

## WYZNACZANIE RÓŻNIC WYSOKOŚCI Z WYKORZYSTANIEM NIWELACJI SATELITARNEJ

Karol Dawidowicz, Jacek Lamparski, Krzysztof Świątek  
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono analizy dotyczące wpływu długości sesji obserwacyjnych GPS na wyniki wyznaczania różnic wysokości metodą niwelacji satelitarnej. W tym celu wykorzystano, przeprowadzone w ciągu kilku dni, ośmiogodzinne obserwacje wykonane na trzech punktach sieci testowej. Z przeprowadzonych analiz wynika, że sesje dwugodzinne mogą okazać się zbyt krótkie do wyznaczenia wysokości z dokładnością do 1–2 cm.

**Słowa kluczowe:** Globalny System Pozycyjny, niwelacja satelitarna

### WSTĘP

O ostatecznej dokładności wyznaczenia wysokości metodą niwelacji satelitarnej decyduje dokładność określenia wysokości elipsoidalnej oraz odstępu geoidy (quasi-geoidy) od elipsoidy WGS-84.

$$H = h - N \quad (1)$$

gdzie:  $H$  – wysokość normalna,  
 $h$  – wysokość elipsoidalna,  
 $N$  – odstęp geoidy od elipsoidy.

W literaturze trudno znaleźć analizy dotyczące czasu trwania sesji obserwacyjnej przy pomiarach związanych z wyznaczaniem wysokości. Jest to o tyle zrozumiałe, że długość ta jest uzależniona od wielu czynników, np.: metody pomiaru, długości wektorów, warunków pomiaru (geometria i ilość widocznych satelitów, występowanie zasłon itp.) czy wymaganej dokładności. Z reguły przyjmuje się, że dla wektorów 20–50 km sesja pomiaru statycznego powinna trwać 2–3 godziny. W instrukcjach programów obliczeniowych podkreśla się, że obserwacje wykonane odbiornikami dwuczęstotliwościowymi i opracowywane na częstotliwości L1c powinny trwać przynajmniej 2 godz. [ASHTECH XII GPPS 1990].

---

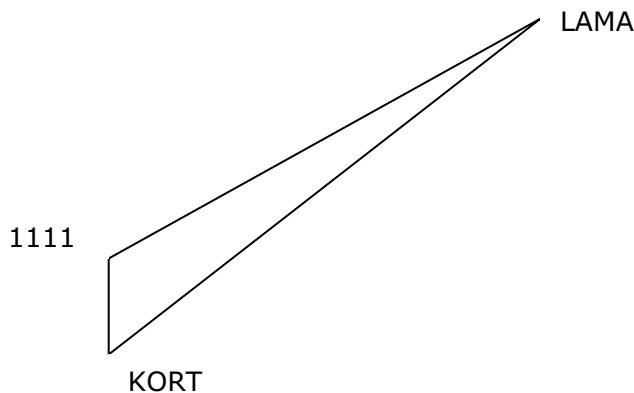
Adres do korespondencji – Corresponding author: Karol Dawidowicz, Instytut Geodezji, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, ul. Oczapowskiego 1, 10-719 Olsztyn, e-mail: carlos@uwm.edu.pl

W jednym z dostępnych opracowań na temat wykorzystania systemu GPS do wyznaczania wysokości [Ollikainen 1997] – długości sesji nie przekraczały 3 godzin.

Autorzy opracowania analizują zmiany wartości różnic wysokości elipsoidalnych w zależności od długości sesji obserwacyjnych.

## OBSZAR BADAŃ

W niniejszej pracy przedstawiono analizy dotyczące zależności między uzyskiwanymi wysokościami a długością sesji. W obliczeniach wykorzystano ośmiogodzinne obserwacje GPS, wykonane na punktach sieci testowej. Szkic sieci przedstawiony jest na rys. 1.



