

NIWELACJA RTNW ODNIESIENIU DO NOWEGO MODELU QUASI-GEOIDY PL-GEOID-2011¹

Andrzej Uznański

dr inż., Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, e-mail: auznan@agh.edu.pl

***Streszczenie.** Niwelacja satelitarna w czasie rzeczywistym jest zdecydowanie najbardziej efektywną metodą pomiarów niwelacyjnych. Z tego powodu wykonawcy chętnie stosowaliby ją w pomiarach geodezyjnych. Podstawową kwestią jest jednak dokładność i niezawodność wyników, determinująca zakres zastosowań. Wykorzystanie pomiarów satelitarnych do wyznaczenia wysokości w obowiązującym w Polsce systemie wysokości normalnych wymaga użycia modelu quasi-geoidy. W pracy poddano analizie dokładność wysokości normalnych wyznaczanych na podstawie satelitarnych pomiarów kinematycznych w czasie rzeczywistym RTN oraz RTK w oparciu o nowy model quasi-geoidy obowiązujący na obszarze Polski. Pracę oparto na wynikach pomiarów wykonanych na odcinku linii kolejowej Kraków - Wadowice w kilometrażu 9.622 - 13.550. Określono również różnicę wysokości dla mierzonych punktów wynikającą z zastosowania poprzedniego i aktualnego modelu quasi-geoidy.*

***Słowa kluczowe:** model quasi-geoidy, PL-geoid2011, niwelacja satelitarna w czasie rzeczywistym, pomiary RTK/RTN*

1. Wprowadzenie

Pomiary niwelacyjne, służące wyznaczaniu wysokości w określonym systemie wysokości, mogą być zrealizowane różnymi geodezyjnymi technikami pomiarowymi. Najczęściej w geodezji stosowana jest niwelacja geometryczna, rzadziej trygonometryczna, a w ostatnich latach rozwój technik pomiarowych przyniósł kolejną metodę w postaci niwelacji satelitarnej w czasie rzeczywistym RTN (Real Time Network) i RTK (Real Time Kinematic) [7]. W praktyce wyznaczanie wysokości punktów odbywa się najczęściej przez jej przeniesienie, z uwzględnieniem przewyższenia na punkty mierzone z najbliższych reperów za pośrednictwem ciągów niwelacyjnych. W zależności od długości ciągu i terenu realizacji pomiarów może to być zadanie czasochłonne, a przez to generujące większe koszty. Atutem natomiast jest najwyższa możliwa do uzyskania dokładność wyników pomiarów, która zależy od klasy sprzętu pomiarowego i reżimu realizacji pomiaru. W przypadku niwelacji satelitarnej w czasie rzeczywistym, wyznaczanie wysokości odbywa się z wykorzystaniem modelu geoidy lub quasi-geoidy. Pomiar reperów będzie miał w takim przypadku znaczenie kontrolne. Ta różnica istotnie wpływa na efektyw-

¹ Praca wykonana w ramach badań statutowych, umowa nr 11.11.150.005

ność i ekonomiczność pomiaru, sprawiając że niwelacja RTN/RTK jest pod względem opłacalności bezkonkurencyjna. Posiada jednak inne mankamenty, dotyczące głównie jakości i niezawodności wyników pomiarów [5,6].

Wyniki pomiarów satelitarnych RTK/RTN są przeliczane na wysokości w obowiązkowym systemie wysokości za pomocą modelu fizycznej powierzchni odniesienia. Z tego powodu jakość modelu ma istotne znaczenie dla dokładności wyznaczanych wysokości na podstawie pomiarów niwelacji satelitarnej RTK/RTN. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 15 października 2012 r. w sprawie państwowego systemu odniesień przestrzennych [4] obowiązywało Główny Urząd Geodezji i Kartografii do publikacji w Biuletynie Informacji Publicznej do 1 stycznia 2014 r.:

- opisu modeli danych,
- modelu różnic współrzędnych pomiędzy układami odniesienia PL-ETRF2000 a PL-ETRF89,
- modelu różnic wysokości pomiędzy układami wysokościowymi PL-EVRF2007-NH a PL-KRON86-NH,
- modelu obowiązującej quasi-geoidy.

Publikacja tych materiałów nastąpiła w grudniu 2013 r. i umożliwiła praktyczne korzystanie z nowego i aktualnie obowiązującego w Polsce modelu quasi-geoidy od roku 2014. Udostępniono również program Transpol v2.06, w którym zaimplementowano obowiązujące modele wraz z algorytmami transformującymi dane. Poprzedni model quasi-geoidy nosił nazwę „geoida niwelacyjna 2001”.

2. Model quasi-geoidy PL-geoid-2011

W przypadku niwelacji geometrycznej wysokość punktu mierzonego H_p określa prosta relacja z wysokością reperu H_{RP} do którego nawiązano pomiar niwelacyjny:

$$H_p = H_{RP} + \Delta h_{RP-p} \quad (1)$$

gdzie: Δh_{RP-p} oznacza przewyższenie między punktem mierzonym i reperem.

