



Stacja referencyjna w Hornsundzie (Spitsbergen) — wybór lokalizacji, perspektywy rozbudowy i wykorzystanie

KINGA WĘŻKA, MACIEJ PAŚNIKOWSKI, JANUSZ WALO¹

Stowarzyszenie Studentów Wydziału Geodezji i Kartografii PW „Geoida”

¹Politechnika Warszawska, Wydział Geodezji i Kartografii,
00-661 Warszawa, Plac Politechniki 1

Streszczenie. Głównym celem projektu realizowanego podczas wyprawy na Spitsbergen w 2008 roku była analiza funkcjonowania stacji referencyjnej w Hornsundzie, w celu wyboru jej odpowiedniej lokalizacji. W 2005 roku podczas wyprawy studentów i pracowników Wydziału Geodezji i Kartografii na Spitsbergen w fiordzie Hornsund została uruchomiona stacja referencyjna. Analiza obserwacji zgromadzonych na stacji w pierwszym okresie jej pracy wykazała znaczny efekt wielodrożności sygnału. Efekt ten okazał się na tyle duży, że zdecydowano o przeniesieniu anteny w inne miejsce. Jednak z uwagi na trwającą rozbudowę bazy, zmianę lokalizacji anteny zaplanowano dopiero po skończeniu prac remontowo-budowlanych. Podczas wyprawy w 2008 roku wybrano zatem docelową lokalizację spełniającą warunki prawidłowego ustawienia anteny stacji referencyjnej. Wykonano także serię dwunastu dobowych obserwacji testowych, które pozwoliły na wstępne wyznaczenie pozycji stacji oraz analizę jakości sygnałów GNSS. Praca prezentuje analizę porównawczą obserwacji zgromadzonych w starej i nowej lokalizacji anteny oraz zawiera opis otoczenia i jego wpływ na błędy wielodrożności sygnału. Autorzy przedstawiają ponadto przykład wykorzystania stacji referencyjnej w Hornsundzie oraz planowaną koncepcję rozbudowy systemu stacji referencyjnych dookoła Spitsbergenu.

Słowa kluczowe: geodezja i kartografia, geodezja satelitarna, stacja referencyjna, IGS, wielodrożność sygnału, pomiary GNSS na dużych szerokościach geograficznych

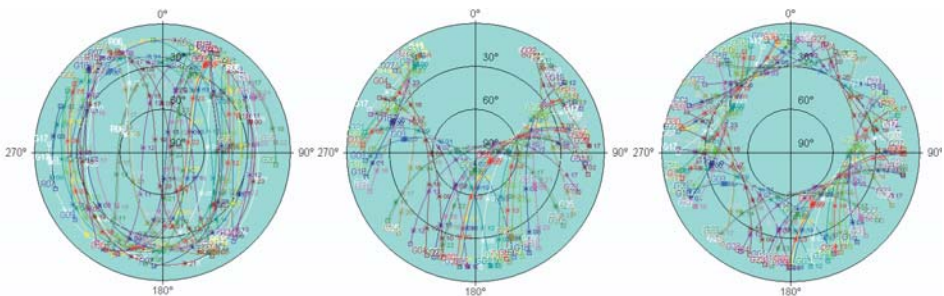
Symbole UKD: 528

1. Lokalizacja stacji i charakterystyka pomiarów satelitarnych na dużych szerokościach

Pomiary satelitarne w obszarach polarnych są charakterystyczne nie tylko ze względu na panujące tam warunki klimatyczne, lecz także na inną geometrię widocznych satelitów. Poniższe rysunki pokazują, że w obszarach polarnych nie ma problemu z liczbą dostępnych satelitów, natomiast pojawia się problem z brakiem dostępności satelitów wysokich, okołozenitalnych. Z tego powodu bardzo ważny staje się wybór lokalizacji posadowienia anteny GNSS pod kątem jak najmniejszej liczby przeszkód terenowych, które zmniejszałyby ilość obserwacji. W przypadku



Rys. 1. Położenie Polskiej Stacji Polarnej na Spitsbergenie



Rys. 2. Porównanie dostępności satelitów na różnych szerokościach geograficznych (0° — równik, 52° — Warszawa, 77° — Hornsund/Spitsbergen) [Planning Trimble Total Control]

Spitsbergenu wybór odpowiedniego stanowiska do pracy stacji dodatkowo utrudniają górzyste tereny.

Obecnie na Spitsbergenie działa tylko jedna stacja permanentna włączona do projektu IGS (Ny Alesund — NYAL), co niestety ogranicza możliwości stosowania pomiarów satelitarnych prowadzonych w tych rejonach i ich dokładność. Zatem sieci GPS nawiązywać trzeba do odległych stacji permanentnych pracujących na terytorium Szwecji, Norwegii lub Grenlandii [8]. Niestety, takie rozwiązania osłabiają geometrię sieci ze względu na bardzo duże odległości i nierównomierne rozmieszczenie punktów odniesienia, a to z kolei wpływa na stosunkowo niską dokładność uzyskiwanych wyników. Ze względu na dużą liczbę realizowanych na Spitsbergenie badań, które wymagają wyznaczania pozycji z wykorzystaniem technik satelitarnych, zdecydowano się uruchomić stację referencyjną w Hornsundzie. Uruchomiona w 2005 roku stacja ze względu na rozbudowę Polskiej Bazy Polarnej została tymczasowo ustawiona na punkcie ASTR przed głównym budynkiem bazy (rys. 3). Wstępne analizy pracy stacji na punkcie ASTR wskazały na konieczność zmiany lokalizacji stacji spowodowaną dużymi błędami wielodrożności sygnału [3]. W 2008 roku, po ukończeniu rozbudowy, zdecydowano się na wykonanie pomiarów testowych w miejscu, na które w przyszłości przeniesiono by stację (pkt. HORN). Dobór nowej lokalizacji został uwarunkowany z jednej strony lepszymi warunkami obserwacyjnymi (mniej przeszkód terenowych), z drugiej zaś stosunkowo bliską odległością punktu od budynków bazy (łatwy dostęp do zasilania i sieci komputerowej).



