny danych satelitarnych i tachimetrycznych z obszarem badań (opracowanie własne)

Fig. 7. Spatial distribution of satellite and tacheometric data in study area (own elaboration)

Przeprowadzono analizy, które oparto na powierzchniach GRID utworzonych na podstawie danych pozyskanych z dwóch metod pomiarowych, z których generowany był NMT. Do oceny statystycznej powierzchni GRID przyjęto następujący parametr:

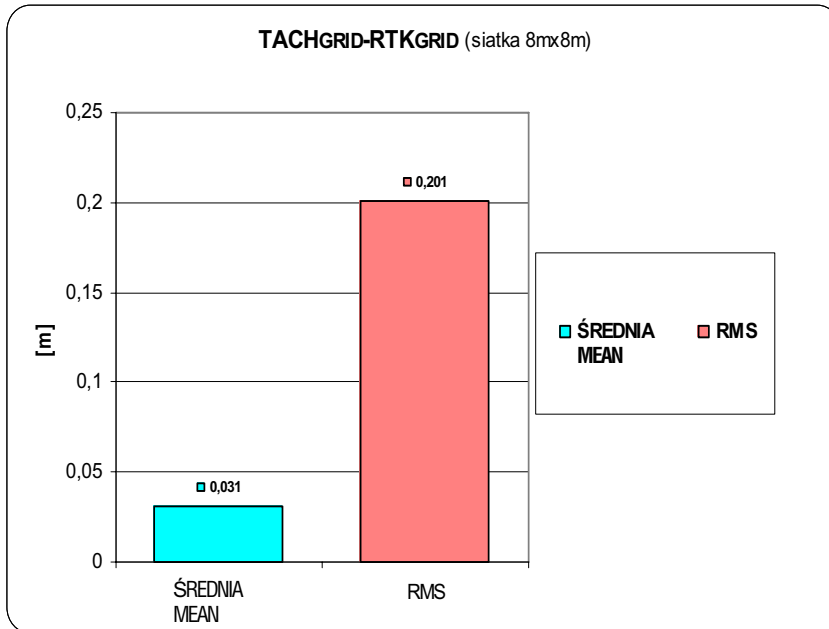
- Błąd RMS, pierwiastek z błędu średniokwadratowego (RMS – Root Mean Square). Błąd wyznaczany poprzez sumowanie kwadratów błędów indywidualnych, podzielenie uzyskanej sumy przez liczbę uwzględnionych wartości i wyznaczenie pierwiastka kwadratowego z uzyskanego ilorazu. Błąd RMS stanowi pojedynczą wartość opisującą błąd sumaryczny.

$$\text{RMS} = \sqrt{\frac{\sum (dh_{sr} - dh_i)^2}{n}}$$

gdzie: $dh_i = (H_{RTK_i} - H_{TACH_i})$ – wartości kolejnych różnic pomiędzy wysokościami siatki GRID uzyskanymi z pomiarów satelitarnych a wysokościami siatki GRID uzyskanymi z pomiarów tachimetrycznych,

$dh_{sr} = [(H_{RTK} - H_{TACH}) / n]$ – średnia wartość różnic pomiędzy wysokościami siatki GRID uzyskanymi z pomiarów satelitarnych a wysokościami siatki GRID uzyskanymi z pomiarów tachimetrycznych,
 n – liczba punktów.

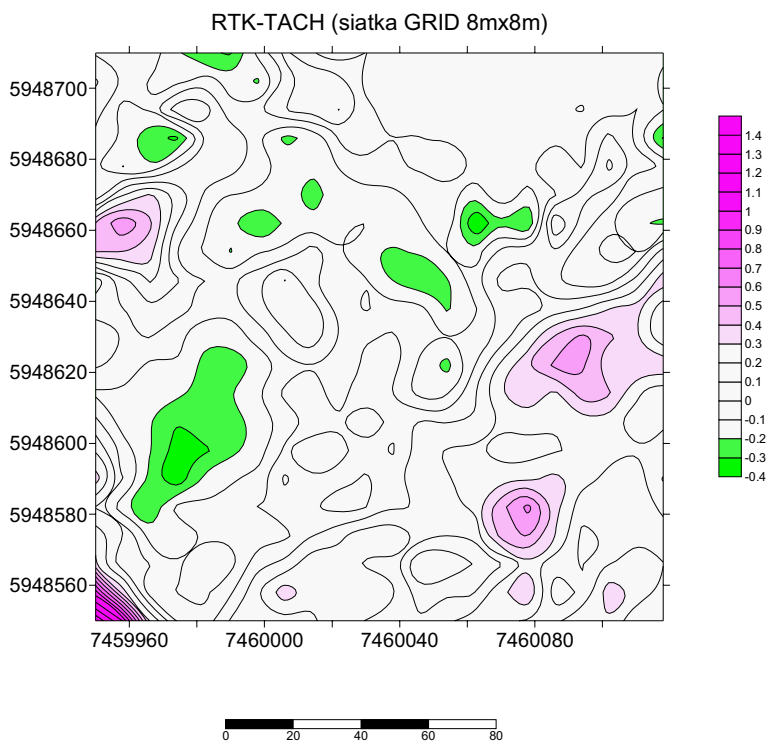
Analiza polegała na wyliczeniu różnic wysokości w punktach węzłowych siatki powierzchniowej GRID między metodami i błędowi RMS.



Rys. 8. Graficzna prezentacja wielkości średniej i błędowi RMS (opracowanie własne)
 Fig. 8. Graphic presentation of average value and RMS (own elaboration)

Średnia różnica w wysokościach pomiędzy metodami bezpośrednimi – klasyczną tachimetryczną i satelitarną RTK wyniosła 0,031 m, natomiast błąd RMS = 0,201 m (rys. 8).

