

NIWELACJA SATELITARNA GNSS Z WYKORZYSTANIEM SERWISU NAWGEO SYSTEMU ASG-EUPOS

Tomasz Hadaś, Jarosław Bosa

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Streszczenie. Uruchomienie testowe wielofunkcyjnego systemu precyzyjnego pozycjonowania na obszarze Polski ASG-EUPOS z początkiem czerwca 2008 roku dało możliwość realizacji prac geodezyjnych w czasie rzeczywistym RTK GNSS (serwis NAWGEO) na obszarze całego kraju. System ASG-EUPOS wprowadza jednolity w skali kraju i niezmienny układ odniesienia. Wyznaczanie pozycji poziomej punktu z wykorzystaniem poprawek serwisu NAWGEO gwarantuje (zgodnie z informacjami właściciela systemu) spełnienie wymagań stawianych dla wszystkich grup dokładnościowych. Wysokości punktów zgodnie z obowiązującymi przepisami powinny być wyznaczone w stosunku do najbliższych punktów osnowy, a kryterium dokładności dla wysokości jest błąd położenia względem najbliższych reperów nawiazania. W pracy przeprowadzono analizy sposobów wyznaczania wysokości w kontekście możliwości technicznych systemu ASG-EUPOS i uwarunkowań prawno-technicznych wynikających z obowiązujących i projektowanych standardów technicznych. Efekt końcowy stanowi propozycja metodyki pomiarów w celu określenia wysokości normalnych w czasie rzeczywistym z wykorzystaniem serwisu NAWGEO systemu ASG-EUPOS z jednoczesną oceną dokładności. Ponadto wykonano analizę dostępnych modeli quasi-geoidy i sposobów ich wpasowania przy realizacji pomiarów wysokości w systemie ASG-EUPOS.

Słowa kluczowe: niwelacja satelitarna GNSS, quasi-geoida

WSTĘP

Zbudowany w ramach europejskiego projektu EUPOS system ASG-EUPOS obejmuje swym zasięgiem całe terytorium Polski, generując permanentne poprawki korekcyjne dla odbiorników GNSS wykonujących pomiary DGNS (serwisy NAWGIS, KODGIS), RTK GNSS (serwis NAWGEO) i pomiary statyczne (serwisy POZGEO i POZGEO D). Korzystanie z serwisów systemu gwarantuje osiągnięcie wysokich dokładności, wystarcza-

jących do realizacji większości prac geodezyjnych. Ponadto system wprowadza jednolity w skali kraju i niezmienny układ odniesienia [Bosy i in. 2008].

Pomiary geodezyjne regulowane są szeregiem aktów prawnych i obowiązujących standardów technicznych. Korzystanie z systemu ASG-EUPOS również powinno być prawnie uregulowane, aby wykonywane z jego użyciem pomiary charakteryzowały się wymaganą dokładnością i jakością, a opracowane na ich podstawie dokumenty mogły zostać w konsekwencji przyjęte do zasobu geodezyjno-kartograficznego. Tymczasem obecnie brak jest jednoznacznych i konkretnych instrukcji określających, w jaki sposób należy realizować pomiary z wykorzystaniem systemu, szczególnie jeśli chodzi o pomiary w czasie rzeczywistym. Korzystanie z serwisu jest oczywiście możliwe, pod warunkiem spełnienia wymagań dokładnościowych.

Wyznaczanie pozycji poziomej punktu z wykorzystaniem poprawek serwisu NAWGEO gwarantuje (zgodnie z informacjami właściciela systemu) spełnienie wymagań stawianych dla wszystkich grup dokładnościowych. Ponieważ jednak położenie punktu w trzech wymiarach nie jest wyznaczane w stosunku do najbliższych punktów osnowy, a kryterium dokładności dla wysokości jest błąd położenia względem najbliższych reperów nawiazania – potrzebne jest określenie takiego sposobu realizacji pomiarów wysokości, który spełni to kryterium. W fazie projektu są wytyczne techniczne G-1.12 odnoszące się do pomiarów satelitarnych opartych na systemie ASG-EUPOS oraz nowelizacja rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 8 sierpnia 2000 r. w sprawie państwowego systemu odniesień przestrzennych, jednak brak jest w nich szczegółowych instrukcji odnośnie niwelacji satelitarnej. Wskazane jest jedynie wykorzystanie obowiązującego modelu quasi-geoidy lub transformacji opartej o punkty dostosowania, aby przeliczyć wysokości elipsoidalne do układu wysokości normalnych.

