

Współczynniki DOP w obserwacjach GNSS*

Kamil Maciuk

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, e-mail: maciuk@agh.edu.pl

Streszczenie: Zintegrowane pomiary satelitarne GNSS (GPS+GLONASS) niosą ze sobą szereg korzyści niemożliwych do osiągnięcia w obserwacjach wykorzystujących pojedynczy system nawigacji satelitarnej. Do głównych zalet należy przede wszystkim możliwość prowadzenia pomiarów w terenach, gdzie było to do tej pory niemożliwe z wykorzystaniem sygnałów GPS. W niniejszej pracy analizowano liczbę widocznych satelitów GNSS oraz wielkości współczynników DOP w warunkach sztucznych przysłonięć horyzontu. Omówiono także korzyści płynące z dołączenia dodatkowych obserwacji innych systemów satelitarnych.

Słowa kluczowe: GPS, GLONASS, pomiary satelitarne, współczynniki.

1. Wprowadzenie

Zalety zintegrowanych pomiarów satelitarnych GNSS (GPS+GLONASS+inne) zostały dostrzeżone już początku lat 90. [1]. W warunkach ograniczonej widoczności sfery niebieskiej, gdy liczba śledzonych satelitów jest mała, bardzo duże znaczenie ma ich geometryczne rozmieszczenie względem obserwatora [2]. Fakt ten musiał być brany pod uwagę przy planowaniu obserwacji satelitarnych w latach 80. i na początku 90. z wykorzystaniem sygnałów systemu GPS, gdy nie był on w pełni operacyjny. Dokładność i precyzja uzyskiwanych rozwiązań satelitarnych związana jest bezpośrednio z liczbą widocznych satelitów i ich geometrią, co w prosty sposób możliwe jest do przedstawienia za pomocą współczynników DOP (ang. *Dilution Of Precision*).

Badania w zakresie określania wpływu dołączenia obserwacji GLONASS na liczbę widocznych satelitów oraz zmiany wartości współczynników DOP były do tej pory szeroko prowadzone. W jednym z pierwszych opracowań dotyczących tej tematyki [3] stwierdzono, iż mimo niepełnej konstelacji satelitów GLONASS zintegrowane sygnały GNSS podnoszą dokładność uzyskiwanych rozwiązań, w stosunku do pojedynczego satelitarnego systemu nawigacyjnego. Z kolei w opracowaniu [4] badano jakość rozwiązań GNSS na terenie kopalni odkrywkowych. Autorzy wykazali, iż w tego typu warunkach pomiary z wykorzystaniem systemu GPS są często niemożliwe do stosowania. Dołączenie dodatkowych obserwacji rosyjskiego systemu satelitarnego umożliwiło na uzyskanie satysfakcjonujących rezultatów, co potwierdzono m.in. za pomocą współczynników HDOP. W artykule [5] autor wielkości współczynnika GDOP w zależności od położenia obserwatora na danej szerokości geograficznej. Autor wykazał, iż dodatkowe obserwacje GLONASS umożliwiają prowadzenia pomiarów na terenach o dużych wielkościach kąta przysłonięcia horyzontu, czego nie zapewnia sam GPS. Podobne wnioski ten sam autor potwierdził także w opracowaniu [6]. Z kolei w artykule [7] przeanalizowano dostępność i jakość rozwiązań z wykorzystaniem wszystkich dostępnych satelitarnych systemów nawigacyjnych (GPS, GLONASS, Galileo). Z uwagi na okres prowadzonych badań, w żadnym z omówionych powyżej przy-

* Artykuł powstał w ramach badań statutowych AGH nr 11.11.150.006.

kładów z nie analizowano sygnałów GLONASS okresie pełnej operacyjności rosyjskiego systemu. Dopiero pod koniec 2011 roku GLONASS osiągnął pełną operacyjność [8].

