INFRASTRUKTURA I EKOLOGIA TERENÓW WIEJSKICH
INFRASTRUCTURE AND ECOLOGY OF RURAL AREAS

Nr II/1/2016, POLSKA AKADEMIA NAUK, Oddział w Krakowie, s. 299–309
Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi

DOI: http://dx.medra.org/10.14597/infraeco.2016.2.1.021

WPŁYW KĄTA ODCIĘCIA HORYZONTU NA WYZNACZANIE POZYCJI W TRYBIE RTN GNSS Z SIECIĄ TPI NETPRO ORAZ VRSNET

Justyna Gabryszuk
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

INFLUENCE OF ELEVATION ANGLE ON RTN GNSS POSITIONING WITH TPI NETPRO AND VRSNET NETWORKS

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań, których celem była analiza wpływu kąta odcięcia horyzontu na wielkości uzyskiwane podczas pomiaru RTN z polskimi komercyjnymi sieciami stacji referencyjnych. Do analiz skorzystano z dostępu do sieci stacji TPI NETpro oraz VRSNet, których stacje wykonują ciągłe obserwacje w czasie rzeczywistym sygnałów pochodzących z satelitów systemu GPS oraz GLONASS i są gotowe na odbiór sygnałów z sieci Galileo.

W pracy wykonano wielokrotne, pięciosekundowe obserwacje RTN na czterech wybranych punktach charakteryzujących się różnym stopniem zasłonięcia horyzontu, znajdujących się w terenie zurbanizowanym. Obserwacje wykonano w kilku seriach pomiarowych z przyjętymi kątami maski od 0 do 30 stopni. Następnie dokonano analizy otrzymanych wyników tj. liczby widocznych satelitów GPS i GLONASS w czasie poszczególnych pomiarów oraz wartości współczynnika dokładności geometrycznej PDOP. Zbadano również błędy RMS2D oraz RMS1D otrzymanych współrzędnych. Do obliczenia pozycji odbiornika skorzystano z rozwiązania RTK FIXED, które pozwala na obliczenie aktualnych współrzędnych

w trybie różnicowym przy użyciu pseudoodległości i pomiarów fazowych oraz wymaga wyznaczenia nieoznaczoności do przeprowadzenia pomiaru.

Słowa kluczowe: TPI NETpro, VRSNet, kąt odcięcia horyzontu, GNSS RTN

Abstract

The paper presents the results of the tests, which aim was to analyze the elevation angle impact on the size of obtained output during the RTN measurements with Polish commercials reference stations TPI NETpro and VRSNet. Reference station access were used in experiment. That stations were done continuous, real time observations of the satellite signals from the GPS and GLONASS systems and they are ready to Galileo signals measurements.

There are multiple, five seconds RTN observations in the paper, measured on four selected points in the area of the Centre of Innovation-Deployment New Technique and Technology in Ecological Engineering University of Life and Science in Lublin. Measured points were characterized by different degree of elevation angle: without any obstacles in nearest area, with obstacles in south-east side, with obstacles in north, south and east side and with obstruction in North side and partly obstacles south side. Observations were made in a couple of measurement series with elevation angles from 0 to 30 degrees. Afterwards results analysis were made for example: the amount of visible satellites of GPS and GLONASS system in the time of measurement and dilution of precision coefficient PDOP values. Received values of coordinates, RMS2D and RMS1D biases were also analyzed. To compute the position of receiver, RTK FIXED solution were used, which allows us to calculate the current coordinates in differential measurement by using the pseudo range and carrier phase measurements and requires the ambiguity resolution to perform the measurements.