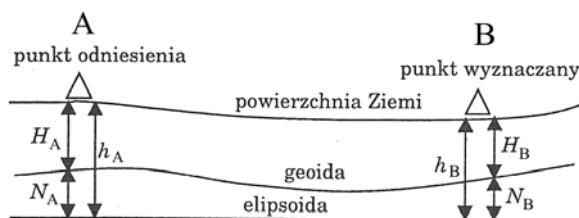
W niniejszej pracy przyjęto założenie, że ASG-EUPOS jest systemem wspomagającym pomiary technikami GNSS, w tym pomiary wysokości. Zastosowanie więc odpowiedniej procedury pomiaru, w tym pomiaru pewnej minimalnej liczby reperów nawiazania, a także odpowiedniego sposobu przeliczenia pomierzonych wysokości elipsoidalnych na wysokości w obowiązującym układzie wysokościowym, zapewni wymagany poziom dokładności dla wysokościowych pomiarów szczegółów terenowych w czasie rzeczywistym. Ponadto realizacja tych pomiarów będzie zgodna ze wszystkimi obowiązującymi instrukcjami i wytycznymi technicznymi. Realizacja powyższego założenia stanowi treść niniejszej pracy.

WYZNACZANIE WYSOKOŚCI NORMALNYCH PUNKTÓW Z POMIARÓW GNSS

System wysokości normalnych został zaproponowany przez Molodenskigo i wykorzystuje średnie przyspieszenie normalne $\bar{\gamma}$ zamiast średniego przyspieszenia siły ciężkości \bar{g} . Wysokością normalną nazywamy iloraz liczby geopotencjalnej C_p (różnica potencjału geoidy i potencjału powierzchni przechodzącej przez punkt) przez przeciętną wartość przyspieszenia normalnego $\bar{\gamma}$ wzdłuż linii pionu pola normalnego siły ciężkości. Wysokość normalna punktu P definiowana jest wzorem (ryc. 1):

że przy założeniu bezbłędności pomiarów satelitarnych można wyznaczyć przewyższenie między dowolnymi dwoma punktami w Polsce z błędem średnim 2 cm. Z uwagi na wpływ innych błędów jest to oczywiście niemożliwe, ale stwierdzono, że model ten daje dokładności niwelacji precyzyjnej II klasy (2 mm/km) na odległości kilkudziesięciu kilometrów [Pażus i in. 2002].

Przejęcie z wysokości elipsoidalnych do normalnych można także zrealizować poprzez ekstrapolację i interpolację. Metody ekstrapolacji (ryc. 2) i interpolacji (ryc. 3) służą do określania odstepu quasi-geoidy od elipsoidy na podstawie pomiarów satelitarnych wykonywanych na punktach o znanych wysokościach normalnych [Lamparski 2001].



Ryc. 2. Istota metody ekstrapolacji wysokości [Lamparski 2001]

Fig. 2 The principle of heights extrapolation method

W metodzie ekstrapolacji wymagany jest pomiar technikami satelitarnymi jednego punktu A o znanej wysokości normalnej. Dla każdego z wyznaczanych punktów B_i oblicza się różnicę wysokości elipsoidalnych względem punktu odniesienia A (ryc. 2):

$$\Delta h = h_B - h_A = (H_B + N_B) - (H_A + N_A) = (H_B - H_A) + (N_B - N_A) \quad (3)$$

skąd:

$$H_B = H_A + \Delta h - (N_B - N_A) \quad (4)$$

Zakłada się, że na danym odcinku wyznaczanego wektora odstep geoidy od elipsoidy nie ulega zmianom lub zmiany te są nieistotne. Pozwala to na wyznaczenie wysokości z dokładnością uzależnioną od wielkości zmian odstepów N . Wysokość ekstrapolowanego punktu oblicza się z uproszczonej zależności:

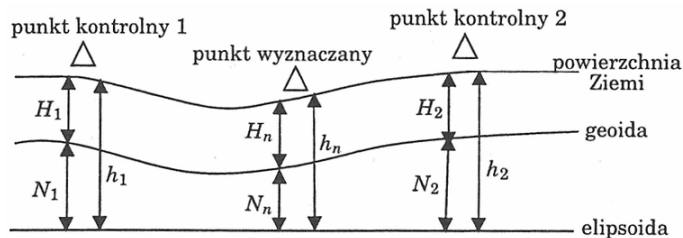
$$H_B = H_A + \Delta h \quad (5)$$

Metoda ta nie powinna być stosowana dla obszarów górskich, gdzie lokalne zmiany quasi-geoidy mogą być istotne i nie można założyć stałej anomalii wysokości.

Metoda interpolacji wymaga wykonania pomiarów satelitarnych na dwóch lub więcej punktach o znanych wysokościach normalnych. Warunkiem stosowania tej metody jest, aby punkty wyznaczane znajdowały się wewnątrz figury, której wierzchołkami są punkty nawiazania wysokościowego (ryc. 3).

Na punktach kontrolnych, o znanych wysokościach normalnych, wyznacza się odstep quasi-geoidy od elipsoidy, co pozwala na interpolację tej wartości na punktach wyznaczanych. Następnie na podstawie pomierzonej wysokości elipsoidalnej i wyinterpolowanego

wzniesienia quasi-geoidy nad elipsoidą – oblicza się wysokość normalną punktów, analogicznie jak w metodzie ekstrapolacji. Metoda interpolacji jest dokładniejsza od metody ekstrapolacji, ponieważ umożliwia uwzględnienie zmiany odstepu N na danym odcinku (obszarze). Metoda ta dobrze sprawdza się dla obszarów równinnych, w których zmiana przebiegu quasi-geoidy ma charakter zbliżony do liniowego. Dla obszarów górskich metoda nie powinna być stosowana z racji możliwych, zbyt dużych, lokalnych zmian przebiegu geoidy.