Rys. 3. Lokalizacja stacji ASTR i HORN na terenie Polskiej Stacji Polarnej

2. Wstępne wyznaczenie pozycji nowej stacji HORN

W celu realizacji projektu wykonane zostały pomiary na obydwu punktach zastabilizowanych w okolicy Polskiej Stacji Polarnej w Hornsundzie (rys. 3): ASTR (dotychczasowa lokalizacja) i HORN (planowana lokalizacja stacji referencyjnej). W sumie w okresie od 25 lipca 2008 roku do 5 sierpnia 2008 roku (DOY 207-218) wykonano dwanaście dobowych pomiarów. W pomiarach wykorzystano odbiorniki firmy Leica (patrz tab. 1). Obserwacje gromadzono z interwałem 5 sekund, przy ustalonym kącie elewacji równym 10° . Niestety możliwości sprzętowe uniemożliwiły postawienie dwóch anten tego samego typu (antena typu *choke ring* na punkcie

ASTR, a na punkcie HORN zwykła antena geodezyjna), co w efekcie utrudniło porównawczą interpretację efektu wielodrożności.



Rys. 4. Sprzęt pomiarowy na punkcie ASTR (po lewej) i HORN (po prawej)

TABELA 1

Sprzęt pomiarowy na punktach ASTR i HORN

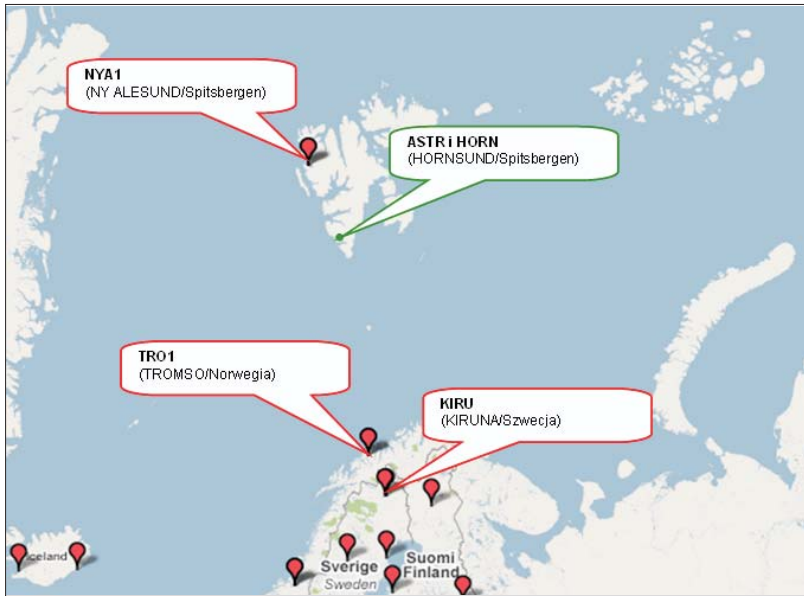
	HORN	ASTR
typ/nr seryjny odbiornika	LEICA GX 1230 GG/467257	LEICA GRX 1200/463098
typ/nr seryjny anteny	LEIAX1202GG/04240051	LEIAT504/482465

Zgromadzone pliki obserwacyjne zostały podzielone na obserwacje dobowe. Obliczenia prowadzono oddzielnie dla każdego dnia obserwacyjnego oraz oddzielnie dla obydwu punktów: ASTR i HORN. W celu wyznaczenia pozycji odbiorników na obu punktach pomiary nawiązano do stacji referencyjnych IGS. Wybrano stacje położone najbliżej Spitsbergenu, choć zarówno ich geometria (rys. 5) jak i odległości do wyznaczanych punktów nie są optymalne (tab. 2).

TABELA 2

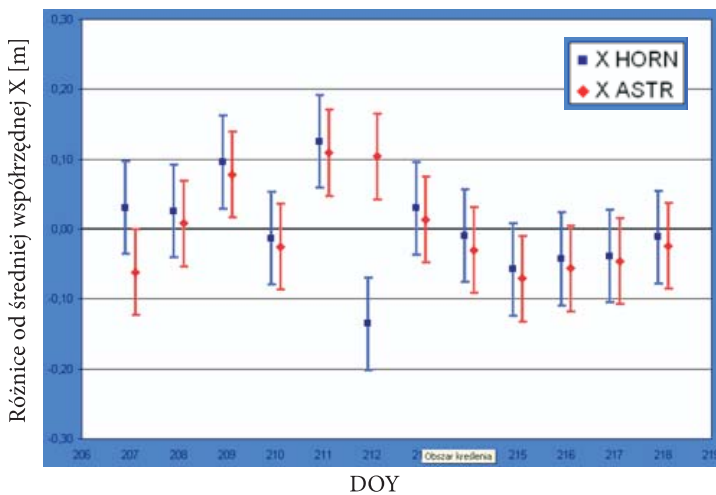
Odległości do stacji odniesienia

ASTR-KIRU = 1034,5 km	HORN-KIRU = 1034,6 km
ASTR-TRO1 = 825,3 km	HORN-TRO1 = 825,4 km
ASTR-NYA1 = 231,5 km	HORN-NYA1 = 231,4 km