Key words: *TPI NETpro, VRSNet, elevation angle, GNSS RTN*

WSTĘP

Kątem odcięcia horyzontu, inaczej kątem maski, bądź maski elewacji, nazywamy kąt, pod jakim widoczne są satelity nad płaszczyzną horyzontu obserwatora. Sygnały docierające do odbiornika RTN z satelitów, które znajdują się nisko nad horyzontem są trudniejsze do zamodelowania ze względu na obarczenie ich większymi błędami wynikającymi z refrakcji jonosferycznej i troposferycznej oraz błędu wielotorowości (Nowak A., 2011;Podręcznik, 2013). Podczas pomiaru RTN (Real Time Network) użytkownik samodzielnie ustawia kąt ma-

ski, pod jakim chce wykonać pomiar, przy czym w odbiorniku nie ma ograniczeń, co do jego wyboru. Jednakże odpowiednio go dobierając można wpływać na wypadkowy błąd pomiaru pseudoodległości (Nowak A., 2011).

Problem wyboru ustawienia kąta maski był nieraz poruszany na łamach publikacji dotyczących pomiarów satelitarnych, lecz nie poruszał on kwestii pracy z komercyjnymi sieciami stacji referencyjnych na terenie Polski z możliwością wykonywania zintegrowanych pomiarów satelitarnych GNSS (GPS + GLONASS). Na podstawie zaleceń technicznych wydanych do pomiarów opartych o państwową sieć stacji referencyjnych ASG-EUPOS przez Głównego Geodetę Kraju w roku 2013 [Podręcznik, 2013] wiadomym jest, że pomiary RTN z siecią ASG-EUPOS powinny być wykonywane przy zachowaniu maski elewacji większej, bądź równej 10°. Takiej informacji nie mamy jednak podanej w aktach prawnych ani na stronach internetowych sieci TPI NETpro oraz VRSNet.

Stacje referencyjne tych sieci, wykonują ciągłe obserwacje w czasie rzeczywistym sygnałów pochodzących z satelitów systemu GPS oraz GLONASS i są gotowe na odbiór sygnałów z sieci Galileo. Sieć TPI NETpro posiada w chwili obecnej 117 stacji włączonych do Państwowego Zasobu Geodezyjno Kartograficznego i stanowi rzeczywistą alternatywę dla państwowej sieci ASG-EUPOS. Sieć VRSNet jest w tej chwili w pełni operacyjna jedynie na terenie województwa zachodniopomorskiego i świętokrzyskiego. W województwie lubelskim znajdują się obecnie tylko 2 stacje sytemu – w Lublinie i Zamościu.

System GLONASS osiągnął pełną operacyjność dopiero pod koniec 2011 r., a obecnie normą staje się montowanie na stacjach referencyjnych odbiorników pozwalających na odbiór sygnałów tego systemu. W tej chwili w przestrzeni kosmicznej znajduje się 28 satelitów systemu GLONASS, w tym 23 satelity operacyjne (GLONASS, 2016) oraz 31 satelitów GPS w tym 24 operacyjne (GPS, 2016), co daje nam możliwość odbioru sygnałów aż z 59 satelitów.

W poniższej pracy przedstawiono wyniki pomiarów RTN GNSS z siecią TPI NETpro i VRSNet przy różnym ustawieniu maski elewacji. Celem eksperymentu było zbadanie wpływu kąta odcięcia horyzontu na pracę z komercyjnymi sieciami stacji referencyjnych.

CEL I CHARAKTERYSTYKA OBSZARU BADAŃ

Celem głównym eksperymentu było zbadanie wpływu wartości kąta odcięcia horyzontu na pracę w trybie RTN z komercyjnymi sieciami stacji referencyjnych. Pomiary testowe przeprowadzono na czterech wybranych punktach znajdujących się w okolicach Centrum Innowacyjno-Wdrożeniowego Nowych Technik i Technologii w Inżynierii Rolniczej Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie. Punkty pomiarowe charakteryzowały się różnym stopniem zasłonięcia horyzontu: bez zasłon w najbliższym sąsiedztwie – punkt 1, z zasłoną od

strony południowo-wschodniej – punkt 2, z zasłoną od strony północnej, południowej i wschodniej – punkt 3 oraz z zasłoną od strony północnej i częściowo przesłoniętą stroną południową – punkt 4 (rysunek 1).