2. Systemy GNSS – korzyści

Prowadzenie obserwacji z wykorzystaniem kilku dostępnych nawigacyjnych systemów satelitarnych niesie ze sobą szereg korzyści. Przede wszystkim większa liczba satelitów umożliwia prowadzenie obserwacji w sposób ciągły i bardziej niezawodny. Szczególnie jest to istotne w dziedzinach związanych z nawigacją morską lub lotniczą (np. podchodzenie samolotów do lądowania). Ponadto dodatkowe sygnały umożliwiają zwiększenie wiarygodności prowadzonych pomiarów, w związku z większą liczbą dostępnych obserwacji. Stosowanie dwóch lub więcej nawigacyjnych systemów satelitarnych umożliwia także kontrolę pomiaru, poprzez porównanie autonomicznych rozwiązań każdego z systemów z osobna. Większa liczba satelitów umożliwia także prowadzenie obserwacji na terenach, gdzie ze względu na duże przysłonięcia horyzontu techniki satelitarne GNSS nie były do tej pory stosowane, czego przykładem mogą być tereny zurbanizowane i górskie. Wykorzystanie kilku systemów GNSS jednocześnie może mieć także wpływ na czas trwania sesji pomiarowej. W przypadku pomiarów w czasie rzeczywistym skraca to czas inicjalizacji, natomiast w przypadku obserwacji statycznych - skrócenie czasu pomiaru.

3. Pomiary kodowe

Idea pomiarów kodowych opiera się na wyznaczeniu pozycji odbiornika w oparciu o pomiar pseudoodległości, która obliczana jest jako iloczyn czasu transmisji sygnału na drodze satelita-odbiornik według wzoru [9]:

$$\rho_K^S = (t_K - t^S) \cdot c \quad (1)$$

gdzie: ρ_K^S – pseudoodległość między satelitą S, a odbiornikiem K, t_K – czas rejestracji sygnału przez odbiornik K, t^S – czas emisji sygnału przez satelitę S, c – prędkość światła w próżni (299 792 458 m/s).

Powyższe równanie będzie tożsame z odległością geometryczną satelita-odbiornik po uwzględnieniu błędów pomiaru związanych m.in. z zegarami satelitów i odbiornika, wpływem atmosfery czy błędem wielotorowości [10][11][12]. Ponadto równanie to będzie prawdziwe po uwzględnieniu efektów relatywistycznych i założenia, iż prędkość światła przy przejściu przez ziemską atmosferę równa się prędkości światła w próżni [13][14]. Powyższe równanie można zatem rozpisać jako odległość geometryczną satelita-odbiornik za pomocą współrzędnych kartezjańskich według wzoru [9]:

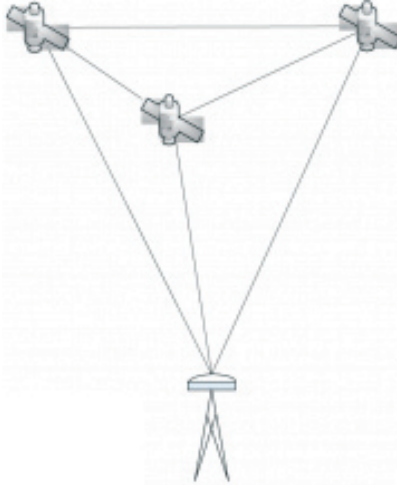
$$\rho_K^S = \sqrt{(x^S - x^K)^2 + (y^S - y^K)^2 + (z^S - z^K)^2} + cdt_K + \Delta\delta \quad (2)$$

gdzie: x^S, y^S, z^S – współrzędne satelity, x^K, y^K, z^K – współrzędne odbiornika, cdt_K – poprawka zegara odbiornika K1, $\Delta\delta$ – błędy (atmosfera, wielotorowość i inne).

Przy obliczaniu współczynników DOP pod uwagę brane są dwa pierwsze człony prawej strony powyższego równania, gdyż opisują one jedynie wpływ rozmieszczenia (geometrii) satelitów na jakość rozwiązań, bez wpływu pozostałych błędów (poza błędem zegara odbiornika).

4. Współczynniki DOP

Współczynniki DOP obliczane są jako funkcja geometrycznego rozmieszczenia satelitów względem obserwatora. W wolnym tłumaczeniu określone są one jako współczynniki „rozmycia precyzji” opisujące jakość spodziewanego rozwiązania jedynie w sposób statystyczny, nie stanowiąc jego bezpośredniej liczbowej wartości [15].