W niwelacji satelitarnej mamy do czynienia z równie prostą, ale inaczej zbudowaną relacją matematyczną, w której wysokość punktu mierzonego H_p publicza się z wykorzystaniem modelu fizycznej powierzchni odniesienia. Model ten reprezentowany jest we wzorze za pośrednictwem anomalii wysokości (ζ), czyli odstępu fizycznej powierzchni odniesienia (quasi-geoidy w systemie wysokości normalnych) od elipsoidy GRS-80, która jest matematyczną powierzchnią odniesienia w pomiarach satelitarnych.

$$H_p = h_p - \zeta_p \quad (2)$$

gdzie: h_p oznacza wysokość elipsoidalną punktu wyznaczoną przez odbiornik satelitarny.

Na dokładność niwelacji satelitarnej w czasie rzeczywistym RTK/RTN główny wpływ będzie miała dokładność wyznaczenia wysokości elipsoidalnej w kinematycznych pomiarach satelitarnych w czasie rzeczywistym oraz dokładność modelu fizycznej powierzchni odniesienia w przyjętym systemie wysokości i odpowiednio dobrany algorytm interpolacyjny.

Aktualnie obowiązujący w Polsce dyskretny model quasi-geoidy, noszący nazwę „PL-geoid-2011”, bazuje na regularnej siatce określonej nazwą „PL-grid-001” [3]. Oczko siatki ma wymiary $0.01^0 \times 0.01^0$, co dla obszaru Polski, określonego południkami 14^0 i 24.2^0 oraz równoleżnikami 49^0 i 55^0 daje 601 równoleżników i 1021 południków, czyli 613621 węzłów siatki interpolacyjnej. W węzłach modelu quasi-geoidy określone zostały anomalie wysokości, czyli odstępstwa quasi-geoidy od powierzchni elipsoidy GRS-80. Natomiast wysokość dowolnego punktu znajdującego się na obszarze określonym w modelu oblicza się z zastosowaniem interpolacji biliniowej.

3. Elipsoidy i systemy odniesienia

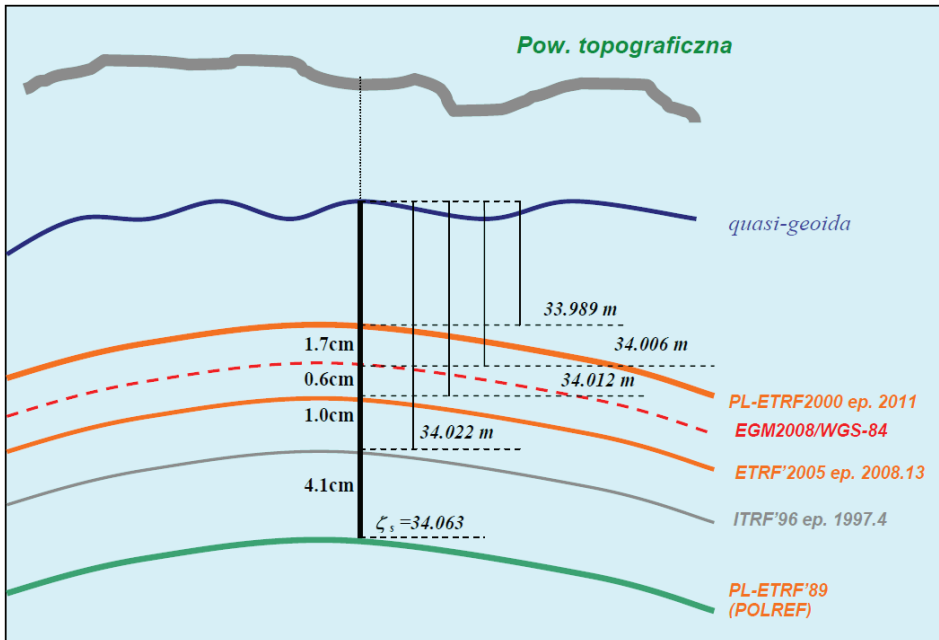
Ze względu na różnice o znaczeniu praktycznym przy korzystaniu z danych Ośrodków Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej, modelu quasi-geoidy i wykonywaniu własnych pomiarów, istotną kwestią jest zwrócenie uwagi na systemy odniesień i występujące w nich elipsoidy odniesienia.

Rozporządzenie [4] stanowi, że państwowy system odniesień przestrzennych tworzą geodezyjne układy odniesienia PL-ETRF2000 i PL-ETRF89, będące matematyczną i fizyczną realizacją europejskiego ziemskiego systemu odniesienia ETRS89 oraz układy wysokościowe PL-KRON86-NH i PL-EVRF2007-NH, będące analogicznymi realizacjami systemu wysokości EVRS. EVRS jest kinematycznym, europejskim systemem wysokości, w którym różnice potencjału siły ciężkości odniesione są do średniego poziomu Morza Północnego wyznaczonego dla mareografu w Amsterdamie. Z Rozporządzenia wynika więc zmiana poziomu odniesienia z Kronsztadt na Amsterdam. Rozporządzenie określa, że układ wysokościowy PL-KRON86-NH może być stosowany nie dłużej niż do 31.12.2019 r.