Ryc. 3. Istota metody interpolacji wysokości [Lamparski 2001]

Fig. 3. The principle of heights interpolation method

Innym sposobem przejścia z wysokości elipsoidalnych do normalnych jest metoda transformacji matematycznej. W metodzie transformacji matematycznej wymagany jest pomiar wysokości elipsoidalnej na punktach o znanej wysokości normalnej (min. 3), w jednolitym układzie wysokościowym, natomiast nie istnieje potrzeba wyznaczania odstępów geoidy od elipsoidy. Najczęściej stosuje się do tego transformację wielomianową (1 i 2 stopnia). Nie jest to metoda precyzyjna, a jej dokładność zależy od lokalnego przebiegu quasi-geoidy oraz dokładności wysokości punktów dostosowania [Lamparski 2001].

PROPOZYCJA SPOSOBU REALIZACJI NIWELACJI SATELITARNEJ GNSS Z WYKORZYSTANIEM SYSTEMU ASG-EUPOS

Wyznaczenie wysokości normalnych punktów z pomiarów satelitarnych RTK w serwisie NAWGEO na danym obszarze może odbywać się z zastosowaniem:

- 1) modelu quasi-geoidy,
- 2) modelu quasi-geoidy różnicowej,
- 3) modelu lokalnej quasi-geoidy.

Pierwszy sposób polega na bezpośrednim użyciu dostępnego modelu quasi-geoidy. W niniejszej pracy wykorzystano model Quasi-geoida2001 „QGEOIDA-01” [Pażus i in. 2002] i model quasi-geoidy serwisu POZGEO systemu ASG-EUPOS „QGEOIDA-PG” [Kadaj i Świętoń, 2009]”. Są to dwa aktualnie dostępne i zalecane przez GUGiK modele quasi-geoidy w Polsce.

Drugi sposób polega na równoległym przesunięciu istniejącego modelu geoidy N_{mod} . Wartość tego przesunięcia ΔN może być obliczona jako średnia wartość różnic pomiędzy odstępami obliczonymi na podstawie pomiarów statycznych a odstępami z modelu.

Wyznaczoną wartość przesunięcia należy uwzględnić przy obliczaniu wysokości normalnych punktów pomierzonych metodą RTK:

$$H_{RTK}^N = h_{RTK} - (N_{mod} + \Delta N) \quad (6)$$

W trzecim sposobie lokalna geoida N_{lok} jest modelowana na podstawie obliczonych dzięki pomiarom statycznym „rzeczywistych” odstępów geoidy. Jej przebieg może być przybliżany płaszczyzną:

$$ax + by + c \cdot \Delta N_{mod} + 1 = 0 \quad (7)$$

lub powierzchnią 2 stopnia:

$$a \cdot x^2 + b \cdot y^2 + c \cdot \Delta N_{mod} + d \cdot x \cdot y + e \cdot x \cdot \Delta N_{mod} + f \cdot y \cdot \Delta N_{mod} + g \cdot x + h \cdot y + i \cdot \Delta N_{mod} + 1 = 0 \quad (8)$$

wpasowaną w te odstęp.

Wyznaczone z każdego modelu odstęp quasi-geoidy N_{lok} na pomierzonych punktach należy wykorzystać w celu przeliczenia wysokości elipsoidalnych z pomiarów RTK na wysokości normalne:

$$H_{RTK}^N = h_{RTK} - N_{lok} \quad (9)$$

W celu weryfikacji powyższych metod modelowania przebiegu geoidy oraz wyznaczania wysokości normalnych punktów metoda RTK w serwisie NAWGEO systemu ASG-EUPOS przeprowadzono badania dla dwóch obiektów testowych. Pierwszy obiekt testowy służący weryfikacji dokładności metod modelowania przebiegu geoidy składał się z reperów klasy II, rozmieszczonych na terenie Wałbrzycha i okolic (Świebodzic, Szczawna Zdroju, Czarnego Boru, Jedliny, Głuszycy). Spośród reperów II klasy wybrano 13 punktów rozmieszczonych równomiernie i pokrywających możliwie duży obszar (19x20 km) (ryc. 4). Wybór punktów poprzedzony został wywiadem terenowym (możliwość realizacji pomiarów GNSS). Istotny wpływ na wybór obszaru miał jego wyżynny charakter. Maksymalna różnica katalogowych wysokości normalnych między wybranymi reperami wynosi 217.4185 m.