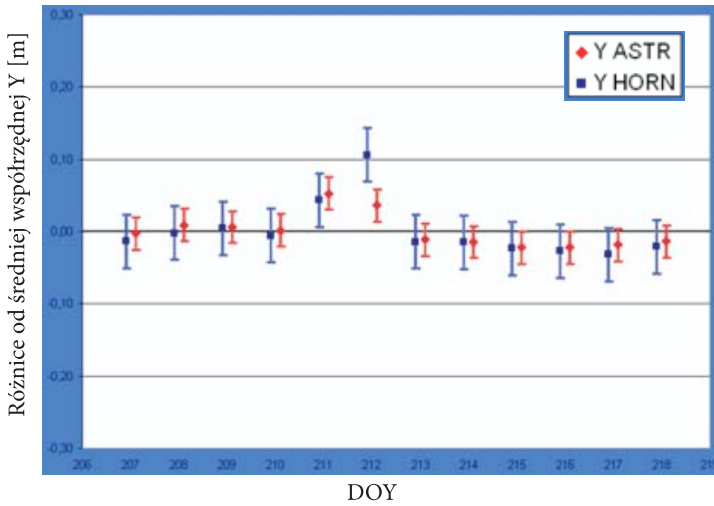


Rys. 5. Rozmieszczenie stacji referencyjnych [źródło mapy: google maps]

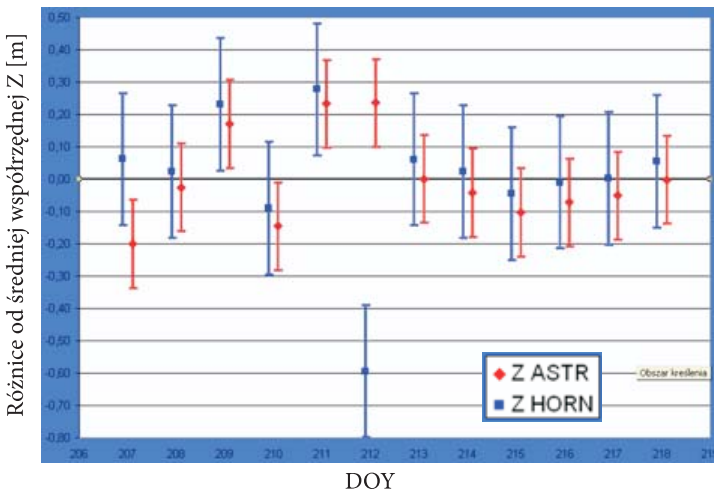
Do wstępnego wyznaczenia pozycji wykorzystano program TTC (*Trimble Total Control*). Obliczenia zostały wykonane w układzie ITRF2000 [5] na epokę obserwacji z wykorzystaniem orbity precyzyjnej, modelu jonosfery [7] i zdefiniowanych modeli anten zgodnych ze standardem NGS [6].



Rys. 6. Odchylenia od średniej współrzędnej X — wektor z Ny Alesund



Rys. 7. Odchylenia od średniej współrzędnej Y — wektor z Ny Alesund



Rys. 8. Odchylenia od średniej współrzędnej Z — wektor z Ny Alesund

Jak widać na rysunkach 6, 7 i 8 uzyskane rozwiązanie nie może być uznane jako ostateczne wyznaczenie pozycji. Na powyższych wykresach da się zaobserwować, iż większe odchyłki od średniej otrzymano na punkcie HORN. Wynika to głównie z faktu, że antena została ustawiona na statywie, co w przypadku silnych wiatrów występujących na tym obszarze wpłynęło negatywnie na stabilność pomiarów, natomiast antena na punkcie ASTR umocowana była na stabilnym betonowym słupie. Po przeniesieniu stacji na punkt HORN planowane jest zastabilizowanie punktu na specjalnie wzmacnianym betonowym słupie, a następnie opracowanie

obserwacji w programie, który pozwala na uwzględnienie większej liczby parametrów i znacznie bardziej nadaje się do wyznaczenia bardzo długich wektorów np. BERNESE. Uzyskany wynik można jednak uznać za satysfakcjonujący, jeśli chodzi o lokalne potrzeby dokładności wyznaczania pozycji. Rezultaty uzyskane z tego etapu nie stanowiły wyników ostatecznych i nie miały wpływu na dalsze analizy obserwacji, w których jako główne kryterium doboru odpowiedniej lokalizacji stacji przyjęto analizę sygnału i efektu wielodrożności.