Związek obowiązującego modelu quasi-geoidy «PL-geoid-2011» z systemami odniesień przestrzennych wynika z faktu, że model ten został stworzony na podstawie punktów sieci satelitarno-niwelacyjnych PL-ETRF2000 i PL-KRON86-NH wraz ze specjalnie skalibrowanym do tych sieci modelem geopotencjału EGM2008. Kalibracja nastąpiła za pośrednictwem 570 punktów, na których wykonano nowe pomiary: 213 stacji referencyjnych i ich ekscentry, 40 punktów sieci EUVN, 317 punktów sieci EUREF-POL i POLREF [1,2,3]. Znaczenie praktyczne zagadnienia wynika z faktu, że w systemie ASG-EUPOS, który stanowi podstawę realizacji pomiarów satelitarnych w Polsce zastosowano układ PL-ETRF2000 na epokę 2011.0. Natomiast dla sieci EUREF-POL, POLREF i EUVN przyjęto układ PL-ETRF89. Z tego tytułu anomalie wysokości różnią się przeciętnie

o około 0.06 m. Wykonawca musi mieć świadomość znaczenia rodzaju danych, z których korzysta w trakcie pomiarów i odpowiednio je uzgadniać, sprowadzając w razie potrzeby do jednego systemu odniesienia.

Jeżeli wysokości punktów zostały kiedyś wyznaczone w oparciu o poprzedni modelu quasi-geoidy «geoida niwelacyjna 2001» lub jego modyfikację z 2006 r. oznaczaną przez «bis», to przy ponownym pomiarze z aktualnym modelem «PL-geoid-2011» nastąpi skokowa zmiana wysokości na poziomie 0.02-0.03 m [1]. Nie będzie to błąd pomiaru, a efekt zastosowania w modelu «geoida niwelacyjna 2001» wysokości elipsoidalnych w układzie odniesienia EUREF89 na epokę 1997.4.

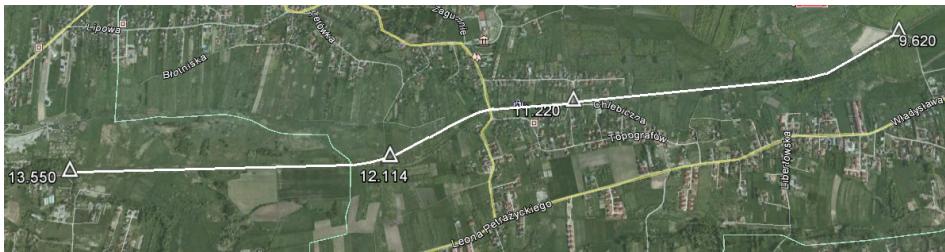


Rys. 1. Zmiany wysokości quasi-geoidy w zależności od układu odniesienia [1]

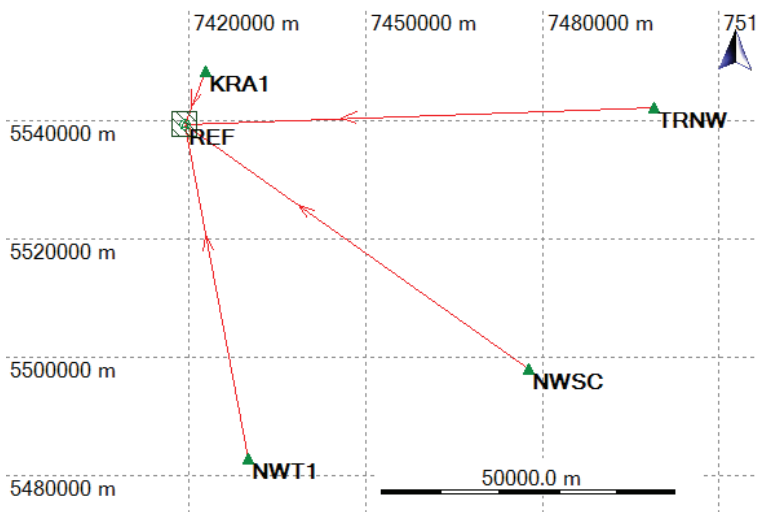
4. Obiekt i wykonane pomiary

Pomiary wykonano na odcinku linii kolejowej Kraków - Wadowice w kilometrażu 9.620 – 13.550 (rys. 2). Z punktu widzenia pomiarów satelitarnych, w kilometrażu 9.700 – 10.600 występowały przesłaniające horyzont szpalery drzew. Odległości między punktami mierzonymi wynikały z wymogów precyzyjnej niwelacji geometrycznej i wynosiły ok. 50 m. Dla 78 punktów oznaczonych na mierzonym odcinku linii kolejowej wykonano precyzyjną niwelację geometryczną, niwelację satelitarną RTK oraz RTN. Na potrzeby realizacji pomiarów RTK założono punkt referencyjny w okolicach środka mierzonego odcinka. Jego współrzędne wyznaczono w nawiązaniu do 4 stacji systemu MSPP (Małopolski System Pozycjonowania Precyzyjnego) na podstawie sygnałów satelitów systemów NAVSTAR GPS