Przeniesienie wysokości z reperów II klasy na punkty do pomiarów GNSS wykonywano niwelatorem Ni007, który charakteryzuje się błędem średnim podwójnej niwelacji $\pm 0,5$ mm/km. Bezpośrednio po przeniesieniu wysokości następował dwukrotny, 10-sekundowy pomiar wysokości elipsoidalnej przeniesionego punktu metodą RTK z wykorzystaniem serwisu NAWGEO, rozdzielony ponowną inicjalizacją odbiornika. Następnie wykonywano pomiar statyczny, w którym ustawiono czas rejestracji co najmniej 4 satelitów na 1 godzinę. Następnie wykonywano ponowny pomiar RTK, w analogiczny sposób jak przed pomiarami statycznymi. Opracowanie pomiarów statycznych odbyło się z zastosowaniem serwisu POZGEO systemu ASG-EUPOS.

$$mH_{RTK}^N = \sqrt{\frac{\sum (H_{RTK}^N - H_{KAT}^N)^2}{n}} \quad (11)$$

3. Średni błąd niwelacji na 1 km z zastosowaniem obserwacji RTK. Dla każdej pary reperów (r_1, r_2) obliczono różnicę przewyższeń katalogowych oraz przewyższeń uzyskanych w wyniku przeliczenia pomiarów RTK z wykorzystaniem danego modelu:

$$\Delta\Delta H^{r_1, r_2} = \Delta H_{KAT}^{r_1, r_2} - \Delta H_{mod}^{r_1, r_2} = (H_{KAT}^{r_2} - H_{KAT}^{r_1}) - (H_{mod}^{r_2} - H_{mod}^{r_1}) \quad (12)$$

Różnice między tymi przewyższeniami standaryzowano odległością między punktami. Średni błąd niwelacji odcinka 1 km wyznaczono według wzoru:

$$m\Delta H_{1km} = \sqrt{\frac{\sum \left(\frac{\Delta\Delta H_{mod}^{r_1, r_2}}{\sqrt{d_{r_1, r_2}}} \right)^2}{\frac{1}{2}(n-1)^2}} \quad (13)$$

gdzie: d_{i_1, i_2} – odległość pomiędzy reperami r_1 oraz r_2 , n – ilość reperów.

Wyniki analizy dokładności modeli quasi-geoidy w oparciu o powyższe wskaźniki dla wszystkich sposobów wyznaczania wysokości normalnych przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Charakterystyki dokładnościowe wyznaczanych wysokości normalnych dla różnych sposobów modelowania quasi-geoidy

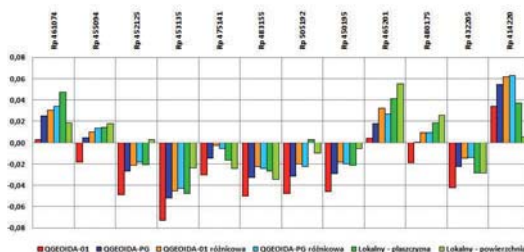
Table 1. The accuracy characteristic of normal heights obtained from different quasi-geoid models

Model quasi-geoidy Quasi-geoid model	Błąd wpasowania [mm] Fitting error		Błąd wyznaczenia wysokości z RTK [mm] RMS error of heights delivered from RTK		Średni błąd niwelacji na 1 km [mm] RMS error of 1 km leveling traverse
	Średni Mean	Przedział Range	Średni Mean	Przedział Range	
QGEOIDA-01	39,9	(-72,9 : 33,9)	21,5	(-9,4 : 58,0)	14,9
QGEOIDA-PG	30,1	(-51,6 : 54,2)	12,8	(-29,1 : 35,8)	14,7
QGEOIDA-01 różnicowa QGEOIDA-01 differential	28,7	(-45,2 : 61,6)	13,3	(-37,1 : 30,3)	7,8
QGEOIDA-PG różnicowa QGEOIDA-PG differential	28,8	(-42,8 : 63,0)	12,5	(-37,9 : 27,0)	7,2
Płaszczyzna – Plane	29,9	(-47,5 : 47,0)	12,9	(-46,3 : 29,9)	8,3
Powierzchnia 2 stopnia 2 nd order surface	25,1	(-34,6 : 55,0)	15,7	(-42,4 : 41,9)	9,3

Błąd wyznaczenia wysokości z pomiarów RTK w przypadku modeli różnicowych oraz modelu QGEOIDA-PG nie przekroczył ± 4 cm. Zastosowanie modeli lokalnych powoduje minimalny wzrost tego błędu (do $\pm 4,6$ cm), natomiast zastosowanie modelu QGEOIDA-01 może spowodować błąd przekraczający deklarowaną dokładność serwisu NAWGEO w zakresie wyznaczania wysokości wynoszący 5 cm.

Na rycinie 5 przedstawiono różnice odstępów quasi-geoidy uzyskanych z analizowanych modeli względem odstępów obliczonych na podstawie pomiarów statycznych na punktach przeniesienia reperów II klasy.