Rys. 1. Sieć testowa  
Fig. 1. Test network

Najdłuższy mierzony wektor sieci (LAMA-1111) ma długość około 21,9 km, kolejny wektor (LAMA-KORT) – 20,1 km i najkrótszy (KORT-1111) – około 3,4 km.

Do analiz wykorzystano ośmiogodzinne sesje pomiarowe, wykonywane przez trzy dni w grudniu 2006 r. na punktach 1111 i KORT oraz wykorzystano obserwacje ze stacji permanentnej LAMA. Godziny rozpoczęcia i zakończenia sesji pomiarowych w poszczególnych dniach zawarte są w tab. 1.

Tabela 1. Czas trwania sesji pomiarowych  
Table 1. Duration of measuring session

Dzień pomiarowy Measuring day	Sesje pomiarowe Measuring sessions	
	początek start	koniec end
347	13.00	21.00
350	10.00	18.00
351	10.00	18.00

## METODYKA BADAŃ I ANALIZA WYNIKÓW

Obserwacje GPS opracowano z wykorzystaniem oprogramowania: GPPS5.2/FILLNET3.1. Programy GPPS i FILLNET są produktami firmy Ashtech [ASHTECH XII GPPS 1990]. Przeznaczone są głównie do opracowania pomiarów wykonanych odbiornikami tej firmy (tzw. „programy firmowe”). Programy GPPS i FILLNET dają dość szeroki zakres ingerencji w proces obliczeniowy.

W pierwszej kolejności z plików ośmiogodzinnych sesji obserwacyjnych wyodrębniono pliki sesji czterogodzinnych oraz dwugodzinnych. Do tego procesu wykorzystano program FILETOOL (program będący częścią pakietu GPPS), który umożliwia m.in. usuwanie części obserwacji z plików obserwacyjnych. Pozwoliło to na wyodrębnienie następujących sesji, które poddano standardowemu opracowaniu programem GPPS:

- 1 sesja ośmiogodzinna (oznaczenie **8H/0**),
- 2 sesje czterogodzinne (oznaczenia **4H/1** i **4H/2**),
- 4 sesje dwugodzinne (oznaczenia **2H/1**, **2H/2**, **2H/3** i **2H/4**).

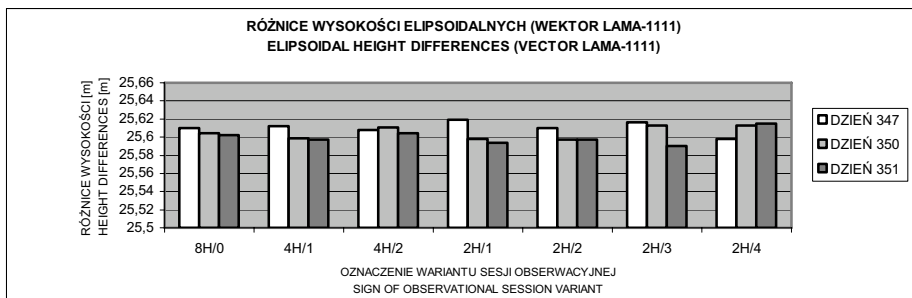
Wyżej wymienione, sztucznie wygenerowane sesje pomiarowe opracowywano przy użyciu zestawu programów GPPS/FILLNET. Opracowanie wykonano na częstotliwości L1 oraz z wykorzystaniem „wolno-jonosferycznej” kombinacji liniowej pomiarów fazowych (kombinacja L1c). Jako punkt stały sieci przyjęto stację permanentną LAMA ze współrzędnymi uzyskanymi z rozwiązania sieci EUREF-POL'92 [Zieliński i in. 1993]. Są to współrzędne wyrażone w układzie ETRF'89:

$$B = 53^{\circ}53'32''63057$$

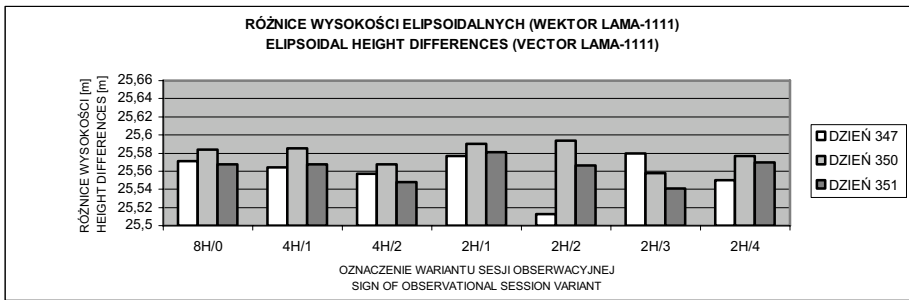
$$L = 20^{\circ}40'11''77529$$

$$H = 187.054 \text{ m}$$

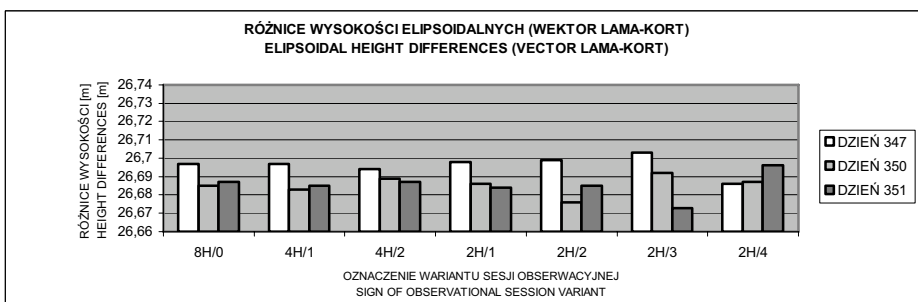
Uzyskane elipsoidalne wysokości punktów sieci w zależności od wygenerowanej wcześniej i przyjętej obecnie do opracowania sesji pomiarowej posłużyły do obliczenia różnic wysokości. W praktyce preferuje się wyznaczanie wysokości metodą niwelacji satelitarnej w oparciu o różnice wysokości elipsoidalnych, różnice odstępów geoidy od elipsoidy uzyskane z modelu wraz z dowiązaniem do reperów państwowych, a nie bezpośrednio ze wzoru 1. Takie podejście pozwala na wyeliminowanie z rozwiązania błędu systematycznego modelu geoidy [Instrukcja techniczna G-2]. Wyniki przedstawiono na wykresach 1–6.



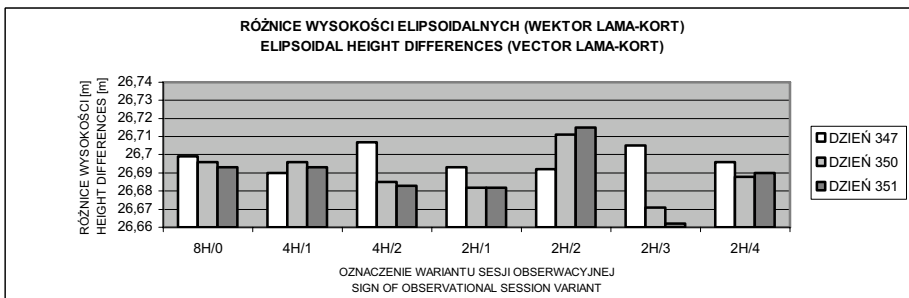
Wykres 1. Różnice wysokości elipsoidalnych (wektor LAMA-1111, strategia opracowania L1)  
Diagram 1. Elipsoidal height differences (vector LAMA-1111, strategy of elaboration L1)



