

## TWORZENIE NMT ZA POMOCĄ GPS RTK/OTF PRODUCING DTM BY GPS RTK/OTF

Katarzyna Pająk, Adam Ciećko, Stanisław Oszczak

Katedra Geodezji Satelitarnej i Nawigacji, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

**Słowa kluczowe: numeryczny model terenu, GPS, RTK, GPRS**  
Keywords: Digital Terrain Model, GPS, RTK, GPRS

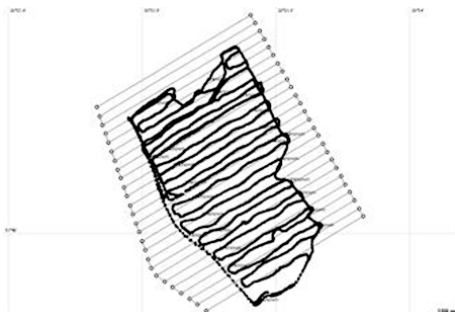
### Wstęp

Istnieje zapotrzebowanie na coraz dokładniejsze modele przestrzenne powierzchni terenu. Numeryczny model terenu (NMT) jest niewątpliwie elementem kluczowym dla wielu zastosowań. Jego wykorzystanie oraz nowe techniki prezentacji dają wiele nowych możliwości, np. dla potrzeb zarządzania czy planowania przestrzennego. Jednak jakość uzyskiwanych na podstawie pomiarów geodezyjnych modeli rzeźby terenu zależy od szeregu elementów. 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 zobrazowania rzeźby terenu w zależności od sposobu wykonania samego pomiaru terenowego, jak i przyjętych założeń dotyczących opracowania.

W artykule przedstawiono technologię pozyskania danych terenowych przy użyciu precyzyjnej metody RTK/OTF (*Real Time Kinematic/On The Fly*) z wykorzystaniem łącza GPRS (*General Packet Radio Services* – pakietową transmisję danych) do transmisji poprawek. Precyzyjna metoda RTK (*Real Time Kinematic* – pomiar w czasie rzeczywistym) pozwala pozyskać w czasie rzeczywistym współrzędne poziome i współrzędną wysokościową efektywnie, w krótkim czasie, przy małym nakładzie pracy.

### Opis eksperymentu (pomiarы bezpośrednie RTK/OTF)

Eksperyment przeprowadzono 21 września 2005 roku w okolicy wsi Stawiguda pod Olsztynem. Celem pomiarów było uzyskanie odpowiednio dokładnych współrzędnych, na podstawie których można będzie stworzyć NMT. Współrzędne w układzie „2000” wyznaczono techniką GPS RTK/OTF w odstępach jednosekundowych. Pozycje RTK zostały następnie porównane z pozycjami odniesienia policzonymi jako średnia arytmetyczna z czterech niez-



**Rys. 1.** Zaprojektowane równoległe profile pomiarowe w programie MikroMapa i nawigacja po profilach (linie krzywe)

Nawigacji Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie z wykorzystaniem terminali firmy Biatel zapewnia niezawodność oraz bardzo rozległy zasięg niezbędny w systemie dystrybucji poprawek (Oszczak, Ciećko, Oszczak, 2004).

W celu wykonania analiz dokładności niezbędne było ustawienie dodatkowej stacji bazowej pracującej w trybie post-processing. Stacja znajdowała się na terenie mierzonego obszaru. Pomiary wykonano na profilach w odstępach co 15 m, 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, Oszczak, Oszczak, 2006).

Do pomiarów wykorzystano pojazd czterokołowy typu „quad”, znajdujący się na wyposażeniu Katedry Geodezji Satelitarnej i Nawigacji Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego. Na pojeździe umieszczono niezbędną aparaturę do pozyskania danych terenowych. 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.



**Rys. 2.** Pojazd czterokołowy z zamocowanymi odbiornikami geodezyjnymi i nawigacyjnymi

leżnych wyznaczeń OTF w trybie post-processing. Zarejestrowane zostały także dane pozwalające na uzyskanie pozycji w trybie DGPS post-processing, które również porównano z pozycjami odniesienia. W celu wykonania pomiarów terenowych wykorzystano stację referencyjną, znajdującą się w budynku Wydziału Geodezji i Gospodarki Przestrzennej w Olsztynie. Stacja referencyjna GPS podłączona jest tunelem IP-SEC do wybranego operatora telefonii komórkowej. Dane ze stacji gromadzone są przez Replikator systemu i w kolejnej fazie zostają adresowane do poszczególnych użytkowników mobilnych systemu GPRS. Technologia GPRS opracowana w Katedrze Geodezji Satelitarnej i