Rysunek 1. Lokalizacja punktów pomiarowych. Źródło: Google Earth
Figure 1. Location of measured points. Source: Google Earth

METODYKA BADAŃ

Pomiary RTN (Real Time Network) wykonano w nawiązaniu do dwóch komercyjnych sieci stacji referencyjnych, tj. TPI NETpro oraz VRSNet. Badania polegały na wykonaniu wielokrotnych, pięciosekundowych obserwacji RTN z przyjętymi następującymi kątami maski: 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30 i 35 stopni. Każda z nich poprzedzona była wstępną inicjalizacją odbiornika. Zatem każdy pomiar wykonany był w oparciu o poprawki sieciowe z wirtualnych stacji referencyjnych, różniących się pozycją. W rezultacie niepowodzeniem okazały się pomiary z przyjętym kątem maski 35 stopni, gdyż udało się je wykonać jedynie na punktach 1 i 2, i to tylko w niektórych z przeprowadzonych sesji pomiarowych. Niepowodzeniem okazał się również pomiar na

punkcie 3 przy kątach maski 25° i 30°. Pomiary te nie były brane pod uwagę w dalszych analizach.

Prace terenowe wykonano odbiornikiem Topcon Hiper V z kontrolerem FC 2600 i oprogramowaniem Magnet Field. Odbyły się one na przełomie jesieni i zimy w godzinach od 7 do 15 z przyjętymi założeniami technicznymi przedstawionymi w tabeli 1.

Tabela 1. Założenia techniczne pomiarów testowych.
Table 1. Technical assumptions of test measurements.

Nazwa sieci stacji referencyjnych	TPI NETpro	VRSNet
Interwał wyznaczania pozycji	1 s	1 s
Strumień danych RTN	NET RTCM 3.0	VRS RTCM 3.1
Zapis obserwacji RTN	Precyzyjny (fixed)	Precyzyjny (fixed)
Wysokość tyczki	2 m	2 m

Źródło: Opracowanie własne; Source: Own elaboration

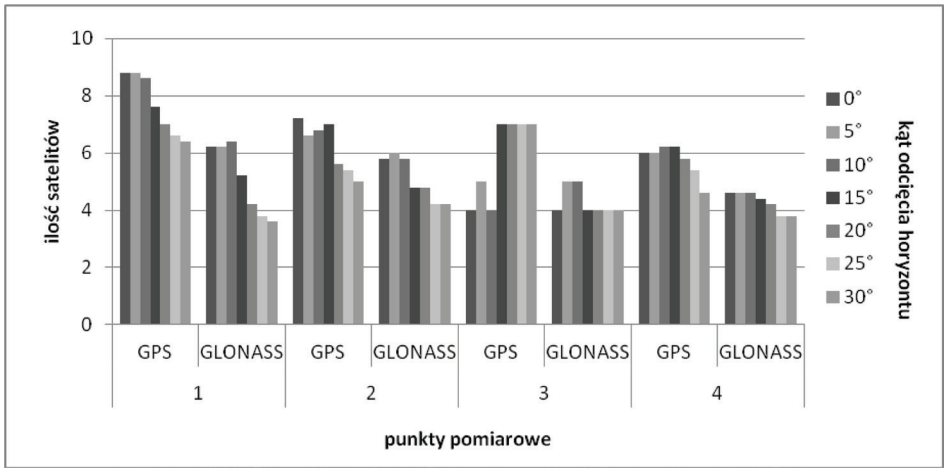
Wyniki pomiarów zostały wygenerowane w programie Raport GPS v2.5.a, a następnie poddane analizom ze względu na:

- liczbę obserwowanych satelitów GPS i GLONASS,
- wartości współczynnika PDOP,
- wartości błędów RMS2D i RMS1D.