Uzyskane wyniki dla modeli różnicowych nie są zgodne z dokładnością deklarowaną przez autorów modelu QGEOIDA-01, tzn. nie dają „dokładności niwelacji precyzyjnej II klasy (2 mm/km) na odległości kilkudziesięciu kilometrów” [Pażus i in. 2002]. Dokładność ta nie została także uzyskana poprzez zastosowanie modeli lokalnych, których dokładność jest na poziomie zbliżonym do modeli różnicowych.



Ryc. 5. Różnice odstępów quasi-geoidy uzyskanych z analizowanych modeli względem odstępów obliczonych na podstawie pomiarów statycznych [m]

Fig. 5 The differences between quasigeoid elevations delivered from available models and computed from GNSS static measurements

Zastosowanie serwisu POZGEO do celów modelowania quasi-geoidy na obszarach wyżynnych nie przynosi rezultatów na oczekiwanym poziomie. Niemniej jednak powoduje wzrost dokładności wyznaczania wysokości i przewyższeń między punktami, a więc należy przypuszczać, że możliwe jest precyzyjne modelowanie przebiegu quasi-geoidy także na takich obszarach z zastosowaniem innych niż POZGEO narzędzi.

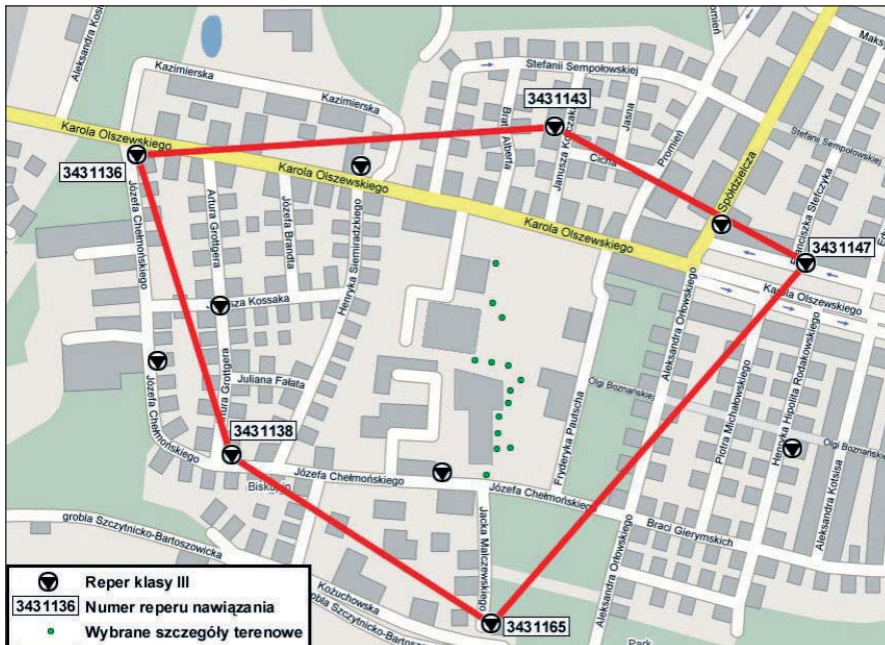
Drugi obiekt testowy służący weryfikacji dokładności wyznaczania wysokości szczegółów terenowych metodą RTK w serwisie NAWGEO został zlokalizowany w Wrocławiu (teren równinny). W jego skład wchodziło 5 reperów klasy III, wybranych spośród grupy istniejących na tym obszarze punktów osnowy wysokościowej oraz 14 szczegółów terenowych znajdujących się wewnątrz obszaru ograniczonego przez te repery (ryc. 6).

W pobliżu wybranych reperów, na terenie o wystarczająco odkrytym horyzoncie, zastabilizowano punkty, na które została przeniesiona wysokość zgodnie z warunkami niwelacji precyzyjnej klasy II. Na punktach tych wykonane zostały równoczesne, godzinne pomiary statyczne GNSS. Wyznaczenie wysokości punktów szczegółów terenowych nastąpiło poprzez niwelację geometryczną pomiędzy dwoma reperami nawiązania (3431165 i 3431143).

Na szczegółach terenowych wykonano wielokrotne pomiary RTK z wykorzystaniem serwisu NAWGEO. Odbyły się 4 pełne serie pomiarowe na każdym z punktów. Każda z serii składała się z dwóch 10-sekundowych pomiarów na każdym z punktów, rozdzielonych ponowną inicjalizacją odbiornika. Na punktach nawiązania wykonano 3 pełne serie pomiarowe RTK.