3. Analiza porównawcza pracy odbiorników na punkcie ASTR i punkcie HORN

W celu porównania jakości obserwacji uzyskiwanych z dwóch odbiorników GNSS przeprowadzono analizę związaną z oceną błędów propagacji sygnału. Ze względu na bliską odległość odbiorników (około 150 m) można założyć, że błędy propagacji sygnału oraz błędy związane z poprawkami zegarów satelitów oraz z błędami orbit satelitów będą jednakowe. Z tego względu w celu wskazania odpowiedniej lokalizacji stacji referencyjnej w Hornsundzie skupiono się głównie na analizie jakości sygnału, a w szczególności na porównaniu efektów wielodrożności na obydwu lokalizacjach. Ocenę jakości danych obserwacyjnych przeprowadzono na podstawie dobowych obserwacji z dwunastu dni obserwacyjnych na punktach HORN i ASTR. W celu wykrycia efektu wielodrożności sygnału i przeprowadzenia jego analizy korzystano z programów: Leica GNSS QC oraz TEQC. Zastosowana metoda identyfikacji wielodrożności sygnału wykorzystuje kombinacje pomiarów fazowych i kodowych [9]. Ocenę jakości danych obserwacyjnych wykonano z wykorzystaniem parametrów:

- MP1 i MP2 (efekt wielodrożności na częstotliwości L1 i L2) oraz
- SNR (*Signal-To-Noise Ratio*).

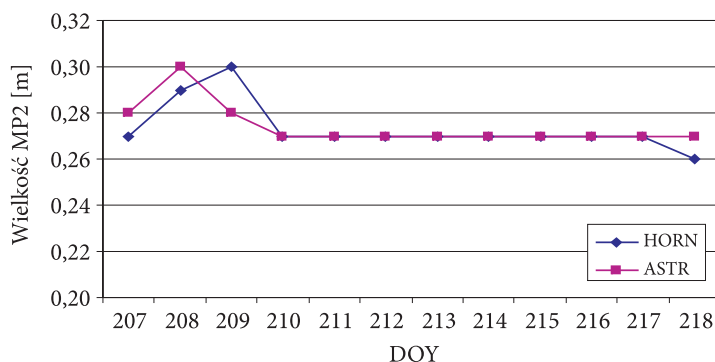
W pierwszym etapie analizy przeprowadzono kontrolę jakości danych obserwacyjnych, przyjmując następujące kryteria:

- liczba utraconych cykli (zależna od liczby obserwacji),
- efekt wielodrożności,
- kompletność danych (więcej niż 95%).

TABELA 3

Utrata cykli pomiarowych na punktach ASTR i HORN

DOY	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218
ASTR	171	265	243	161	176	172	179	183	178	165	175	160
HORN	121	183	178	105	144	61	115	158	116	108	113	117



Rys. 11. Wielodrożność na częstotliwości L2 [m] na punktach ASTR i HORN

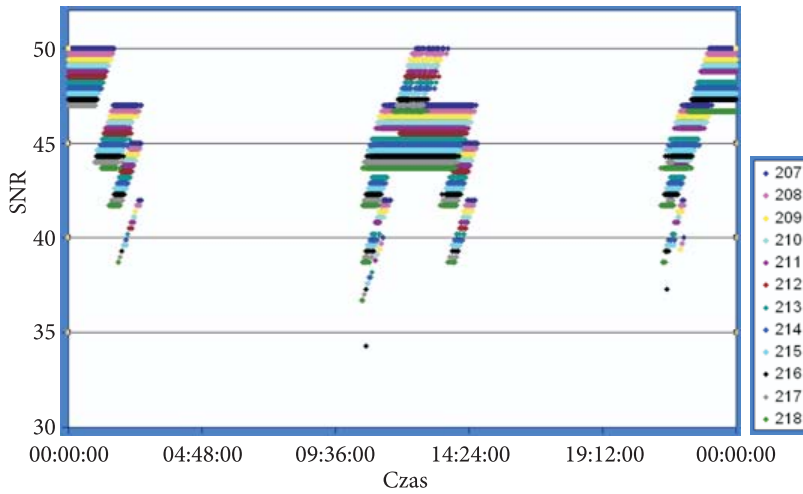
TABELA 6

Kompletność danych w epokach [%] na punktach ASTR i HORN

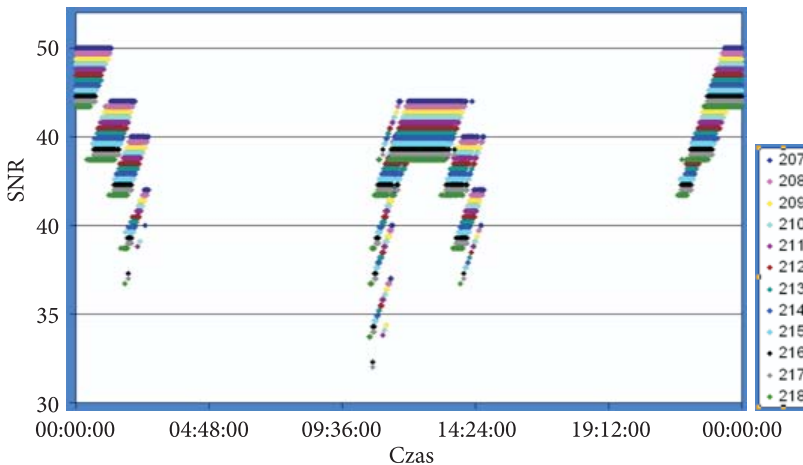
DOY	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218
ASTR	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
HORN	100,0	100,0	99,8	100,0	99,8	63,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,7