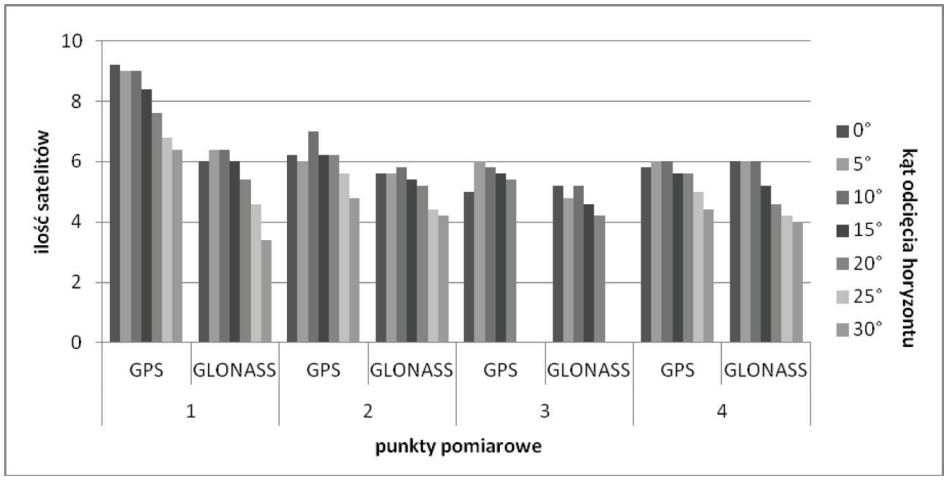
WYNIKI BADAŃ I ICH OPIS

W pierwszej kolejności zostaną zaprezentowane wyniki eksperymentu dotyczące liczby obserwowanych satelitów GPS i GLONASS w czasie poszczególnych serii pomiarów. Rysunek 2 przedstawia sytuację, jaka miała miejsce podczas pomiarów z siecią TPI NETpro, zaś rysunek 3 pomiary z siecią VRSNet.

Pomiary RTN powinny być wykonywane przy obserwacji przynajmniej 5 satelitów, korzystając z jednego systemu nawigacyjnego, bądź przy obserwacji minimum 6 satelitów w czasie korzystania z dwóch systemów (Ćwiąkała P. i inni 2015). Warunek ten został spełniony podczas każdego z pomiarów. Podczas pracy z siecią TPI Netpro i VRSNet uzyskano zbliżone średnie ilości obserwowanych satelitów, co można zaobserwować w tabeli 2. Na podstawie jej analizy można stwierdzić, że podczas pomiarów widoczna była większa ilość satelitów systemu GPS, niż GLONASS oraz, że wraz ze wzrostem kąta maski ich liczba się zmniejszała.



Rysunek 2. Ilość obserwowanych satelitów w funkcji kąta odcięcia horyzontu z pomiaru z siecią TPI NETpro. Źródło: Opracowanie własne.
Figure 2. The amount of observed satellites in function of elevation angle from measurement working with TPI NETpro network. Source: Own elaboration

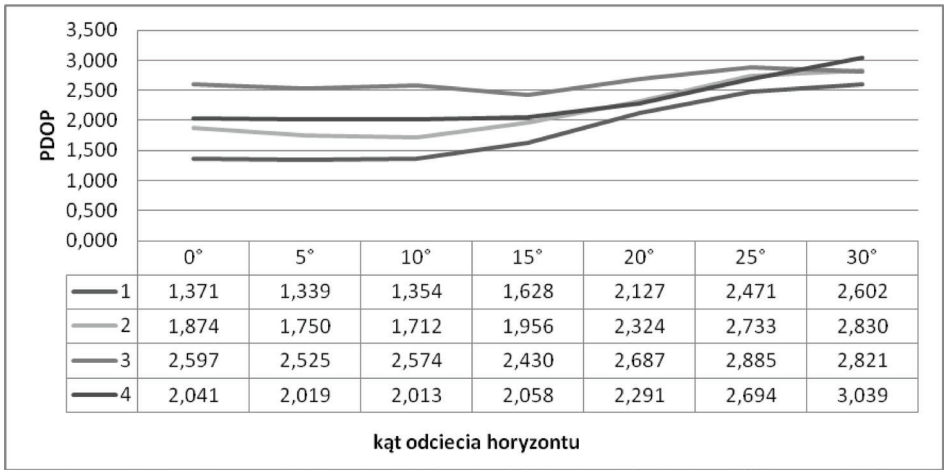


Rysunek 3. Ilość obserwowanych satelitów w funkcji kąta odcięcia horyzontu z pomiaru z siecią VRSNet. Źródło: Opracowanie własne.
Figure 3. The amount of observed satellites in function of elevation angle from measurement working with VRSNet network. Source: Own elaboration