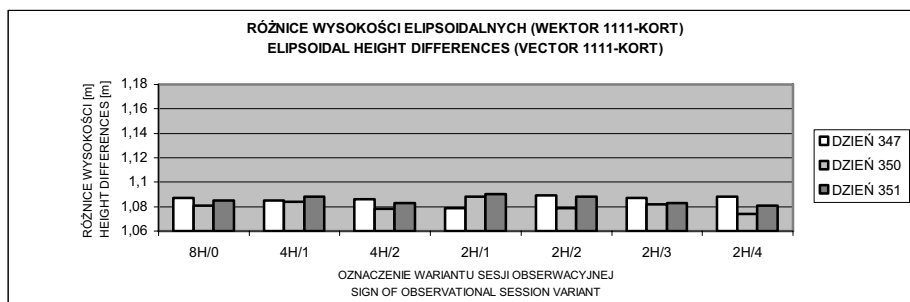
Wykres 2. Różnice wysokości elipsoidalnych (wektor LAMA-1111, strategia opracowania L1c)  
 Diagram 2. Ellipsoidal height differences (vector LAMA-1111, strategy of elaboration L1c)



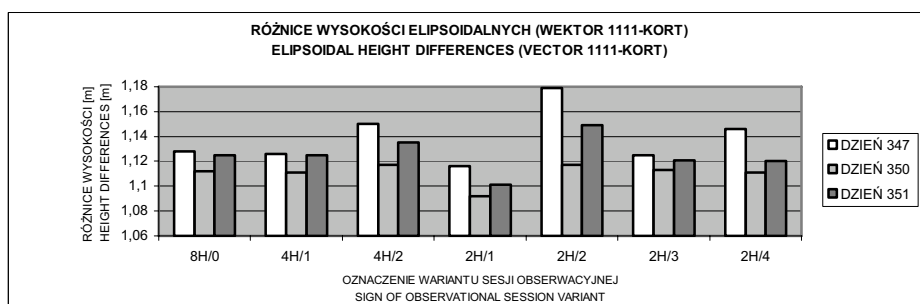
Wykres 3. Różnice wysokości elipsoidalnych (wektor LAMA-KORT, strategia opracowania L1)  
 Diagram 3. Ellipsoidal height differences (vector LAMA-KORT, strategy of elaboration L1)



Wykres 4. Różnice wysokości elipsoidalnych (wektor LAMA-KORT, strategia opracowania L1c)  
 Diagram 4. Ellipsoidal height differences (vector LAMA-KORT, strategy of elaboration L1c)



Wykres 5. Różnice wysokości elipsoidalnych (wektor 1111-KORT, strategia opracowania L1)  
Diagram 5. Elipsoidal height differences (vector 1111-KORT, strategy of elaboration L1)



Wykres 6. Różnice wysokości elipsoidalnych (wektor 1111-KORT, strategia opracowania L1c)  
Diagram 6. Elipsoidal height differences (vector 1111-KORT, strategy of elaboration L1c)

Na podstawie powyższych wykresów można stwierdzić, że różnice wysokości w poszczególnych wektorach uzyskane z opracowania sesji dwugodzinnych charakteryzują się wysoką niestabilnością. Dotyczy to zarówno porównań w jednym dniu pomiarowym, jak również porównań między kolejnymi dniami. W zależności od strategii opracowania i opracowywanego wektora różnice wysokości uzyskane z sesji dwugodzinnych zmieniają się w granicach 6–8 cm. Jednocześnie należy zwrócić uwagę, że wyniki uzyskane dla wektora 1111-KORT, opracowanego w strategii L1 (wykres 5), charakteryzują się wysoką zgodnością (zmiany w granicach 1–2 cm). Potwierdza to zasadę, że dla krótkich wektorów właściwszy jest pomiar i opracowanie obserwacji GPS na częstotliwości L1. Powyższe wykresy obrazują również, jak przyjęta strategia opracowania (L1 bądź L1c) może wpłynąć na końcowe rezultaty. Opracowanie tych samych sesji we wspomnianych wcześniej dwóch różnych strategiach prowadzi do wyraźnie odbiegających od siebie wyników. Szczególnie mocno widoczne jest to dla krótkich wektorów (takich jak 1111-KORT), gdzie opracowanie tych samych danych w dwóch wspomnianych wcześniej strategiach prowadzi do wyznaczenia wartości różnic wysokości wektora, odbiegających od siebie nawet do 10 cm (wykresy 5 i 6, dzień 347, sesja 2H/2).