W celu wyznaczenia współrzędnych geodezyjnych (φ , λ , h) punktów III klasy wykorzystano serwisy POZGEO i POZGEO D. W ramach serwisu POZGEO D zostały wykonane z użyciem program Leica Geo Office v. 6.0 w następujących wariantach:

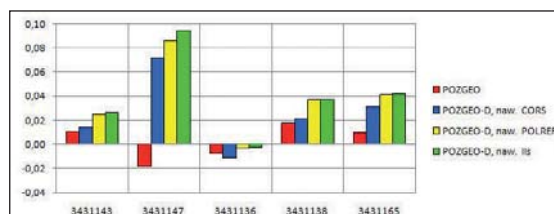
- 1) wyrównanie sieci w nawiązaniu do fizycznych stacji referencyjnych (CORS),
- 2) wyrównanie w nawiązaniu do wirtualnych stacji referencyjnych – 4 punktów sieci POLREF (POLREF),
- 3) wyrównanie w nawiązaniu do wirtualnych stacji referencyjnych – 2 punktów klasy IIs znajdujących się w pobliżu obszaru pomiarowego (II klasa).



Ryc. 6. Rozmieszczenie reperów III klasy oraz wybranych szczegółów terenowych na obiekcie testowym 2 [http://maps.google.com]

Fig. 6 The location of existing leveling benchmarks of 3rd order of national leveling network and the terrain details on the testing area no. 2

Na rycinie 7 przedstawiono wyniki poszczególnych wariantów obliczeń w postaci różnic uzyskanych wysokości normalnych względem katalogowych. Przejście z wysokości elipsoidalnych na normalne zrealizowano z wykorzystaniem modelu „Quasi-geoida 2001”.



Ryc. 7. Różnice uzyskanych wysokości normalnych względem wysokości katalogowych [m]

Fig. 7. The differences between computed normal heights and heights from official national catalogue

Z uwagi na uzyskane na punkcie 3431147 znaczące różnice dla serwisu POZGEO D przeprowadzono analizę obserwacji na tym punkcie, która wykazała znaczny dryft zegara w odbiorniku tam użytym. Można więc przypuszczać, że algorytmy oprogramowania Leica Geo Office v. 6.0 nie działają poprawnie przy takich rozbieżnościach, błędnie wyznaczając pozycję punktu.

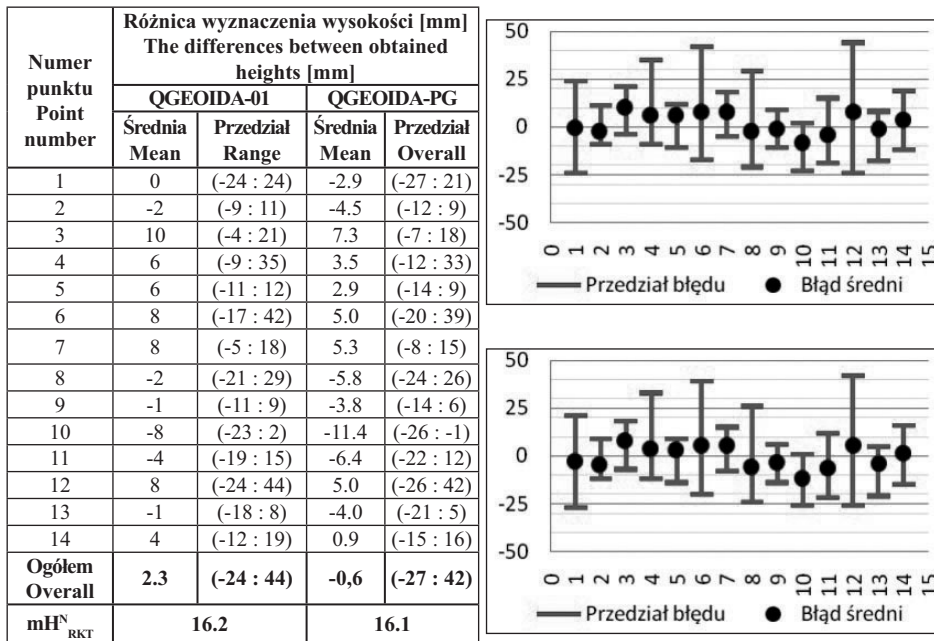
Mając więc na uwadze następujące fakty:

- punkt 3431147 ma istotny wpływ na geometrię obszaru modelowania i jego wyłączenie powoduje nierówny rozkład punktów nawiazania w stosunku do kontrolowanych;
- różnice pomiędzy rozwiązaniem z POZGEO a samodzielnym wyrównaniem w nawiazaniu do istniejących stacji referencyjnych POZGEO D są o rząd niższe niż dokładność ich wyznaczenia, postanowiono, że do celów modelowania przebiegu quasi-geoidy na danym obszarze wykorzystane zostaną jedynie wyniki z serwisu POZGEO.

Uzyskane wysokości elipsoidalne z pomiarów RTK dla szczegółów terenowych przeliczono na wysokości normalne, używając modeli quasi-geoidy: QGEOIDA-01 i QGEOIDA-PG. Następnie wysokości te porównano z wysokościami otrzymanymi z niwelacji, wyznaczając przedział różnic tych wysokości i różnicę średnią dla każdego z punktów. Spośród wszystkich różnic na wszystkich punktach wybrano wartości skrajne oraz policzono średni błąd wyznaczenia wysokości dla obu modeli geoidy według wzoru (11). Wyniki obliczeń przedstawiono na rycinie 8. Przedziały różnic wyznaczenia wysokości normalnych z użyciem obu modeli są przesunięte względem siebie o 3 mm, co wynika z różnic w odstępach z tych modeli. Dla większości punktów wysokość została wyznaczona z maksymalnym błędem ± 30 mm. Największy przedział różnic odnotowano na punktach znajdujących się w pobliżu wysokich obiektów (drzewo, budynek). Różnica ta nie przekraczała jednak ± 45 mm. Potwierdza to deklarowaną dokładność serwisu NAWGEO (± 5 cm dla wysokości).