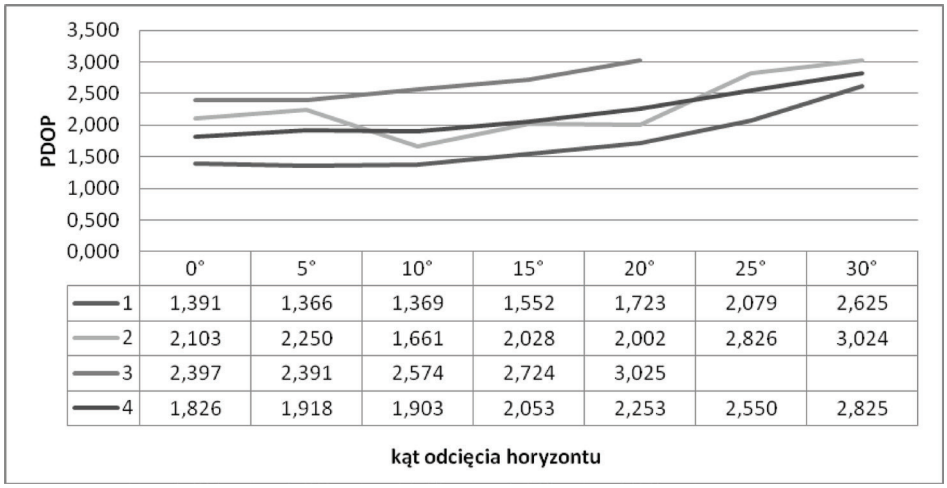
Tabela 2. Średnia ilość obserwowanych satelitów GPS i GLONASS podczas pomiarów.
Table 2. The average amount of observed GPS and GLONASS satellites during the measurements.

	punkt pomiarowy	kąt odcięcia horyzontu						
		0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°
VRSNet	1	15	15	15	14	13	11	10
	2	12	12	13	12	11	10	9
	3	10	11	11	10	10	0	0
	4	12	12	12	11	10	9	8
	średnia	12	12	13	12	11	8	7
TPI NETpro	1	15	15	15	13	11	10	10
	2	13	13	13	12	10	10	9
	3	8	10	9	11	11	11	11
	4	11	11	11	11	10	9	8
	średnia	12	12	12	12	11	10	10

Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration

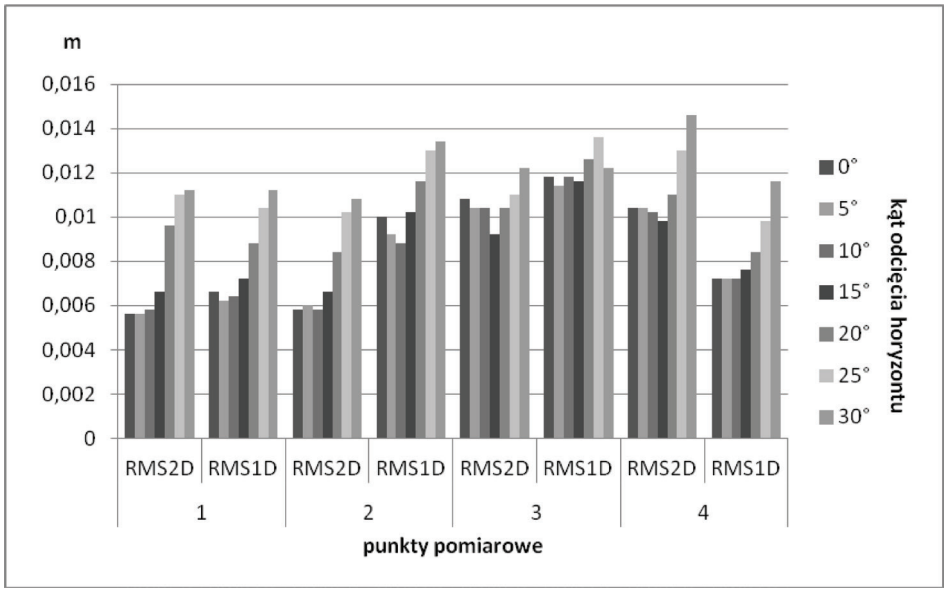


Rysunek 4. Wartości współczynnika PDOP w funkcji kąta odcięcia horyzontu z pracy z siecią TPI NETpro. Źródło: Opracowanie własne.
Figure 4. The value of PDOP coefficient in function of angle mask in working with TPI NETpro network. Source: Own elaboration.



	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°
1	1,391	1,366	1,369	1,552	1,723	2,079	2,625
2	2,103	2,250	1,661	2,028	2,002	2,826	3,024
3	2,397	2,391	2,574	2,724	3,025		
4	1,826	1,918	1,903	2,053	2,253	2,550	2,825

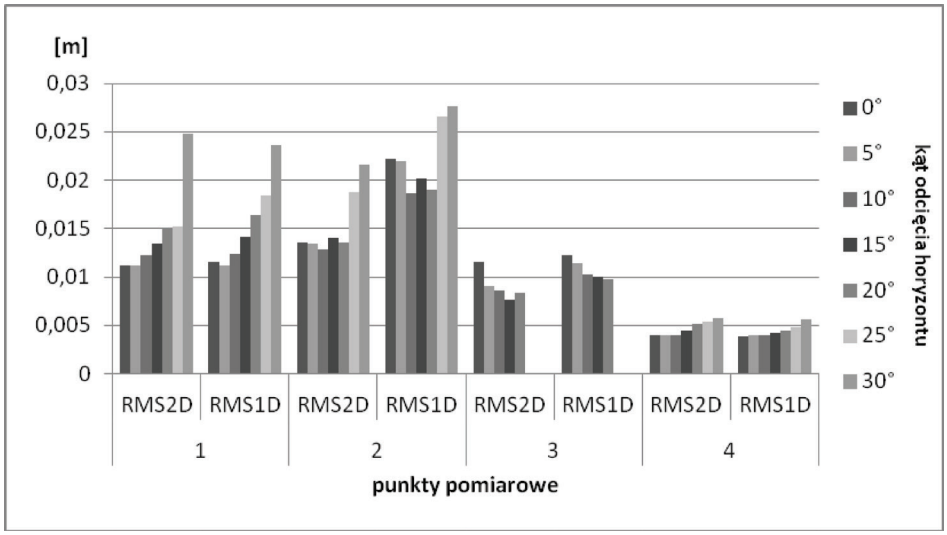
Rysunek 5. Wartość współczynnika PDOP w funkcji kąta odcięcia horyzontu z pracy z siecią VRSNet. Źródło: Opracowanie własne.
Figure 5. The value of PDOP coefficient in function of angle mask in working with VRSNet network. Source: Own elaboration.



Rysunek 6. Wartość RMS2D i RMS1D w zależności od zmiany kąta odcięcia horyzontu z pomiaru z siecią TPI NETpro. Źródło: opracowanie własne.
Figure 6. The amount of RMS2D and RMS1D in function of angle mask in measurement with TPI NETpro network. Source: own elaboration.

Jako drugi parametr poddano analizie wartości współczynnika przestrzennej dokładności geometrycznej PDOP. Współczynnik ten opisuje przestrzenne rozmieszczenie satelitów względem obserwatora. Im mniejszą wartość będzie przyjmował, tym wyznaczana pozycja staje się dokładniejsza (Maciuk K., 2015; Nowak A. 2011). Wymogiem niezbędnym do prowadzenia pomiarów RTN jest uzyskanie wartości tego współczynnika mniejszej lub równej 6 (Ćwiąkała P. i inni, 2015). Rysunek 4 przedstawia wartości tego współczynnika w funkcji kąta odcięcia horyzontu otrzymane z pracy z siecią TPI NETpro. Od razu można zauważyć, że współczynnik ten nie przekroczył podczas pomiarów wartości 3,1. Niemalże stałe wartości otrzymano podczas pomiaru przy kącie maski od 0° do 15°, przy zmianie tego kąta na wyższe wartości następował gwałtowny wzrost współczynnika PDOP.