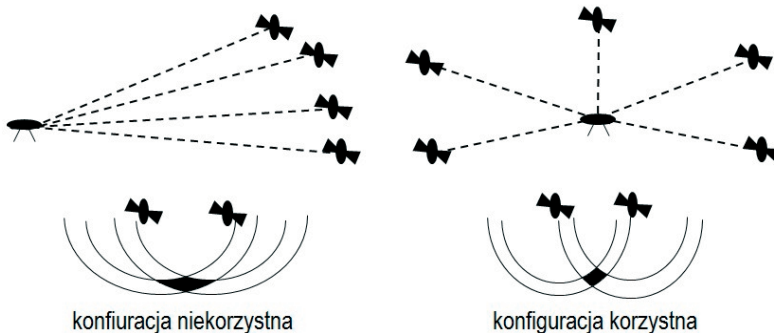


Rys. 1. Budowa tetrahedronu - układ satelity-odbiornik (Źródło: <http://www.novatel.com>)

Wielkości współczynników DOP są odwrotnie proporcjonalne do liczby satelitów i ich wzajemnego rozmieszczenia względem obserwatora. W największym uproszczeniu można to przedstawić jako odwrotność objętości bryły (tetrahedronu, rysunek 1): cztery satelity-obszawator [16]:

$$DOP \approx \frac{1}{V} \quad (3)$$

Im większa objętość bryły, tym lepsze warunki geometryczne satelitów. Informacje tego typu są bardzo ważne przy planowaniu obserwacji, szczególnie w trudnych warunkach terenowych. Pomiarami dla których geometria satelitów jest istotna są metody absolutne (pojedynczego punktu) wyznaczenia pozycji (np. technika PPP) czy rozwiązania kinematyczne, bazujące na pojedynczych następujących po sobie epokach [9].



Rys. 2. Przykłady geometrycznego układu satelity-odbiornik (Źródło: <http://nptel.iitm.ac.in>)

Na rysunku 2 zaprezentowano dwa przykłady geometrycznego rozmieszczenia satelitów względem obserwatora. Niekorzystna konfiguracja powoduje wzrost błędów związanych z pomiarem odległości w zależności od przestrzennego rozmieszczenia satelitów (zaciemniony obszar). Natomiast w przypadku równomiernego ich rozmieszczenia, błędy te są w dużym stopniu niwelowane, zapewniając w sposób teoretyczny większą dokładność.

Wielkości współczynników DOP są odwrotnie proporcjonalne do dokładności wyznaczanej pozycji, w praktyce do ich obliczenia potrzebne są co najmniej cztery zlinearyzowane równania odległości:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \frac{-X^{S1} - X_P}{\rho_P^{S1}} & \frac{-Y^{S1} - Y_P}{\rho_P^{S1}} & \frac{-Z^{S1} - Z_P}{\rho_P^{S1}} & 1 \\ \frac{-X^{S2} - X_P}{\rho_P^{S2}} & \frac{-Y^{S2} - Y_P}{\rho_P^{S2}} & \frac{-Z^{S2} - Z_P}{\rho_P^{S2}} & 1 \\ \frac{-X^{S3} - X_P}{\rho_P^{S3}} & \frac{-Y^{S3} - Y_P}{\rho_P^{S3}} & \frac{-Z^{S3} - Z_P}{\rho_P^{S3}} & 1 \\ \frac{-X^{S4} - X_P}{\rho_P^{S4}} & \frac{-Y^{S4} - Y_P}{\rho_P^{S4}} & \frac{-Z^{S4} - Z_P}{\rho_P^{S4}} & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{-X^{Sn} - X_P}{\rho_P^{Sn}} & \frac{-Y^{Sn} - Y_P}{\rho_P^{Sn}} & \frac{-Z^{Sn} - Z_P}{\rho_P^{Sn}} & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

gdzie: X^{Sn} , Y^{Sn} , Z^{Sn} – współrzędne satelitów, X_P , Y_P , Z_P – współrzędne odbiornika, ρ_P^{Sn} – odległość geometryczna satelity–odbiornik.

Macierz \mathbf{A} zawiera układ zlinearyzowanych n -równań odległości. W oparciu o macierz obserwacji \mathbf{A} , definiującej układ geometryczny satelity–odbiornik obliczana jest macierz kowariancji \mathbf{C} wyznaczanych parametrów:

$$\mathbf{C} = [\mathbf{A}^T \mathbf{A}]^{-1} = \begin{bmatrix} \sigma_X^2 & \sigma_{XY}^2 & \sigma_{XZ}^2 & \sigma_{Xcdt}^2 \\ \sigma_{YX}^2 & \sigma_Y^2 & \sigma_{YZ}^2 & \sigma_{Ycdt}^2 \\ \sigma_{ZX}^2 & \sigma_{ZY}^2 & \sigma_Z^2 & \sigma_{Zcdt}^2 \\ \sigma_{cdtX}^2 & \sigma_{cdtY}^2 & \sigma_{cdtZ}^2 & \sigma_{cdt}^2 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Macierz \mathbf{C} w bezpośredni sposób opisuje jakość geometrycznego rozmieszczenia satelitów względem odbiornika w geocentrycznym układzie ECEF (ang. *Earth Centered Earth Fixed*). Po wyeliminowaniu ostatniego wiersza i kolumny w macierzy \mathbf{C} związanych z błędem zegara odbiornika, otrzymywana jest macierz \mathbf{C}_{XYZ} dotycząca błędów współrzędnych kartezjańskich. W celu określenia informacji o jakości rozwiązania w układzie topocentrycznym macierz \mathbf{C}_{XYZ} należy przekształcić do postaci:

$$\mathbf{C}_{NEU} = \mathbf{F}_T \mathbf{C}_{XYZ} \mathbf{F} = \begin{bmatrix} \sigma_E^2 & \sigma_{EN}^2 & \sigma_{EU}^2 \\ \sigma_{NE}^2 & \sigma_N^2 & \sigma_{NU}^2 \\ \sigma_{UE}^2 & \sigma_{UN}^2 & \sigma_U^2 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Macierz \mathbf{F} stanowi macierz transformacji między układem geocentrycznym ECEF, a układem topocentrycznym NEU:

$$\mathbf{F}^T = \begin{bmatrix} -\sin \lambda & \cos \lambda & 0 \\ -\sin \varphi \cos \lambda & -\sin \varphi \sin \lambda & \cos \varphi \\ \cos \varphi \cos \lambda & \cos \varphi \sin \lambda & \sin \varphi \end{bmatrix} \quad (7)$$

Współczynniki DOP jako jednostki bezwymiarowe w oparciu o macierz \mathbf{C} można zapisać jako:

$$\text{Geometryczny} \quad - \quad GDOP = \sqrt{\sigma_N^2 + \sigma_E^2 + \sigma_U^2 + \sigma_{cdt}^2}$$

$$\text{Pozycyjny} \quad - \quad PDOP = \sqrt{\sigma_N^2 + \sigma_E^2 + \sigma_U^2}$$

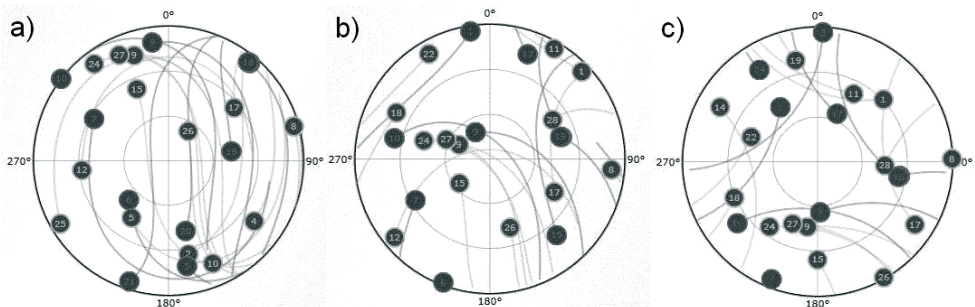
$$\text{Poziomy} \quad - \quad GDOP = \sqrt{\sigma_N^2 + \sigma_E^2}$$

$$\text{Pionowy} \quad - \quad GDOP = \sqrt{\sigma_U^2}$$

$$\text{Czasowy} \quad - \quad TDOP = \sqrt{\sigma_{cdt}^2}$$

5. Metodyka badań

Orbity satelitów GPS i GLONASS nachylone są do płaszczyzny równika pod kątem odpowiednio 55° i $64,8^\circ$, w połączeniu z odpowiednią dużą wysokością (20 180 km i 19 100 km ponad powierzchnią Ziemi) zapewniają one widoczność satelitów dla każdego punktu kuli ziemskiej [17]. Rysunek 3 stanowi przykład widoczności układu satelitów GNSS w dniu 01.01.2013 r. o godzinie 0:00 czasu UTC, na trzech charakterystycznych szerokościach geograficznych, są to odpowiednio: równik (a) i szerokość geograficzna 50° (b) oraz biegun północny (c).