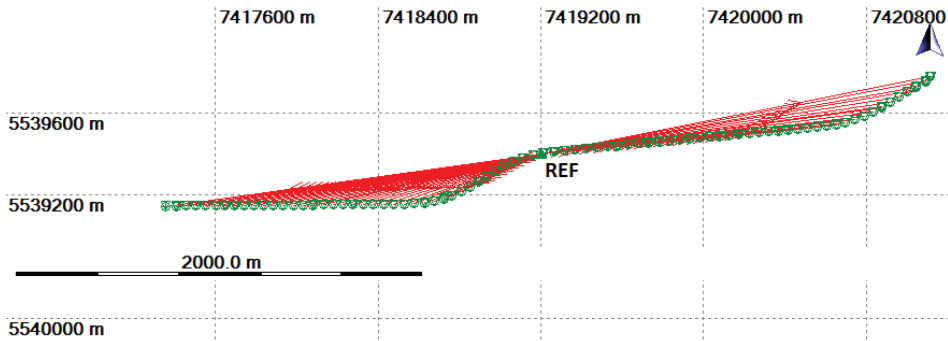
oraz GLONASS zarejestrowanych w 3 dniach w ramach sesji statycznych trwających kolejno 4 godziny, 9 godzin oraz 6.5 godziny. Niestety obserwacje statyczne pozyskane z systemu MSPP umożliwiły dowiązanie punktu referencyjnego w nie najkorzystniejszy sposób, z powodu braku obserwacji ze stacji PROS oraz tylko kilkudziesięciminutowego zakresu obserwacji ze stacji ZYWI. Kinematyczne pomiary satelitarne w czasie rzeczywistym RTK i RTN starano się wykonywać dla każdego punktu z dwukrotną inicjalizacją i dwoma pomiarami dla danej inicjalizacji odbiornika satelitarnego, czyli dla każdego punktu starano się wykonać 4 pomiary RTK i cztery pomiary RTN. W pomiarach RTN wykorzystano ze strumienia VRS (Virtual Reference Station) systemu MSPP. Pomiary RTK przeprowadzono bez jakichkolwiek problemów z wyznaczeniem pozycji. Natomiast w trakcie pomiarów RTN występowały okresowo problemy z uzyskaniem rozwiązania przez odbiornik satelitarny. Przyczyną były problemy z komunikacją GSM, przesłaniem satelitów przez drzewa oraz dostępnością danych referencyjnych z systemu MSPP. Wszystkie wyniki pomiarów RTN, w których pozycja punktów została wyznaczona tylko z obserwacji kodowych zostały wykluczone z analiz, jako pomiary z brakiem rozwiązania RTN.



Rys. 2. Odcinek linii kolejowej Kraków - Wadowice, km 6.622 – km 13.550



Rys. 3. Szkic nawiązania punktu referencyjnego pomiarów RTK do stacji systemu MSPP



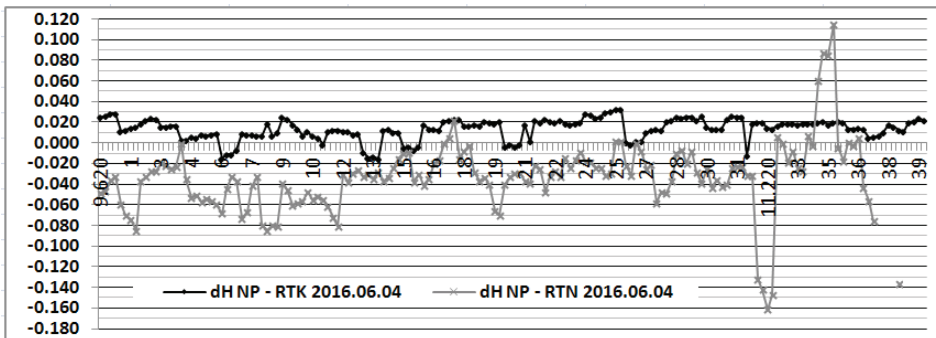
Rys. 4. Pomierzone punkty wraz z wektorami pomiaru RTK