Rys. 9 przedstawia rozkład różnic w wysokościach pomiędzy powierzchniami GRID utworzonymi z danych pozyskanych z pomiarów satelitarnych RTK i pomiarów tachimetrycznych TACH.

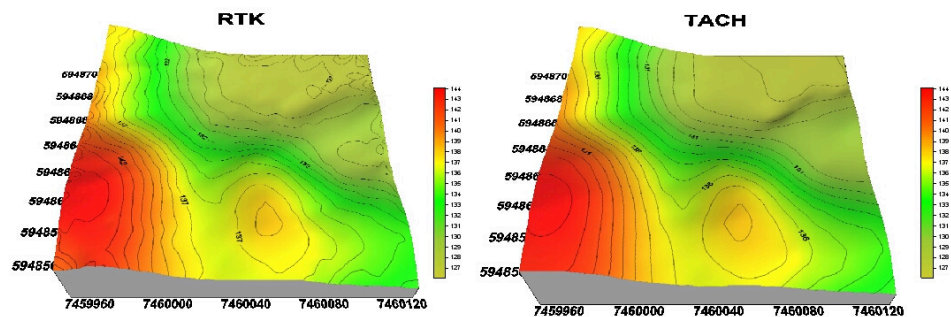


Rys. 9. Mapa rozkładu różnic wysokości na powierzchniach GRID dla siatki 8 × 8 m (opracowanie własne)

Fig. 9. The map of height difference distribution on GRID surface for grid 8 x 8 m (own elaboration)

Z danych pozyskanych metodami bezpośrednimi GPS RTK/OTF i tachimetryczną wygenerowano modele i nałożono na nie mapy warstwiczne.

W interpolacji graficznej modeli, zamieszczonej na rys. 10, widać, że nie ma zakłóceń charakterystyki przestrzennej badanego obszaru zarówno z danych pozyskanych z pomiarów satelitarnych, jak również z pomiarów tachimetrycznych.



Rys. 10. Numeryczne modele terenu z warstwicami (opracowanie własne)

Fig. 10. Digital Terrain Models with contour lines (own elaboration)

PODSUMOWANIE

W nawiązaniu do wyników pomiarów okazało się, że zastosowanie nowej technologii do pomiarów bezpośrednich GPS RTK/OTF jest idealne w procesie precyzyjnego, szybkiego, taniego i łatwego pozyskania wiarygodnych i aktualnych danych dotyczących tworzenia NMT. Podczas badań metody RTK w czasie rzeczywistym uzyskano centymetrowe dokładności, co pozwoliło na otrzymanie wysokich dokładności obrazowania rzeźby terenu; w porównaniu z metodą tachimetryczną dla powierzchni utworzonych jako siatka GRID średnia różnica współrzędnych wysokościowych wyniosła 3 cm, natomiast odchylenie standardowe 20 cm.

Metoda RTK daje możliwość wykonania pomiarów w celu pozyskania danych do tworzenia NMT przez tylko jedną osobę, pomiary te, z wykorzystaniem poprawek przesyłanych poprzez GPRS, mają na celu usprawnienie wykonywania pomiarów, zmniejszenie nakładu pracy, czasu pozyskania oraz opracowania danych.

PIŚMIENNICTWO

- Ciećko A., Oszczak B., Oszczak S., Determination of Accuracy and Coverage of Permanent Reference Station (DGPS/RTK) in Gdynia. 7th Bilateral Geodetic Meeting Italy-Poland, Bressanone, Italy, 22-24 May 2003, Published in Reports on Geodesy, No 2(65): 45–51.II.
- Ciećko A., Oszczak B., Oszczak S., Driver – By DTM. GPS and GSM Power Cost – Effective Terrain Modelling. GPS World, April 2006, Vol.17, No. 4.
- Gościowski D., Bojanowski K., Technical Sciences, Supplement 2 (2005), Publisher UWM.
- Oszczak S., Ciećko A., Oszczak B., Teletransmisja DGPS/RTK za pomocą GSM/GPRS z wykorzystaniem n-stacji referencyjnych i dedykowanego APN, EGNOS Workshop, Kraków, 23–24 September 2004, CD ROM Proceedings.
- Pająk K., Ciećko A., Oszczak S., Analyses of Different Methods used for Creation of Digital Terrain Model (DTM). 8th Bilateral Geodetic Meeting Poland-Italy, Wrocław, Poland, 21–24 Juni 2006, Reports and Geodesy NO 2(77).

ANALYSIS FOR CREATION OF DIGITAL TERRAIN MODEL (DTM) BY MEANS OF DIRECT SATELLITE AND TACHEOMETRIC MEASUREMENTS

Abstract. The analysis of comparison of ground data gathering technology for Digital Terrain Model generation by means of precise RTK/OTF method with GPRS for corrections transmission and direct tacheometric measurement technology were presented in this article. There are many methods which allow to acquire geometric information. The most accurate and reliable are direct measurement methods. With respect to the rate of measurement data obtaining and opportunity of their simple updating, methods of automatic registration, e.g. GPS measurements, should be take into consideration. Direct satellite RTK GPS method let for gathering a lot of measurement points in relatively short period of time, as well as in cheap, fast and safe way.

Key words: Digital Terrain Model, GPRS, RTK

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 31.03.2008

Do cytowania – For citation: Pająk K., Ciećko A., Oszczak S., 2008. Analiza technologii opracowania numerycznego modelu terenu przy użyciu bezpośrednich pomiarów satelitarnych i tachimetrycznych. Acta Sci. Pol. Geod. Descr. Terr. 7(1), 57-66.