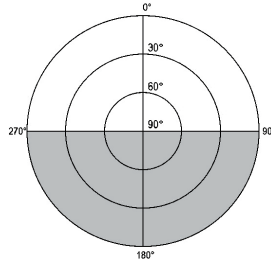
Rys. 3. Przykłady widoczności układu satelitów GPS+GLONASS
(Źródło: <http://www.trimble.com/GNSSPlanningOnline>)

W niniejszej pracy analizowano liczbę widocznych satelitów GPS i GLONASS, a także wielkości współczynników PDOP w warunkach sztucznych przysłoneń horyzontu, w kombinacji GPS i GNSS (GPS+GLONASS). Miało to na celu określenie wpływu dołączenia sygnałów GLONASS na jakość rozwiązań satelitarnych. Eksperyment podzielono na dwie części. W pierwszej badano wpływ dołączenia sygnałów GLONASS na liczbę widocznych satelitów w warunkach w pełni odkrytego horyzontu i 50% kąta przysłonięcia horyzontu od strony południowej (rysunek 4). Drugą część eksperymentu stanowiła badanie wielkości współczynnika PDOP w dla różnej wielkości minimalnego kąta przysłonięcia horyzontu. W niniejszej pracy autor analizował wielkości współczynników DOP i liczby widocznych satelitów na punkcie o współrzędnych 50° N, 20° E, 200 m.

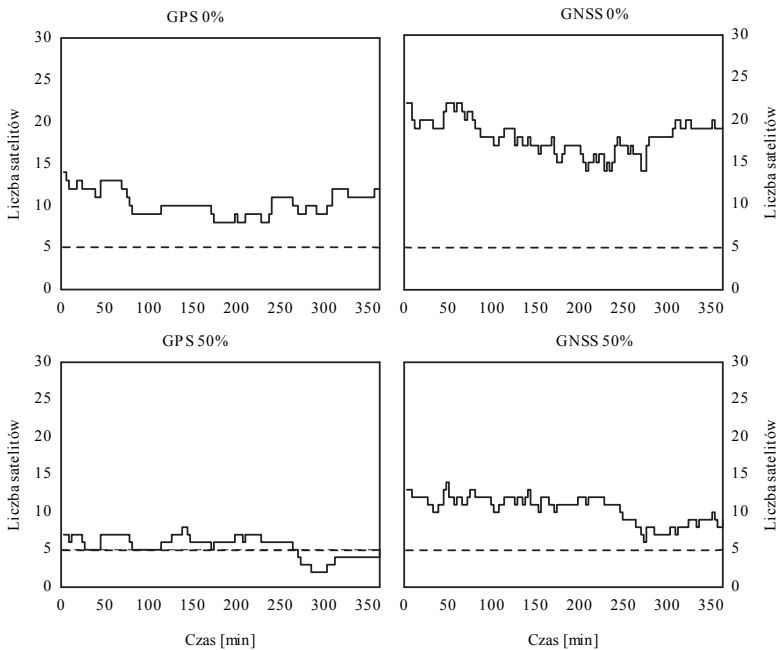
6. Wyniki

Na rysunku 4 przedstawiono schemat 50% przysłonięcia horyzontu od strony południowej na analizowanym punkcie. Z uwagi na konstrukcję segmentów kosmicznych nawigacyjnych systemów satelitarnych oraz położenie obszaru badawczego na półkuli północnej, przysłonięcie południowej części nieba w największym stopniu zmniejsza liczbę dostępnych sygnałów.

Analiza liczby widocznych satelitów obejmowała 6 godzin obserwacji z interwałem 3-minutowym dnia 01-01-2013 w godzinach 0:00-6:00 czasu UTC.



Rys. 4. Schemat wielkości przysłonięcia horyzontu w analizowanym punkcie (Źródło: Opracowanie własne)



Rys. 5. Liczba widocznych satelitów (Źródło: Opracowanie własne)