5. Analiza wyników pomiarów

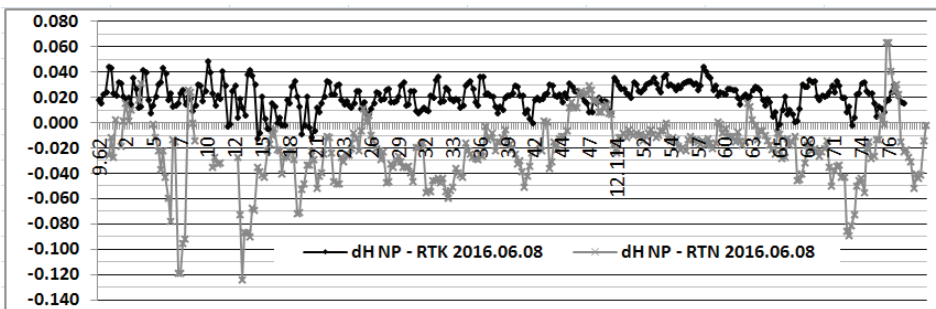
Podstawową analizą w zakresie opracowania jest określenie dokładności wyników pomiarów niwelacji satelitarnej w czasie rzeczywistym RTK oraz RTN z wykorzystaniem nowego modelu quasi-geoidyna podstawie odniesienia do wyników precyzyjnej niwelacji geometrycznej. Rysunki 5 oraz 6 przedstawiają różnice wysokości normalnych obliczonych z niwelacji precyzyjnej „NP” oraz kinematycznych pomiarów satelitarnych w czasie rzeczywistym RTK i RTN wykonanych w dwóch dniach. W tabeli 1 zamieszczono statystyki opisowe związane charakteryzujące te różnice wysokości. Widoczne na wykresach nieciągłości informują o braku rozwiązania w terenie w pomiarach RTN (np. dla punktu 38 i tylko jeden pomiar punktu 39). Odbiornik satelitarny nie był w stanie zainicjalizować się w danych warunkach na moment pomiaru.

Wartości średnich różnic wysokości z NP i pomiarów RTK oraz RTN są zróżnicowane dla pierwszego dnia pomiarów i wynoszą odpowiednio 0.14 m i 0.34 m. Natomiast dla wyników drugiego dnia pomiarów są zbliżone i wynoszą odpowiednio 0.021 m oraz 0.022 m. Mediany są bliskie wartościom średnim. Można stwierdzić występowanie czynnika systematycznego w wynikach pomiarów. Szczególnie dla wartości różnic wysokości z pomiarów RTN, które są zazwyczaj ujemne. Istotne zróżnicowanie pomiarów RTK i RTN przynosi analiza rozrzutu wyników pomiarów. Rozstępy dla pomiarów RTK wyniosły 48 mm i 61 mm, a dla pomiarów RTN były kilkukrotnie większe przyjmując wartości 27.7 mm i 18.8 mm. Oznacza to, że w pomiarach RTN można uzyskać istotnie większe błędy wyznaczenia wysokości. Analiza kwartyli próbek pomiarowych wskazuje, że połowa różnic wysokości w stosunku do niwelacji precyzyjnej mieściła się w przedziale 12 – 14 mm dla pomiarów RTK i w dwukrotnie większym przedziale dla pomiarów RTN, wynoszącym 25 – 28 mm. Można stwierdzić, że drugi dzień pomiarów przyniósł poprawę wyników pomiarów RTN. Jest to widoczne w wartościach wszystkich statystyk. W przypadku pomiarów RTK można stwierdzić występowanie mniej dokładnych pomiarów w drugim dniu. Ponieważ wartości odchyień

standardowych dla dni pomiarowych różnią się jedynie o milimetr na poziomie centymetrowej wartości tej wielkości, a wartości rozstępu kwartylowego różnią się o 2 mm, nie można mówić ogólnie o istotnie niższej dokładności pomiarów RTK w drugim dniu pomiarów. Ponadto na średnie wyniki pomiarów RTN pierwszego dnia rzutują istotnie gorsze wyniki pomiarów dwóch punktów: reperu 11.220 oraz punktu 35. Większe wartości różnic wysokości dla punktów w rejonie występowania szpaleru drzew na początku odcinka pomiarowego nie należy uznawać za niekorzystnie rzutujące na statystyki pomiarów RTN, gdyż ich wystąpienie nie jest niczym szczególnym i daje pełniejszy obraz sytuacji, z którymi mogą się zetknąć wykonawcy robót geodezyjnych.



Rys. 5. Różnice wysokości normalnych obliczonych z niwelacji precyzyjnej NP oraz kinematycznych pomiarów satelitarnych w czasie rzeczywistym RTK i RTN, pomiar RTK/RTN w dniu 04.06.2016 r.