Na podstawie wstępnego testu oceny jakości obserwacji zauważono większą liczbę utraconych cykli występujących na punkcie ASTR (tab. 3 oraz rys. 9). Niskie wartości prezentujące kompletność danych w epokach na punkcie HORN (tab. 6) spowodowane są przerwami w obserwacjach w wyniku awarii zasilania. Widoczne są również większe błędy wielodrożności na punkcie ASTR dla częstotliwości L1 (rys. 10 i tab. 4). Natomiast zauważono, że różnica błędów wielodrożności na punktach ASTR i HORN w przypadku częstotliwości L2 jest mniej wyraźna (rys. 11 i tab. 5). Spowodowane jest to mniejszą mocą sygnału na częstotliwości L2, co również wpływa na trudniejszą interpretację wartości MP oraz SNR na tej częstotliwości. Dlatego też w dalszym procesie analizy wykorzystano głównie częstotliwość L1. W celu identyfikacji efektu wielodrożności w funkcji czasu wykorzystano powtarzalność konstelacji satelitów, czyli powtarzalność zaburzeń obserwacji w każdej dobie obserwacyjnej.

Otrzymane wielkości parametru SNR w każdej dobie obserwacyjnej (rys. 12 i 13) wskazują na jego powtarzalność, co może wskazywać na stałe właściwości odbijające otoczenia. Z otrzymanych wyników widać powtarzalność trendów na każdym z punktów (w kolejnych dniach od wartości współczynnika SNR odejmowano kolejno wielokrotność 0,3).

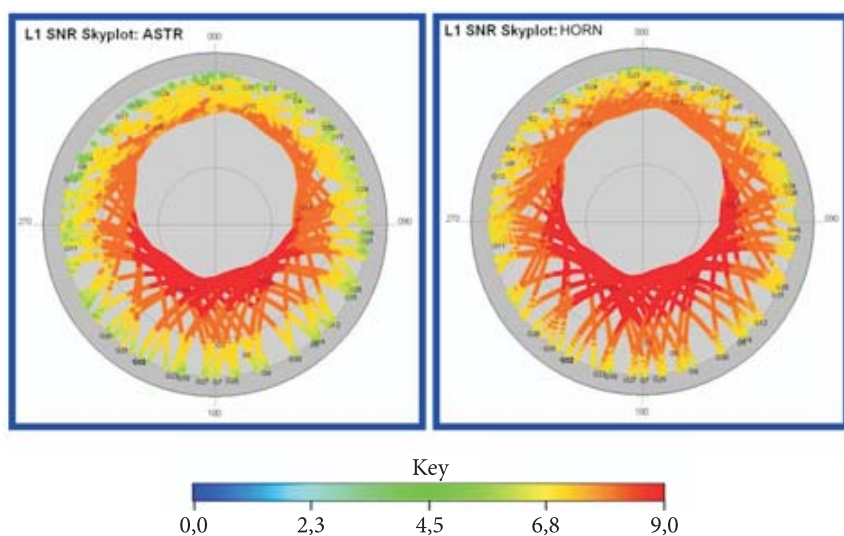


Rys. 12. Zmiany wartości parametru SNR (satelita 22) obserwacji dobowych (DOY 207-218) na punkcie HORN

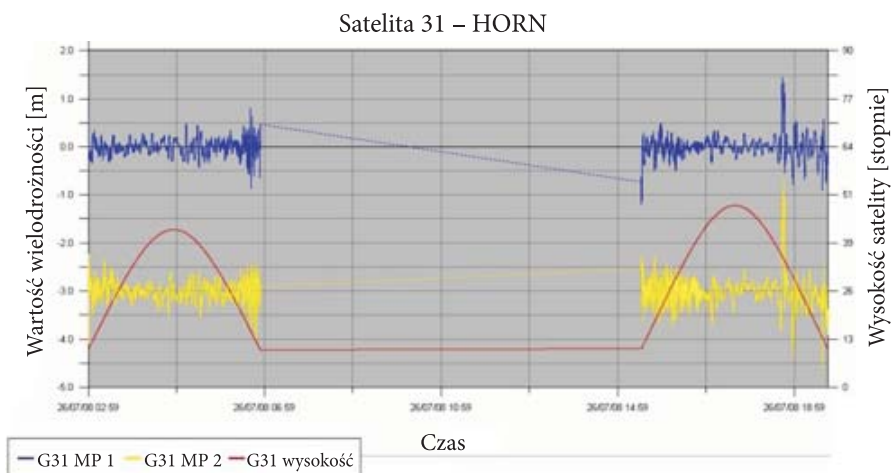


Rys. 13. Zmiany wartości parametru SNR (satelita 22) obserwacji dobowych (DOY 207-218) na punkcie ASTR

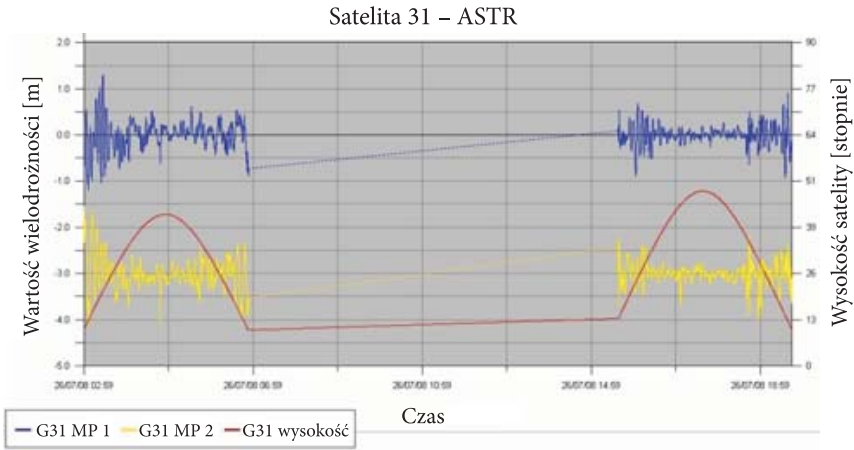
Na podstawie przeprowadzonej analizy widać, że większe zakłócenia sygnału występują na punkcie ASTR, co potwierdza tezę postawioną wcześniej przez autorów. Tym bardziej że na punkcie ASTR ustawiona była antena typu *choke ring*, która pozwala dodatkowo eliminować z obserwacji sygnały odbite.