Na rysunku 5 linią ciągłą przedstawiono liczbę widocznych satelitów GPS i GNSS w warunkach odkrytego horyzontu i 50% kąta przysłonięcia od strony południowej. Natomiast linia przerywana oznacza minimalną liczbę 5 satelitów wymaganą do inicjalizacji i prowadzenia pomiarów w trybie RTK. W przypadku obserwacji GPS w warunkach odkrytego horyzontu liczba widocznych satelitów wahała się między 8, a 14 (przy średniej liczbie 10,3), dla systemów GNSS było to odpowiednio 14 i 22, przy średniej liczbie 18 sateli-

tów. W obu przypadkach możliwe było ciągle prowadzenie pomiarów w czasie rzeczywistym (min. 5 satelitów) przez cały okres pomiaru. W przypadku przysłonięcia południowej strony horyzontu liczba widocznych satelitów GPS wahała się między 2, a 8 (średnio 5,5). Zapewniało to widoczność wymaganej liczby widocznych satelitów w bardzo ograniczonym okresie. W przypadku sygnałów GNSS liczba widocznych satelitów wahała się między 6, a 14 (średnio 10,5). Obserwacje GNSS dawały więc możliwość prowadzenia pomiarów RTK przez cały analizowany okres, co nie było możliwe w przypadku wykorzystania samych tylko obserwacji GPS.

Tabela 1 zawiera rozmieszczone w przedziałach procentowych wielkości współczynnika PDOP dla obserwacji GPS i GNSS, w zależności od wielkości kąta przysłonięcia horyzontu dla sesji 24-godzinnej z interwałem 10-minutowym z dnia 01.01.2013 roku.

Tabela 1. Przedziały procentowe wielkości współczynników PDOP w zależności od wielkości kąta przysłonięcia horyzontu (Źródło: Opracowanie własne)

| Maska elewacji | 0° | | 10° | | 20° | | 30° | | 40° | |
|--------------------------|---------|-------|--------|-------|--------|------|--------|------|--------|------|
| Widoczność horyzontu | 100,00% | | 79,01% | | 60,49% | | 44,44% | | 30,86% | |
| System | GPS | GNSS | GPS | GNSS | GPS | GNSS | GPS | GNSS | GPS | GNSS |
| Średnia liczba satelitów | 11,3 | 19,6 | 8,4 | 15,0 | 6,4 | 11,3 | 4,8 | 8,6 | 3,7 | 6,4 |
| PDOP<2 | 95,2 | 100,0 | 50,3 | 100,0 | 2,1 | 40,7 | 0,0 | 1,4 | - | - |
| 2<PDOP<=3 | 3,4 | - | 37,2 | - | 40,7 | 45,5 | 4,1 | 24,1 | - | - |
| 3<PDOP<=4 | 1,4 | - | 8,3 | - | 32,4 | 5,5 | 13,8 | 25,5 | 0,7 | 6,9 |
| 4<PDOP<=5 | - | - | 2,1 | - | 6,9 | 2,8 | 10,3 | 15,2 | 3,4 | 11,7 |
| 5<PDOP<=6 | - | - | 1,4 | - | 3,4 | 2,1 | 10,3 | 8,3 | 5,5 | 9,7 |
| 6<PDOP<=8 | - | - | 0,0 | - | 2,1 | 0,7 | 9,0 | 7,6 | 6,9 | 14,5 |
| 8<PDOP<=20 | - | - | 0,7 | - | 3,4 | 2,1 | 19,3 | 12,4 | 20,0 | 27,6 |
| PDOP>20 | - | - | - | - | 9,0 | 0,7 | 33,1 | 5,5 | 63,4 | 29,7 |

Przyjmuje się, że wartości współczynnika PDOP mniejsze niż 3 zapewniają bardzo dobre warunki geometryczne prowadzenia obserwacji [18]. Dla każdego z analizowanych przypadków maski przysłonięcia pomiary GNSS zapewniały lepsze wartości współczynnika PDOP, poprzez niemal dwukrotnie większą liczbę widocznych satelitów w stosunku do sygnałów GPS. Dla wartości 0° i 10° maski przysłonięcia horyzontu 100% obserwacji GNSS posiadało PDOP mniejszy niż 2. Przy masce 20° średnia liczba widocznych satelitów GNSS wynosiła powyżej 11 (wobec jedynie ponad 6 dla GPS) i zapewniała PDOP < 3 dla ponad 85% obserwacji (GPS jedynie 43%). Należy zwrócić uwagę, iż już 20° maska odcięcia horyzontu ograniczała 40% widoczności sfery niebieskiej ponad obserwatozem, co często spotykane jest na terenach zurbanizowanych. Podobnie dla pozostałych masek, zintegrowane sygnały GNSS w każdym z przypadków wypadały znacznie korzystniej w porównaniu do samych sygnałów GPS.