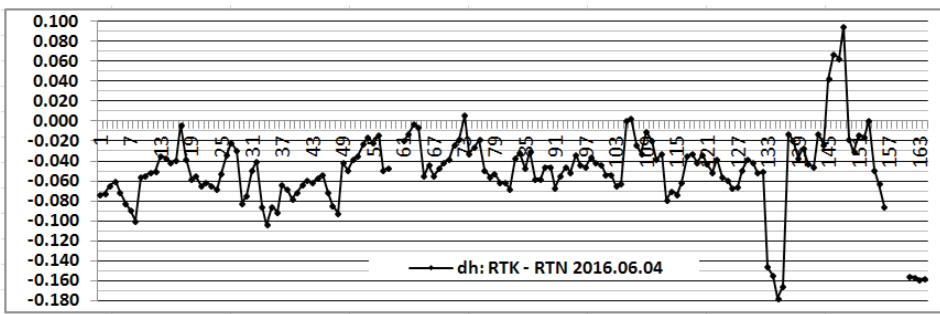
Rys. 6. Różnice wysokości normalnych obliczonych z niwelacji precyzyjnej NP oraz kinematycznych pomiarów satelitarnych w czasie rzeczywistym RTK i RTN, pomiar RTK/RTN w dniu 08.06.2016 r.

Tabela 1. Różnice wysokości normalnej obliczonej z niwelacji precyzyjnej (NP) oraz pomiarów RTK i RTN

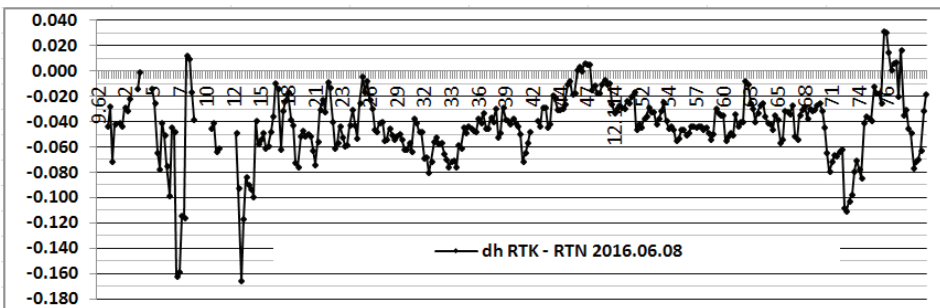
RTK/RTN	RTK	RTN	RTK	RTN
Data	2016.06.04	2016.06.04	2016.06.08	2016.06.08
Liczba pomiarów	164	155	326	310
Średnia	0.014	-0.034	0.021	-0.022
przedział ufności -95%	0.012	-0.039	0.020	-0.025
przedział ufności +95%	0.015	-0.028	0.022	-0.019
Mediana	0.015	-0.032	0.022	-0.020
Minimum	-0.016	-0.161	-0.012	-0.124

Maksimum	0.033	0.115	0.049	0.064
Dolny kwartyl	0.008	-0.048	0.015	-0.035
Górny kwartyl	0.021	-0.019	0.029	-0.010
Percentyl (10)	-0.002	-0.070	0.008	-0.051
Percentyl (90)	0.025	-0.001	0.033	0.008
Rozstęp	0.048	0.277	0.061	0.188
Rozstęp kwartyl	0.012	0.028	0.014	0.025
Odchylenie standardowe	0.010	0.035	0.011	0.026

W eksperymencie pomiarowym badano także, czy można zaobserwować różnicę wyznaczanych wartości wysokości normalnych w zależności od rodzaju pomiarów satelitarnych w czasie rzeczywistym: RTK oraz RTN. Poniższe dwa rysunki przedstawiają różnice między wynikami pomiarów RTK i RTN w poszczególnych dniach pomiarów.



Rys. 7. Różnice wysokości elipsoidalnych wyznaczonych przez odbiornik GNSS w pomiarach RTK i RTN wykonanych w dniu 04.06.2016 r.



Rys. 8. Różnice wysokości elipsoidalnych wyznaczonych przez odbiornik GNSS w pomiarach RTK i RTN wykonanych w dniu 08.06.2016 r.

Wyniki wskazują na istotne różnice wartości obliczonych przez odbiornik satelitarny w pomiarach RTK i w pomiarach RTN. Wartości statystyk opisowych dla tej analiza zawierają pierwsze trzy kolumny z danymi tabeli 2. Dane zestawione tabelarycznie analizowano łącznie dla obydwu dni pomiarowych oraz oddzielnie dla każdego z dni pomiarów.