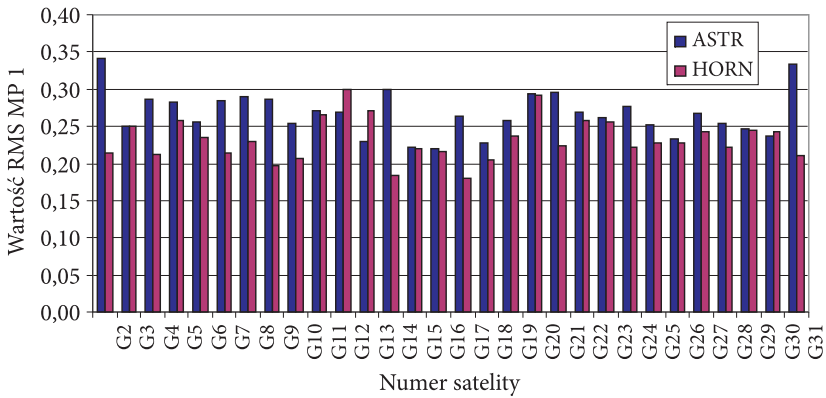
Rys. 14. Wartość współczynnika SNR dla satelitów GPS na punktach ASTR (po lewej) oraz HORN (po prawej) — dla częstotliwości L1



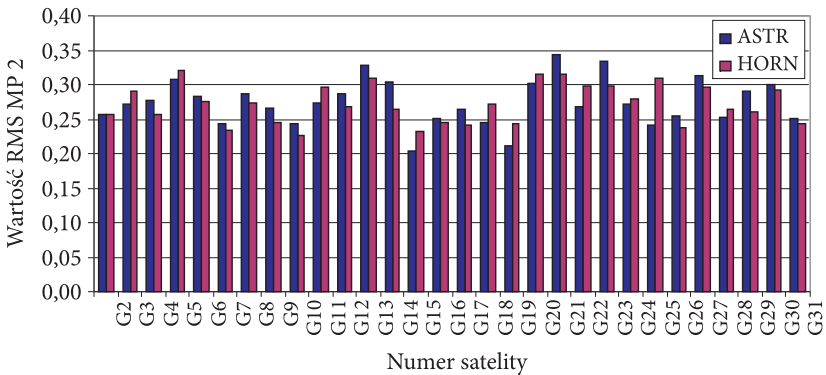
Rys. 15. Wartość wielodrożności na punkcie HORN dla częstotliwości L1, L2 na tle wysokości satelity 31 nad horyzontem



Rys. 16. Wartość wielodrożności na punkcie ASTR dla częstotliwości L1, L2 na tle wysokości satelity 31 nad horyzontem



Rys. 17. Wartości RMS wielodrożności na częstotliwości L1 [m] na stacjach HORN i ASTR



Rys. 18. Wartości RMS wielodrożności na częstotliwości L2 [m] na stacjach HORN i ASTR

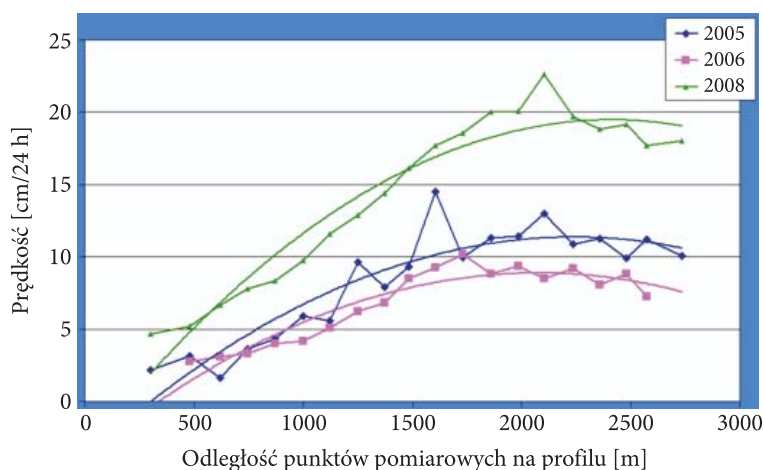
4. Przykładowe wykorzystanie pomiarów satelitarnych na Spitsbergenie

W pobliżu Polskiej Stacji Polarnej znajduje się lodowiec Hans, który został wpisany do Światowej Bazy Monitorowania Lodowców (WGMS — *World Glacier Monitoring Service*). Istotną rolę w kompleksowych badaniach lodowca odgrywa określenie jego powierzchniowej prędkości. Monitorowanie tego zjawiska polega między innymi na wyznaczaniu zmiany pozycji tyczek ablacyjnych zastabilizowanych na lodowcu (rys. 19).