Po przeprowadzeniu pomiarów wykonano szereg obliczeń i analiz. Podczas pracy metodą real-time uzyskano współrzędne w czasie rzeczywistym. Pozycja dla każdej sekundy wyliczona jako średnia arytmetyczna z czterech niezależnych wyznaczeń OTF dała możliwość przeprowadzenia analiz dokładności. Korzystając z obserwacji nadliczbowych policzono błędy średnie dla każdej współrzędnej  $X$ ,  $Y$ ,  $H$  stosując poniższe wzory:

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

gdzie:

$m_X$ ,  $m_Y$ ,  $m_H$  – błędy średnie odpowiednio dla współrzędnej  $X$ ,  $Y$  i  $Z$ ,

$X_{sr}$ ,  $Y_{sr}$ ,  $H_{sr}$  – wartości średnie pomierzonych współrzędnych,

$X_p$ ,  $Y_p$ ,  $H_i$  – wartości pomierzonych współrzędnych,

$n$  – liczba wyznaczeń punktu.

Przeciętne błędy współrzędnych  $X$ ,  $Y$ ,  $H$  dla całego pomiaru wyniosły:  $m_X = 0,096$  m,  $m_Y = 0,064$  m,  $m_H = 0,198$  m. Uzyskane rezultaty na każdą sekundę pomiaru prezentuje rysunek 3.

Mając współrzędne obliczone na każdą sekundę pomiaru możliwe było określenie dokładności metody RTK/OTF oraz metody DGPS w trybie post-processing (Oszczak, Cienko, Oszczak, 2004). Różnice współrzędnych otrzymanych z wyznaczeń poszczególnymi metodami GPS przedstawiają rysunki 4 i 5.

Wartości średnich różnic pomiędzy współrzędnymi pozycji odniesienia, a współrzędnymi otrzymanymi z pomiarów wyniosły odpowiednio:

○ metodą RTK:  $d_X = 0,100$  m,  $d_Y = 0,045$  m,  $d_H = 0,038$  m

○ metodą DGPS w trybie post-processing:  $d_X = 0,384$  m,  $d_Y = 1,323$  m,  $d_H = 1,710$  m

W czasie 90 minut pomiaru uzyskaliśmy również część mało przydatnych wyznaczeń. Dane zebrane w ciągu pierwszych 40 minut pomiaru są bardzo zadowalające, średnie błędy współrzędnych  $X$ ,  $Y$ ,  $H$ , na każdą sekundę pomiaru prezentuje rysunek 6.

Różnice w pozycji horyzontalnej wahały się na poziomie kilku milimetrów, natomiast w pozycji wertykalnej na poziomie kilkunastu milimetrów. Po 40 minutach pomiaru znacznie zmalała jakość uzyskanych pozycji, co było spowodowane: mniejszą liczbą widocznych satelitów, zmianą w konfiguracji satelitów, a także z pojawienia się zasłon horyzontu. Zasłony te spowodowane były bliskością lasu oraz ukształtowaniem terenu (duże deniwelacje) (Ciećko, Oszczak, Oszczak, 2006).

## Numeryczny model terenu z pomiarów RTK/OTF

Otrzymane wyniki posłużyły do wygenerowania NMT (rys. 7) w programie Surfer Software. Na skutek chwilowych spadków dokładności pozycji część obserwacji uzupełniono danymi pochodzącymi z pomiarów w trybie post-processing.

W celu uzyskania przejrzystej i uporządkowanej organizacji przestrzennej przetwarzanych danych zastosowano siatkę kwadratów GRID. Ze względu na duże deniwelacje, dla zapewnienia odpowiedniej dokładności modelowania powierzchni terenu, przyjęto oczko siatki o wymiarze 10 x10 m. Do interpolacji powierzchni użyto metody krigingu, stosowanej często

do różnych typów danych. Metoda krigingu tworzy dobry model dla dużej liczby danych i można powiedzieć, że tworzy model GRID dokładnie i zgodnie z danymi pomiarowymi (Gościewski, Bojarowski, 2005).

## Podsumowanie

Niniejszy eksperyment miał na celu zbadanie przydatności i dokładności satelitarnych technik pozycjonowania w warunkach dynamicznych. Z przedstawionych analiz można wnioskować, iż satelitarny system pozycjonowania GPS jest precyzyjny, co pozwala uzyskać wysoką dokładność obrazowania rzeźby terenu. Pomiary w czasie rzeczywistym metodą RTK mogą być znakomitym narzędziem do tworzenia NMT. Z powodzeniem może być stosowana transmisja korekcji za pomocą technologii GPRS.

W omawianym eksperymencie otrzymano wyniki, które pokazują, że pomiar metodą GPS danych terenowych służących do generowania NMT jest szybki i charakteryzuje się wysoką dokładnością. Stwierdzono również, że pojawienie się zasłon horyzontu drastycznie obniża dokładność tego pomiaru. Prowadzi to do wniosku, że proponowaną metodę można używać z powodzeniem tylko w terenach dostępnych i niezabudowanych.