Tabela 2. Różnice wysokości elipsoidalnej obliczonej z pomiarów RTK i RTN (kolumny 2 - 4) oraz między dniami pomiarowymi (kolumny 5 - 7)

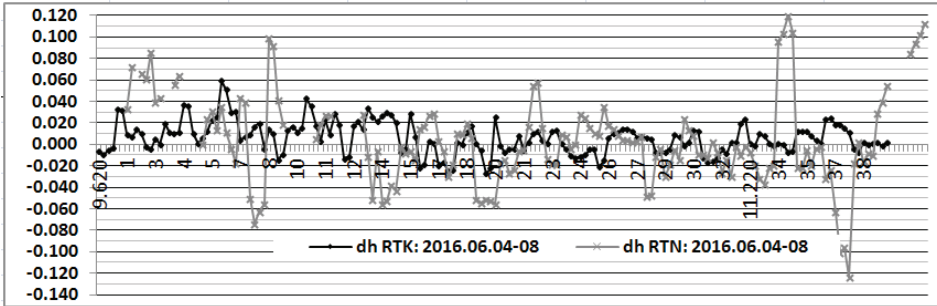
RTK/RTN	RTK-RTN	RTK-RTN	RTK-RTN	RTK i RTN	RTK	RTN
Data	06.04 i 08	06.04	06.08	06.04-08	06.04-08	06.04-08
L.pomiarów	468	157	311	314	167	147
Średnia	-0.045	-0.049	-0.043	0.005	0.006	0.004
prz. ufności -95%	-0.048	-0.055	-0.046	0.001	0.004	-0.003
prz. ufności +95%	-0.042	-0.043	-0.040	0.008	0.008	0.010
Mediana	-0.043	-0.049	-0.042	0.003	0.006	-0.002
Minimum	-0.178	-0.178	-0.166	-0.124	-0.027	-0.124
Maksimum	0.095	0.095	0.032	0.120	0.059	0.120
Dolny kwartyl	-0.058	-0.063	-0.054	-0.009	-0.005	-0.019
Górny kwartyl	-0.030	-0.033	-0.029	0.017	0.014	0.024
Percentyl (10)	-0.075	-0.086	-0.071	-0.024	-0.013	-0.051
Percentyl (90)	-0.013	-0.013	-0.014	0.036	0.026	0.061
Rozstęp	0.273	0.273	0.198	0.244	0.087	0.244
Rozstępkwartyl	0.028	0.031	0.025	0.026	0.019	0.043
Odch.standardowe	0.031	0.038	0.026	0.031	0.015	0.043

Średnia różnica wysokości elipsoidalnych z pomiarów RTK i RTN wyniosła – 45 mm i była zróżnicowana między dniami na poziomie 6 mm. Wystąpiła nieznaczna poprawa zgodności wyników w drugim dniu pomiarów. Połowa różnic wyników zawarła się w niecałych 3 cm. Odchylenie standardowe jest generalnie również na tym poziomie wartości. Dla punktów mierzonego odcinka można stwierdzić, że pomiar RTK dał przeciętnie lepsze wyniki o ok. 3 cm. Natomiast wyniki pomiarów RTN są istotnie mniej niezawodne niż wyniki pomiarów RTK ze względu na występowanie także różnic wyników na poziomie decymetrowym, a sporadycznie i większym.

Powyższe analizy skłoniły do wykonania kolejnej, informującej o różnicach wysokości elipsoidalnych wyznaczonych dla tych samych punktów przez odbiornik GNSS w dwóch dniach pomiarowych. Jest to informacja o powtarzalności wyników uzyskiwanych daną techniką pomiarową w nieco różniących się warunkach pomiaru (stan atmosfery, konstelacja satelitów). Wyniki tej analizy graficznie prezentuje poniższy rysunek, a dane liczbowe zamieszczono w ostatnich trzech kolumnach w tabeli 2. Różnice wyników pomiarów w dwóch dniach pomiarowych analizowano w tabeli bez rozróżniania rodzaju pomiarów (RTK i RTN łącznie) oraz z ich rozróżnieniem.

Średnia różnica wysokości wyznaczonych niwelacją satelitarną w czasie rzeczywistym w dwóch dniach była na poziomie 5 mm. Pomiar powtórzono po 4 dniach, więc odstęp czasowy nie był zbyt duży, a warunki atmosferyczne realizacji pomiarów były zbliżone. Dla wartości średniej metoda pomiarów (RTK, RTN) nie miała znaczenia dla powtarzalności wyników. Natomiast analiza rozrzutu wartości różnic wysokości pozwala stwierdzić, że dla połowy pomiarów RTK był on dwukrotnie mniejszy niż dla pomiarów RTN, a w granicach ekstremalnych wartości

nawet trzykrotnie mniejszy. Wartość odchylenia standardowego wskazuje również na korzyść pomiarów RTK, gdyż jest prawie trzykrotnie mniejsza niż dla pomiarów RTN.



Rys. 9. Różnice wysokości elipsoidalnych wyznaczonych przez odbiornik GNSS w pomiarach RTK i RTN

Dla punktów mierzonych wyznaczono wartość czynnika systematycznego w wysokościach wynikającego z zastosowania poprzedniego i aktualnego modelu quasi-geoidy. Jego wartość wyniosła ok 24 mm i nieznacznym nachyleniem w kierunku wschodnim. Różnice wartości anomalii wysokości wzrosły dla punktów w kierunku zachodnim o 2 mm na odcinku o długości ok. 4 km.