## WNIOSKI

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że długość sesji obserwacyjnej GPS ma istotny wpływ na wyznaczanie elipsoidalnych wysokości punktów. Szcze-

gólnie przy długich wektorach (rzędu 20 km i więcej), jak to miało miejsce w rozpatrywanym eksperymencie i wykorzystaniu firmowego oprogramowania w opracowaniu, sesje dwugodzinne mogą okazać się zbyt krótkie do wyznaczenia wysokości z dokładnością 1–2 cm. Duże znaczenie dla końcowych rezultatów, szczególnie przy tak krótkich sesjach, ma również wybór strategii opracowania. Przedstawione wyniki uwiadczenia, że dla krótkich wektorów (rzędu kilku kilometrów) lepszą strategią jest opracowanie na częstotliwości L1.

## PIŚMIENNICTWO

- ASHTech XII GPPS., 1990. GPS Post Processing System, Ashtech INC, Sunnyvale, CA, USA.
- Banasik P., 1999. Wyznaczenie przebiegu quasi-geoidy w rejonie Krakowa na podstawie pomiarów niwelacyjnych i GPS, rozprawa doktorska, Kraków.
- Dawidowicz K., Lamparski J., Świątek K., 1997. The Geoid Determination on the Basis of Satellite Levelling and a Chosen Model, Reports of Geodesy 5/97.
- Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H., Collins J., 1994. GPS Theory and Practice, Springer-Verlag, Austria, Wien.
- Łyszkowicz A., 1991. Wyznaczanie różnic wysokości z wyników pomiarów GPS i odstępów geoidy od elipsoidy, Geodezja i Kartografia, t. XL.
- Instrukcja technicznej G-2., 2001. Szczegółowa pozioma i wysokościowa osnowa geodezyjna i przeliczenia współrzędnych między układami, wydanie piąte zmienione, GUGiK, Warszawa.
- Ollikainen M., 1997. Determination of Orthometric Heights using GPS Levelling, Publications of the Finnish Geodetic Institute, No. 123, Kirkkonummi.
- Praca zbiorowa., 1993. Niwelacja precyzyjna, Polskie Przedsiębiorstwo Wydawnictw Kartograficznych im. E. Romera S. A., Warszawa.
- Volcho P.I., Savchuk S.G., Trevogo I.S., Tretyak K.R., 1999. About efficient determination of normal points heights on local geodesic firing ground, International Scientific and Technological Symposium „Geomonitoring-99”, Ukraine, Morshyn.
- Zieliński J.B., Jaworski L., Zdunek R., Seeger H., Engelhardt G., Toppe F., Luthardt J., 1993. Final Report about EUREF-POL 1992 GPS Campaign, (praca niepublikowana), Warszawa.

## THE HEIGHT DIFFERENCES APPOINTMENT USING SATELLITE LEVELING

**Abstract.** The paper presents analyses concerning the influence of length GPS observational session on heights differences appointment results with satellite leveling. In elaboration the eight-hour GPS observation, carried within several days, on three points of test networks were used. Carried analyses have exerted that the two-hour GPS session can be too short for points appointment with 1-2 cm accuracy.

**Key words:** Global Positioning System, satellite leveling

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 31.03.2008

Do cytowania – For citation: Dawidowicz K., Lamparski J., Świątek K., 2008. Wyznaczanie różnic wysokości z wykorzystaniem niwelacji satelitarnej. Acta Sci. Pol. Geod. Descr. Terr. 7(1), 29-34.