## Literatura

- Ciećko A., Oszczak B., Oszczak S., 2003: 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., 2006: Driver – By DTM. GPS and GSM Power Cost - Effective Terrain Modelling, *GPS World*, April 2006, Vol.17, No 4.
- Gościewski D., Bojarowski K., 2005: Technical Sciences, Supplement 2 (2005), Publisher UWM.
- Oszczak S., Ciećko A., Oszczak B., 2004: Teletransmisja DGPS/RTK za pomocą GSM/GPRS z wykorzystaniem n-stacji referencyjnych i dedykowanego APN, EGNOS Workshop, Kraków, 23-24 wrzesień 2004, CD ROM Proceedings.

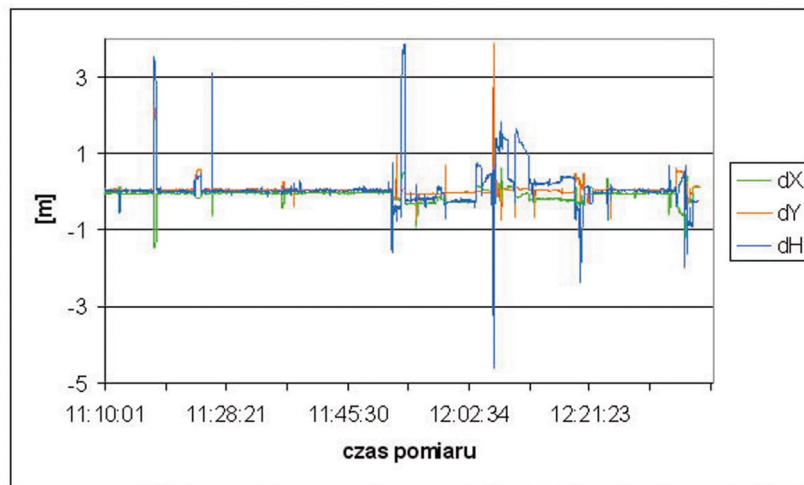
## Summary

*The paper presents technology of obtaining terrain data for the purpose of generating a Digital Terrain Model (DTM), applying the precise RTK/OTF method and using the GPRS link for transmission of corrections. The DTM coordinates are acquired efficiently in real time.*

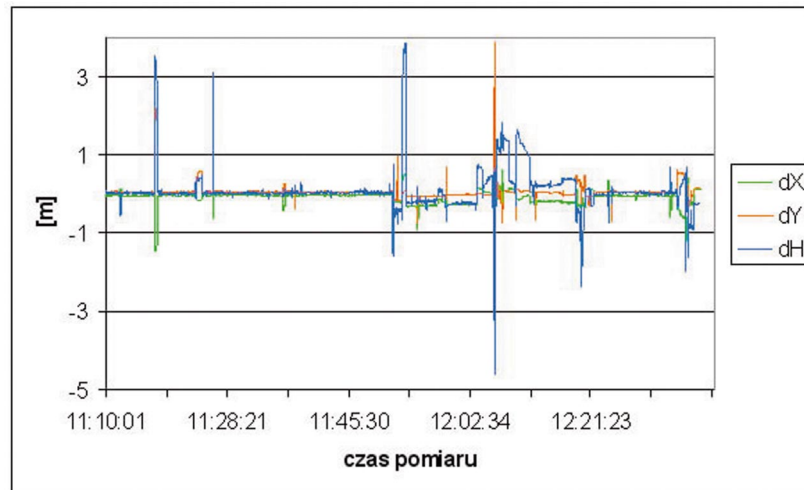
mgr inż. Katarzyna Pająk  
kati\_ko@wp.pl

prof. dr hab. inż. Stanisław Oszczak  
oszczak@uni.olsztyn.pl

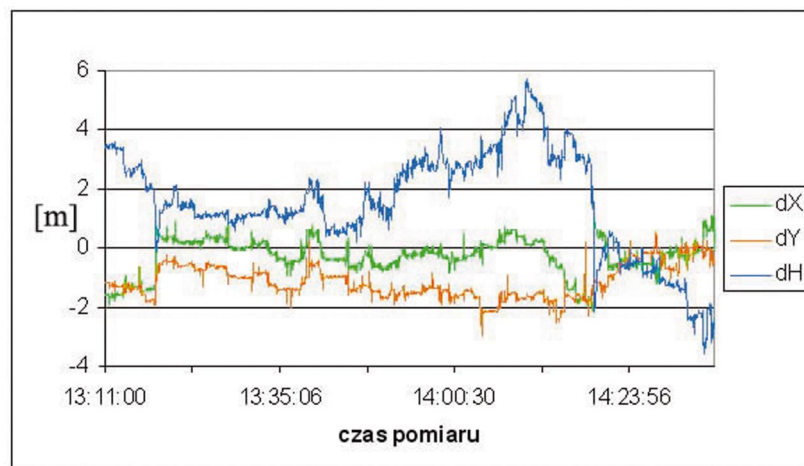
**Rys. 3.** Średnie błędy współrzędnych dla wartości odniesienia