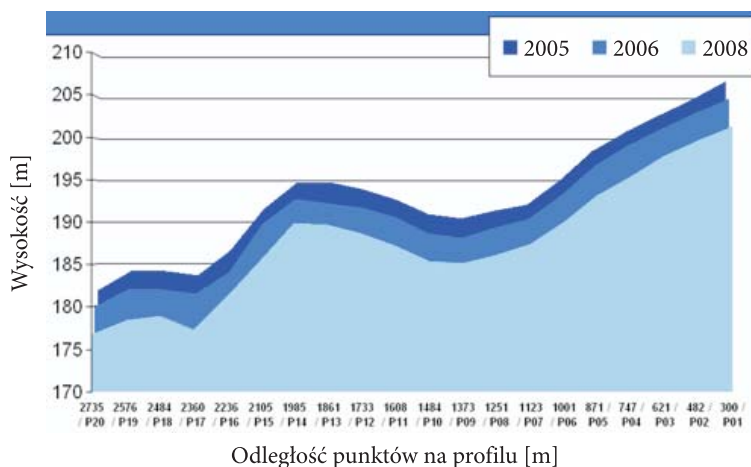


Rys. 19. Punkty pomiarowe na lodowcu HANS — profil podłużny (po lewej) — profil poprzeczny (po prawej)

Wyjściowy pomiar pozycji tyczek z wykorzystaniem technologii satelitarnych wykonali studenci Wydziału Geodezji i Kartografii w 2003 roku. Wtedy to po raz pierwszy udało się zmierzyć pozycje tyczek równomiernie rozmieszczonych na całym lodowcu z centymetrową dokładnością. Od tego momentu pomiary pozycji tyczek włączono do prac badawczych stacji i prowadzone są przez cały rok, co w tych warunkach (temperatura, noc polarna) jest możliwe tylko przy wykorzystaniu technik satelitarnych. Wszystkie pomiary tyczek zastabilizowanych na lodowcu odnoszone są do stacji ASTR. Na poniższych wykresach przedstawione są syntetyczne wyniki pomiarów powierzchniowego ruchu lodowca [2].



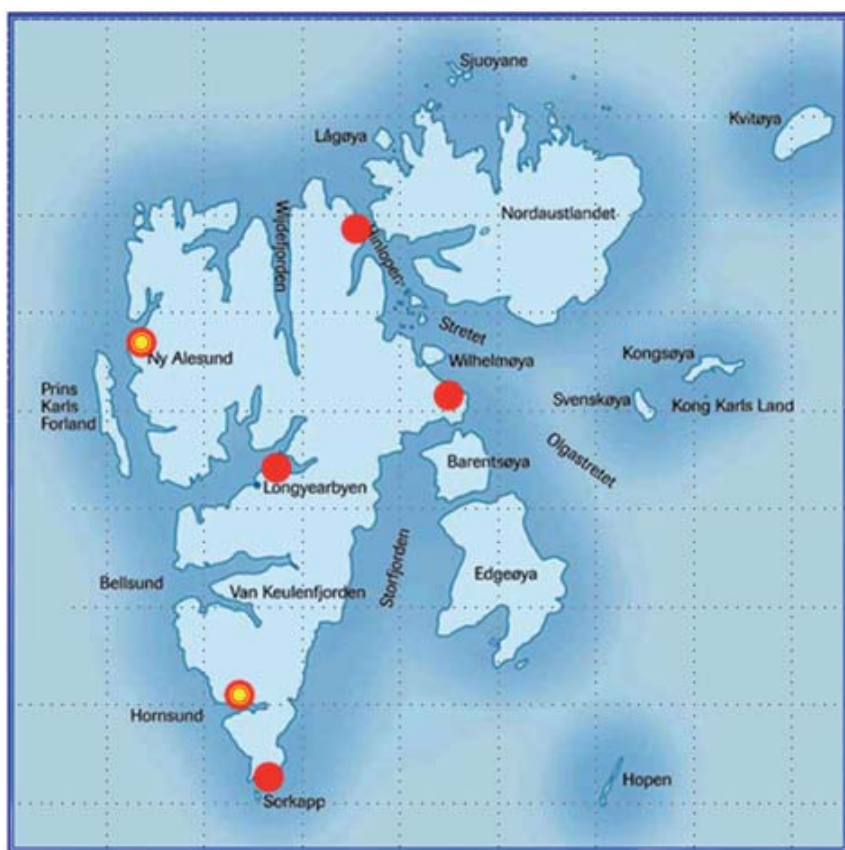
Rys. 20. Prędkości dobowe punktów profilu poprzecznego w latach: 2005 (niebieski), 2006 (różowy) i 2008 (zielony)



Rys. 21. Zmiany wysokości lodowca na profilu poprzecznym w latach 2005, 2006 i 2008

5. Koncepcja systemu stacji referencyjnych na Spitsbergenie

Dla badań geodynamicznych, jak również dla innych prac badawczych prowadzonych na terenie Spitsbergenu (gdzie swoje badania realizują naukowcy różnych dyscyplin naukowych z całego świata) właściwe byłoby założenie sieci stacji referencyjnych (rys. 22) na Spitsbergenie. Proponowana przez autorów koncepcja budowy sieci stacji referencyjnych dookoła Spitsbergenu składa się z sześciu stacji równomiernie rozmieszczonych dookoła wyspy. W proponowanym rozmieszczeniu stacji wzięto