Rysunek 5 przedstawia wartości współczynnika PDOP w funkcji kąta odcięcia horyzontu z pracy z siecią VRSNet. Tutaj również można zauważyć, że współczynnik przestrzennej dokładności geometrycznej nie przekroczył 3,1 oraz, że powyżej 15° kąta odcięcia horyzontu występuje stopniowy wzrost wartości współczynnika.



Rysunek 7. Wartość RMS2D i RMS1D w zależności od zmiany kąta odcięcia horyzontu z pomiaru z siecią VRSNet. Źródło: opracowanie własne.
Figure 7. The amount of RMS2D and RMS1D in function of angle mask in measurement with VRSNet network. Source: own elaboration.

Na podstawie analizy wyników pomiarów (Rys. 6 i 7) można stwierdzić, że wzrost wartości współczynnika PDOP przy ustawieniu kąta maski

powyżej 15° powoduje spadek otrzymywanych dokładności wyznaczenia pozycji poziomej.

WNIOSKI

Przeprowadzone badania dotyczące wpływu kąta odcięcia horyzontu na wyznaczanie pozycji w trybie sieciowym RTN GNSS z siecią TPI NETpro i VRSNet pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

1. Podczas pomiarów widoczna była większa ilość satelitów systemu GPS, niż GLONASS.
2. Wraz ze wzrostem kąta maski zmniejsza się liczba obserwowanych satelitów GNSS, a tym samym pomiar jest znacznie utrudniony. Powyżej kąta 20° przy częściowo zakrytym horyzoncie obserwatora od strony północnej i południowej, pozycjonowanie staje się trudne do wykonania, czasami wręcz niemożliwe.
3. Wykorzystanie zintegrowanych pomiarów satelitarnych GNSS (GPS + GLONASS) pozwala na bezproblemowe pozycjonowanie nawet w utrudnionych warunkach obserwacyjnych z maską elewacji od 0° do 20°.
4. Wartość współczynnika PDOP podczas pomiarów RTN w trybie precyzyjnym (fixed) z siecią TPI NETpro i VRSNet nie przekracza wartości 3,1.

LITERATURA

Ćwiąkała P., Gabryszuk J., Krawczyk K., Krzyżek R., Leń P., Oleniacz G., Puchniach E., Siejka Z., Wójcik-Leń J. (2015). *Technologia GNSS i jej zastosowanie w pomiarach realizacyjnych i kontrolnych*. Wyd. Wyższej Szkoły Inżynieryjno-Ekonomicznej z siedzibą w Rzeszowie.

GLONASS (2016). *GLONASS constellation status.* Federal Space Agency Information-Analytical Centre (online). Korolyov, Russia 2005-2016. https://www.glonass-iac.ru/en/ (dostęp 10.02.2016)

GPS (2016) *GPS constellation status*. U.S. Department of Homeland Security. Navigation Centre. http://www.navcen.uscg.gov/?Do=constellationstatus (dostęp 10.02.2016)

Maciuk K. (2015). *Współczynniki DOP w obserwacjach GNSS*. Budownictwo i Architektura 14(1), 65-72

Nowak, A. (2011). *Wpływ kąta odcięcia horyzontu na dokładność wyznaczeń GPS.* Logistyka 6/2011, 3111-3118

Podręcznik (2013). Podręcznik *użytkownika systemu ASG-EUPOS*. Wydanie 2 poprawione. GUGiK.

mgr inż. Justyna Gabryszuk
justyna.gabryszuk@up.lublin.pl
tel. 81 524 81 23
Katedra Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
ul. St. Leszczyńskiego 7
20-069 Lublin

Wpłynęło: 10.03.2016
Akceptowano do druku: 21.04.2016