Analogicznie jak przy pierwszym obiekcie testowym przeprowadzono analizy dokładności modeli quasi-geoidy w oparciu o wskaźniki wyrażone wzorami (10, 11 i 12). Wyniki przedstawiono w tabeli 2.

Charakterystyki dokładnościowe opisujące poszczególne modele quasi-geoidy pokazują, że oba modele różnicowe oraz model QGEOIDA-PG dają prawie te same wartości odstępów na badanym obszarze (różnice nie przekraczają 1 mm). Ponadto charakteryzują się one takimi samymi wartościami błędów wpasowania modelu oraz różnic wyznaczenia wysokości. Model lokalny, pomimo najmniejszego błędu wpasowania w odstępów wzorcowe, daje największy przedział różnic wyznaczenia wysokości. Średni błąd wyznaczenia wysokości metodą RTK dla wszystkich modeli wynosi około 16 mm.



Ryc. 8. Różnice wyznaczenia wysokości normalnych na podstawie pomiarów RTK oraz błędy wysokości dla modelu QGEOIDA-01 (górze) i QGEOIDA-PG (dół)

Fig. 8. Comparison of normal heights delivered from RTK measurements and RMS of normal height computed using QGEOIDA-01 (up) and QGEOIDA-PG (down) models

Tabela 2. Charakterystyki dokładnościowe wyznaczanych wysokości normalnych dla różnych sposobów modelowania quasi-geoidy

Table 2. The accuracy characteristic of normal heights obtained from different quasigeoid models

Model quasi-geoidy Quasi-geoid model	Błąd wpasowania [mm] Fitting error		Błąd wyznaczenia wysokości RMS error of heights delivered from RTK	Średni błąd niwelacji 1 km [mm] RMS error of 1 km leveling traverse	
	Średni Mean	Przedział Range		Średni Mean	Przedział Range
QGEOIDA-01	14,2	(-18 : 18)	16,2	2,3	(-24 : 44)
QGEOIDA-PG	13,8	(-15 : 21)	16,1	-0,6	(-27 : 41)
QGEOIDA-01 różnicowa QGEOIDA-01 differential	13,9	(-15 : 21)	16,1	-0,9	(-28 : 40)
QGEOIDA-PG różnicowa QGEOIDA-PG differential	13,8	(-15 : 21)	16,1	-1,1	(-28 : 41)
Płaszczyzna – Plane	12,3	(-22 : 12)	16,4	-1,9	(-33 : 43)

PODSUMOWANIE

Stosowanie zalecanego modelu odstępów quasi-geoidy QGEOIDA-01 do przeliczania pomierzonych metodą RTK w serwisie NAWGEO wysokości elipsoidalnych do obowiązującego systemu wysokości normalnych może prowadzić do błędów większych niż deklarowane przez właściciela systemu ASG-EUPOS 5 cm. Sytuacja taka ma miejsce szczególnie poza obszarami nizinnymi, gdzie przebieg quasi-geoidy jest bardziej zróżnicowany.

Przeprowadzone pomiary i analizy potwierdziły, że modelowanie przebiegu quasi-geoidy może prowadzić do poprawy dokładności wyznaczania wysokości, nawet na obszarach wyżynnych. Tworzone różnymi metodami modele różnicowe oraz lokalne nie gwarantują jednak uzyskania modelu lepszego jakościowo od modelu QGEOIDA-01.

Za model różnicowy można jednak uznać także model wykorzystywany w serwisie POZGEO (QGEOIDA-PG). Wykorzystanie odstępów z tego modelu do przeliczania wysokości elipsoidalnych na normalne daje lepsze dokładności niż stosowanie modelu QGEOIDA-01. Dotyczy to zarówno terenów nizinnych, jak i wyżynnych. Zaletą jego stosowania jest brak konieczności wykonywania pomiarów statycznych na reperach nawiązania oraz eliminacja procesu przybliżania przebiegu geoidy. Wadą modelu jest brak możliwości bezpośredniego korzystania z niego, nie są obecnie dostępne także żadne jawne informacje na jego temat.