7. Podsumowanie

Obecnie działające i w pełni operacyjne są dwa systemy nawigacji satelitarnej, możliwa jest także rejestracja sygnałów innych, będących obecnie w fazie budowy systemów. Dołączenie obserwacji GLONASS do istniejących sygnałów GPS zapewnia korzystniejsze i bardziej równomierne rozmieszczenie satelitów nad obserwatozem oraz umożliwi gromadzenie większej liczby obserwacji, w stosunku do pomiarów GPS. Największą korzyścią płynącą z dołączenia obserwacji GLONASS czy innych systemów nawigacji satelitarnej jest możliwość prowadzenia ciągłych obserwacji w trudnych warunkach terenowych (znacznego przysłonięcia części horyzontu), gdzie nie było to do tej możliwe dla pojedynczego systemu satelitarnego.

Literatura

1. Kleusberg A. *Comparing GPS and GLONASS*. GPS World 1(6) (1990) 52–54.
2. Lemmens M. *Geo-information*. Dordrecht, Springer Netherlands 2011 55–83.
3. Roßbach U., Hein G., Eissfeller B. *Experiences in DGPS/DGLONASS Combination*. GPS Trends in Precise Terrestrial, Airborne, and Spaceborne Applications (2011) 197–201.
4. Johnson L., Diggelen F. Van. *Advantages of a combined GPS+ GLONASS precision sensor for machine control applications in open pit mining*. Position Location and Navigation Symposium IEEE 1998 (2011) 549–554.
5. Januszewski J. *Geometry of GPS and GLONASS for Different Number*. Annual Of Navigation 2 (2000) 47–56.
6. Maciuk K, Borowski Ł, Lewińska P. *Analiza wyników wyznaczenia przemieszczeń pionowych z wykorzystaniem sygnałów GLONASS na przykładzie symulowanej niecki obniżeniowej*. Wiadomości Górnicze 7–8 (2013) 413–421.
7. Tian S., Li G., Chang J., Li Y., Tian X. *Performance analysis of GPS, GLONASS, GALILEO and integrated GPS-GALILEO in China and its neighboring area*. ICAIC 2011 (2011) 287–293.
8. Cai C., Gao Y. *Modeling and assessment of combined GPS/GLONASS precise point positioning*. GPS Solutions 17(2) (2012) 223–236.
9. Lamparski J., *NAVSTAR GPS: od teorii do praktyki*. Olsztyn, UWM, 2001.
10. Parkinson B. W., Spilker J.J. *Global Positioning System: Theory and Applications*. American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1996.
11. Qiu W. *An analysis of some critical error sources in static GPS*. Surveying University of Calgary, 1993.
12. Yongjun Z., Zemin W. *Analyses and solutions of errors on GPS/GLONASS positioning*. Geospatial Information Science 5(2) (2002) 6–12.
13. Blewitt G. *Basics of the GPS Technique: Observation Equations*. Geodetic Applications of GPS, 1997.
14. Julien O., Zheng B., Dong L., Lachapelle G. *A complete software-based IF GNSS signal generator for software receiver development*. ION GNSS 2004.
15. MacNicol J., *Study of satellite navigation, dilution of precision and positioning techniques for use on and around the moon*. Air Force Institute of Technology, 2002.
16. Dutt V., Rao G., Rani S., Babu S., Goswami R., Kumari C. *Investigation of GDOP for precise user position computation with all satellites in view and optimum four satellite configurations*. The Journal of Indian Geophysical Union 13(3) (2009) 139–148.
17. Seeber G., *Satellite Geodesy*. Berlin, New York, Walter de Gruyter, 2007.
18. Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H., Wasle E. *GNSS – Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo & more*. Strauss GmbH, Mörlenbach, Germany: Springer Wien New York, 2008.

DOP coefficients in GNSS observations

Kamil Maciuk

AGH University of Science and Technology, e-mail: maciuk@agh.edu.pl

Abstract: Integrated GNSS (GPS+GLONASS) satellite measurements carry a number of benefits. The main advantages are especially possibilities of conducting measurements in areas where use of a single satellite system was not impossible so far. In this paper number of visible satellites and DOP coefficients values in terms artificial horizon obstacles were analysed. Paper also discusses benefits of including additional observations from other navigation satellite systems.

Keywords: GPS, GLONASS, satellite measurements, DOP coefficients.