6. Podsumowanie

Niwelacja satelitarna w czasie rzeczywistym jest najefektywniejszym rodzajem pomiarów niwelacyjnych. Niestety jej wyniki istotnie ustępują pod względem dokładności wynikom niwelacji geometrycznej. Dodatkowo wyniki pomiarów RTN cechują się niską niezawodnością, gdyż mogą zdarzyć się błędy decymetrowe, a nawet i kilkunastocentymetrowe. Dokładność wyznaczania wysokości w pomiarach RTK można oszacować dla mierzonego odcinka na poziomie 1 – 3 cm. Dla pomiarów RTN jednoznaczne wskazanie dokładności wyników jest ryzykowne ze względu na relatywnie częste wartości większe od wartości średniej. Nie mniej chcąc podać jakąś wartość w analizowanym przypadku wypadłoby wskazać poziom 3 - 5 cm.

Należy zwrócić uwagę, że pomiary RTK były realizowane bez jakichkolwiek problemów odbiornika satelitarnego z wyznaczaniem współrzędnych punktów. W przypadku pomiarów RTN nie udało się pomierzyć wszystkich punktów. Dla 7 punktów ze 117 (sumując pomierzone punkty w dwóch dniach pomiarów) uzyskano jedynie rozwiązanie kodowe, co stanowiło w przyjętej procedurze pomiarowej 5% pomiarów RTN (25 pomiarów z 491 ogółem). Sprezycowania wymaga, że brak możliwości wyznaczenia współrzędnych punktów przez odbiornik satelitarny w pomiarach RTN wynikał ze splotu niekorzystnych okoliczności w momencie i miejscu pomiaru, a punkty te można by pomierzyć w innym czasie.

Na wyniki pomiarów RTK wpływ kluczowy mają współrzędne punktu referencyjnego. Niekompletność danych referencyjnych systemu MSPP skłania do przeprowadzenia kontrolnego obliczenia tych współrzędnych w odniesieniu do systemu ASG-EUPOS, który składa się wprawdzie na przedmiotowym obszarze z tych samych fizycznie stacji referencyjnych, ale dotychczas nie stwierdzono w jego danych tak istotnych braków, jak w przypadku danych z systemu MSPP.

W praktyce istotna jest znajomość teoretycznych definicji układów odniesienia. W przypadku nawiązania aktualnie wykonywanych pomiarów do punktu, któremu wysokość wyznaczono na podstawie niwelacji satelitarnej w czasie rzeczywistym wykonanej z zastosowaniem modelu quasi-geoidy «geoida niwelacyjna 2001», nastąpiłaby skokowa zmiana wysokości punktów na mierzonym obszarze o ok. 2.5 cm. Różnica między modelami quasi-geoidy ma charakter czynnika systematycznego z niewielkim nachyleniem.

Jest możliwa taka organizacja technologii pomiarowej w terenie i opracowanie wyników pomiarów, aby niwelacja satelitarna w czasie rzeczywistym RTK osiągała dokładność poniżej 1 cm i przez to była szerzej akceptowalna w pomiarach geodezyjnych. Nie mniej występuje wiele czynników podnoszących w praktyce ryzyko wystąpienia bardziej niedokładnych wyników, zwłaszcza w warunkach przesłania horyzontu i wystąpienia zakłóceń sygnałów satelitarnych i modemowych. Niwelacja satelitarna RTN może dostarczyć wyników z dokładnością poniżej 1 cm, ale tylko w szczególnych okolicznościach, więc taki wynik należy traktować jako szczęśliwy przypadek.

Literatura

- [1] GUGiK: Transpol wersja 2.06 Program do transformacji współrzędnych i wysokości w Państwowym Systemie Odniesień Przestrzennych. Warszawa 2013.
- [2] Kadaj R., GEOIDPOL-2008CN – model i program quasi-geoidy dostosowany do nowego układu PL-ETRF2000. Publikacja internetowa www.geonet.net.pl, 2(5) 2013.
- [3] Kadaj R., Algorytm opracowania modelu PL-geoid-2011. Seminarium KG PAN i Wydziału Geodezji i Kartografii PW „Realizacja osnów geodezyjnych a problemy geodynamiki”. Grybów, 25-27 września 2015.
- [4] Rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 15 października 2012 r. w sprawie państwowego systemu odniesień przestrzennych (Dz. U. z 2012 r., poz. 1247).
- [5] Uznański A., Estymacja precyzji i dokładności wyników RTN w odniesieniu do sieci ASG-EUPOS. Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczpospolitej Polskiej. Oddział w Krakowie. z. 149, s. 595–610, Kraków, 2009.

- [6] Uznański A., Niezawodność pomiarów geodezyjnych w zintegrowanej osnowie kolejowej. Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczpospolitej Polskiej. Oddział w Krakowie, z. 154, Kraków 2010.
- [7] Uznański A., Niwelacja satelitarna RTK GPS I RTN. Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczpospolitej Polskiej. Oddział w Krakowie. z. 154. s. 633–650. Kraków, 2010.