Rys. 22. Koncepcja rozmieszczenia stacji referencyjnych na Spitsbergenie

pod uwagę strukturę tektoniczną Spitsbergenu oraz możliwość stabilizacji punktów na litej skale. Dobór lokalizacji stacji we wschodniej części Spitsbergenu utrudnia brak istniejących placówek, które zapewniłyby stacjom zasilanie oraz możliwość transmisji gromadzonych obserwacji. Prezentowana koncepcja przewiduje tylko trzy stacje, które mogą być stale monitorowane przez ludzi (Ny Alesund, Hornsund, Longyearbyen). Pozostałe stacje muszą się opierać na bezobsługowej pracy odbiorników. W tym przypadku należałoby technicznie rozwiązać problem zasilania i transmisji danych. Jako rozwiązanie problemu zasilania autorzy proponują korzystanie z energii wiatrowej (w przypadku Spitsbergenu noc polarna eliminuje korzystanie z energii słonecznej). Większym problemem bezobsługowej pracy odbiorników jest transmisja danych. Niestety, okolice okołobiegunowe pozbawione są dostępu do Internetu. Tutaj rozwiązaniem może być technologia Internetu satelitarnego lub gromadzenie danych i zbieranie ich ze stacji okresowo. Obecnie jednak technologie, które pozwoliłyby na bezobsługowe funkcjonowanie stacji referencyjnej, są bardzo drogie.

6. Podsumowanie i wnioski

Wyniki pomiarów testowych na punktach ASTR i HORN wskazują na mniejszy efekt zakłócenia sygnału na punkcie HORN. Uruchomienie stacji w nowej lokalizacji poprawiłoby warunki obserwacyjne, a co za tym idzie dokładność, efektywność i niezawodność pomiarów w okolicach Polskiej Stacji Polarnej. Natomiast włączenie nowej stacji permanentnej w tym rejonie do projektu IGS pozwoli na:

- zwiększenie dokładności wyników pomiarów geodezyjnych GPS realizowanych na terenie Spitsbergenu,
- powszechny dostęp do wyników uzyskiwanych z pomiarów prowadzonych przez stację przez ogólnodostępne serwery IGS,
- udział stacji w światowych badaniach środowiskowych (wyznaczenie modelu troposfery, jonosfery) oraz badaniach geodynamicznych (śledzenia, ruchu struktur tektonicznych).

Artykuł wpłynął do redakcji 11.03.2009 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano w maju 2009 r.

LITERATURA

- [1] A. PACHUTA, J. WALO, A. ADAMEK, M. WOŹNIAK, M. RAJNER, K. WĘZKA, D. PRÓCHNIEWICZ, *Scientific expeditions to Svalbard, organized by the Faculty of Geodesy and Cartography, the Warsaw University of Technology (WUT)*, Reports on Geodesy, 1 (82), 2007.
- [2] J. WALO, K. WĘZKA, Z. MALINOWSKI, M. RAJNER, A. ADAMEK, A. PACHUTA, *Monitoring of Hans-glacier movement dynamics (Hornsund, SW Spitsbergen, Svalbard)*, EGU, Wiedeń, 2006.
- [3] M. RAJNER, *Analiza możliwości wykorzystania permanentnej stacji GPS w Hornsundzie w badaniach środowiskowych i geodynamicznych*, praca dyplomowa, Wydział Geodezji i Kartografii PW, Warszawa, 2006.
- [4] J. BUDRYS, *Wpływ interferencji fal wtórnych na dokładność wyznaczenia wektora w pomiarach fazowych GPS*, rozprawa doktorska, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków, 2004.
- [5] EUREF Permanent Network — <http://www.epncb.oma.be/> (2008)
- [6] International Terrestrial Reference Frame — <http://itrf.ensg.ign.fr/> (2008)
- [7] National Geodetic Survey — <http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/>
- [8] University of Bern — <http://www.bernese.unibe.ch/> (2008)
- [9] International GNSS Service — <http://igsb.jpl.nasa.gov/> (2008)
- [10] UNAVCO — <http://facility.unavco.org/software/teqc/tutorial.html> (2008)

K. WĘZKA, M. PAŚNIKOWSKI, J. WALO

A reference station in Hornsund (Spitsbergen) — determination of its location, future development, and usage

Abstract. Determination of a new proper location of the reference station based upon the analysis of the existing point was the main aim of the project which was conducted during the expedition to

Spitsbergen in 2008. The existing reference station in the Hornsud Fjord was activated during the expedition in 2005 by the students and research workers of the Faculty of Geodesy and Cartography. The analysis of the observation gathered during the first period of the station's activity demonstrated significant multipath effect, which appearance occurred high enough to force the change of the location of the reference station. Because of the modernization of the polar station where the reference point is located, the determination of the new location of the antenna had to start after finishing the building works. Therefore during the expedition in 2008, the final location of the reference station, where conditions comply with the requirements, was chosen. Additionally, a series of twelve 24-hour long measurements were conducted, which allowed to determine the position of the new station and to analyze the quality of the GPS signal. This paper presents the comparative analysis of the observation collected in two locations of the station. It also contains the description of the surrounding environment and its influence on the multipath effect. Furthermore, the authors present the possibilities of usage of the reference station in Hornsud and deliver the concept of developing a system of the reference points around Spitsbergen.

Keywords: geodesy and cartography, satellite geodesy, reference station, IGS, multipath effect, SNR, GNSS measurements at high latitudes

Universal Decimal Classification: 528