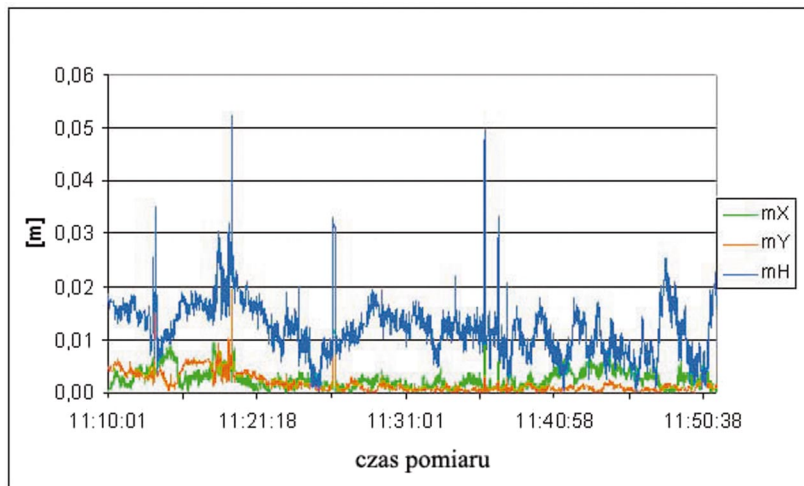


**Rys. 4.** Dokładności wyznaczenia współrzędnych metodą RTK (real-time)

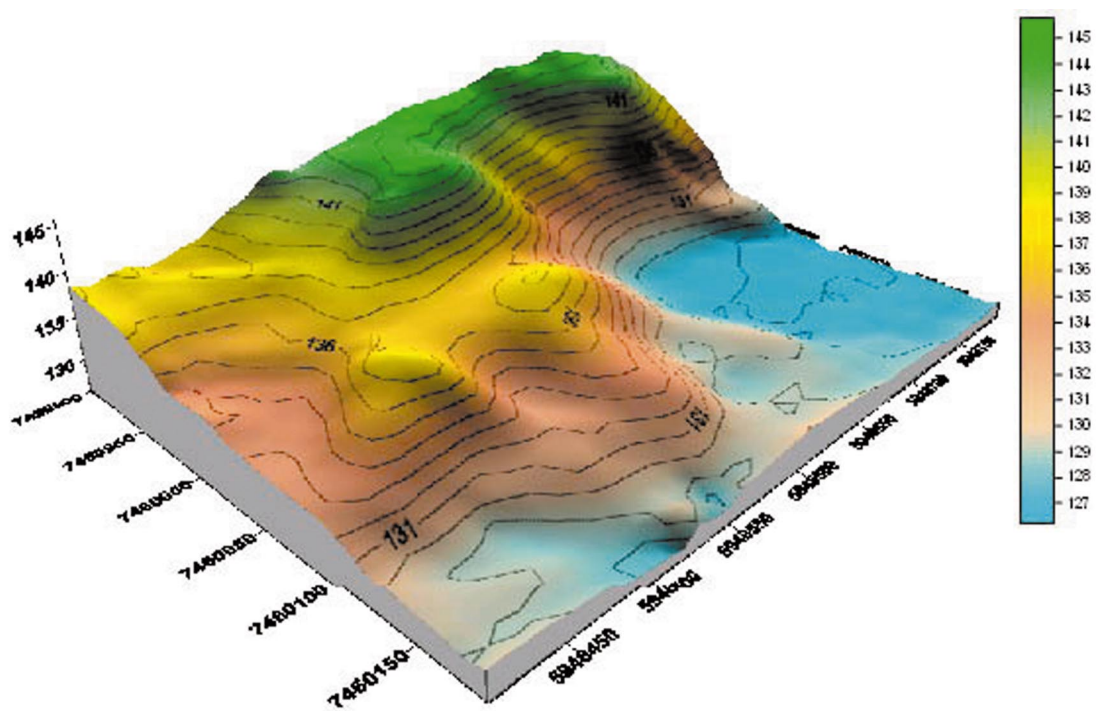


**Rys. 5.** Dokładności uzyskane z poprawkami DGPS (czas lokalny)





Rys. 6. Średnie błędy współrzędnych dla wartości odniesienia (dla pierwszych 40 minut pomiaru)



Rys. 7. Numeryczny model terenu wygenerowany z pomiarów RTK