Składową błędą wyznaczenia wysokości normalnej, oprócz niedokładności modelu quasi-geoidy, jest błąd wyznaczenia wysokości elipsoidalnej. Korzystanie z serwisu NAWGEO, zgodnie z warunkami określonymi przez projekt wytycznych technicznych G-1.12, daje różnice pomiędzy wielokrotnymi wyznaczeniami wysokości elipsoidalnych tego samego punktu metodą RTK w granicach 7 cm. Jest to więc decydujący czynnik ograniczający dokładność określenia wysokości normalnej punktów technikami satelitarnymi. Nawet przy bezbłędnym modelu quasi-geoidy nie jest obecnie możliwe osiągnięcie dokładności pomiaru wysokości w czasie rzeczywistym na poziomie 3 cm. Dalsze badania powinny zostać skierowane na dokładniejsze modelowanie atmosfery i w konsekwencji – udostępnianie lepszych jakościowo danych korekcyjnych.

Dostępna obecnie technologia satelitarna, przy wykorzystaniu systemu wspomagającego precyzyjne pozycjonowanie punktów ASG-EUPOS, nie zapewnia wymaganego poziomu dokładności dla wysokościowych pomiarów punktów obiektów sztucznych w czasie rzeczywistym. Technika ta pozwala jedynie na pomiary wysokościowe budowli i urządzeń technicznych ziemnych, elastycznych lub mierzonych elektromagnetycznie podziemnych obiektów uzbrojenia terenu oraz na pomiary powierzchni terenu. Dla osiągnięcia wymaganej dokładności nie jest konieczne wykonywanie pomiarów na reperach nawiązania. Pomiar taki może jedynie posłużyć do celów kontrolnych.

PIŚMIENNICTWO

- Bosy J., Graszka W., Leończyk M., 2008. Aktywna Sieć Geodezyjna EUPOS jako element składowy państwowego systemu odniesień przestrzennych. *Przegląd Geodezyjny* Nr 12/2008, 10–16.
Hofmann-Wellenhof B., Moritz H., 2005. *Physical Geodesy*. Springer-Verlag Wien.
Lamparski J., 2001. *NAVSTAR GPS. Od teorii do praktyki*. Wydawnictwo UWM, Olsztyn.

- Łyszkowicz A., 1998. The Polish gravimetric quasigeoid QGEOID97 versus vertical reference system Kronsztad86, Reports of the Finnish Geodetic Institute, 98:4, 271–276.
- Kadaj R., Świętoń T., 2009. Postprocessing po polsku. NAWI nr 19 (dodatek do GEODETY nr 166) MARZEC 2009 http://www.geoforum.pl/documents/site_catalog_text/0_166_N_s32_33_z_0905131546.pdf
- Pażus R., Osada E., Olejnik S., 2002. Geoida niwelacyjna 2001. Magazyn Geoinformacyjny Geodeta nr 5/2002 (84), Geodeta Sp. z o.o., Warszawa.
- Projekt nowelizacji rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 8 sierpnia 2000 r. w sprawie państwowego systemu odniesień przestrzennych (Dz. U. Nr 70, poz. 821) (Stan z dnia: 2008.01.10) http://www.gugik.gov.pl/gugik/dw_files/891_rrm_10_01_2008_1.pdf
- Raizner C., 2008. A regional analysis of GNSS-levelling. Diplomarbeit im Studiengang. Geodäsie und Geoinformatik an der Universität Stuttgart. <http://elib.unistuttgart.de/opus/volltexte/2008/3480/pdf/raizner.pdf>
- Wytyczne techniczne G-1.12: Pomiary satelitarne oparte na systemie precyzyjnego pozycjonowania ASG-EUPOS (Projekt z dnia 1.03.2008 r. z poprawkami) http://www.gugik.gov.pl/gugik/dw_files/981_wytyczne_g_1_12_21_04_2008_1.pdf

GNSS SATELLITE LEVELLING WITH USE NAWGEO SERVICE OF ASG-EUPOS SYSTEM

Abstract. The multifunctional precise satellite positioning system on area of Poland ASG-EUPOS testing activation with the beginning of June 2008 gives opportunity to realize geodetic jobs in real time RTK GNSS (NAWGEO service) on whole country. The ASG-EUPOS system establish unified in whole country and invariable coordinate system. Points heights determination with use of ASG-EUPOS system guarantee (according to system owner) to achieve requirements for all groups of precision. In accordance with obliging regulations points height should be determined with reference to nearest reference point and the precision criterion for heights is position error in reference to nearest benchmarks. In this work height determination methods were analysed in context of ASG-EUPOS system technical capabilities and legislative-technical conditions following to obliging and designed technical standards. Final effect is the measurement methodology proposal to determine normal heights in real time with use of NAWGEO service from ASG-EUPOS system and precision evaluation simultaneously. Moreover, available quasi-geoid models and methods of its transformation in purpose to realise height measurements in ASG-EUPOS system were analysed.

Key words: GNSS satellite leveling, quasi-geoid

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 30.06.2009

Do cytowania – For citation: Hadaś T., Bosy J., 2009. Niwelacja satelitarna GNSS z wykorzystaniem serwisu NAWGEO systemu ASG-EUPOS. Acta Sci. Pol. Geod. Descr. Terr., 8(2), 53–66.