

Andrzej Banachowicz¹

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny

Ryszard Bober²

Akademia Morska w Szczecinie

Tomasz Szewczuk³

Akademia Morska w Szczecinie

Adam Wolski⁴

Akademia Morska w Szczecinie

Możliwości wykorzystania GPS/EGNOS w transporcie miejskim⁵

Wstęp

Powszechność komunikacji i transportu miejskiego wywołuje potrzebę jego monitorowania, regulacji i optymalizacji strumieni ruchu. W tym celu wykorzystuje się różnego rodzaju techniki monitorujące, pomiarowe, analizowania ruchu oraz przedsięwzięcia organizacyjne. Jednym z istotnych składników systemów monitoringu i zarządzania ruchem w miastach są satelitarne systemy nawigacyjne ze względu na ich dokładność oraz powszechność ich wykorzystania. Jednakże w obszarach silnie zurbanizowanych dostępność do sygnału satelity nawigacyjnego może być ograniczona. Wywołane jest to ograniczeniem górnej półsfery przez wysokie budynki, wielodrogowość sygnału wywołane odbiciem od przeszkód (budowli) i podłoża [4], a także zakłócenia od innych źródeł promieniowania elektromagnetycznego.

Współcześnie system GPS jest pomocą nawigacyjną o największej dostępności i jest powszechnie wykorzystywany przez użytkowników pojazdów lądowych. System EGNOS jest rozszerzeniem systemów GPS i GLONASS poprawiającym zasadnicze charakterystyki użytkowe: dokładność, dostępność, wiarygodność oraz ciągłości określania pozycji. Dokładność określania pozycji w systemie GPS/EGNOS jest rzędu 3 – 5 m (przy poziomie ufności $P = 95\%$). Na dokładność pozycji wpływa wiele czynników. Dwa z nich, mające podstawowe znaczenie to: konfiguracja widocznych satelitów (ich liczba oraz wzajemne położenie przestrzenne) oraz położenie anteny, które ma wpływ na liczbę śledzonych satelitów i efekt wielodrogowości.

W artykule przedstawiono wyniki badań dokładności i dostępności współrzędnych pozycji określanej z wykorzystaniem system GPS/EGNOS w zabudowie wielkomiejskiej oraz porównano z analogicznymi

¹ dr hab. inż., A. Banachowicz, prof. nadzw. ZUT, Zakład Matematyki Stosowanej, Wydział Informatyki ZUT, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, ul. Żołnierska 49, 71-210 Szczecin, abanachowicz@wi.zut.edu.pl

² mgr inż., R. Bober, Instytut Nawigacji Morskiej, Akademia Morska w Szczecinie, ul. Wały Chrobrego 1-2, 70-500 Szczecin

³ mgr inż., T. Szewczuk, Instytut Nawigacji Morskiej, Akademia Morska w Szczecinie, ul. Wały Chrobrego 1-2, 70-500 Szczecin

⁴ dr hab., A. Wolski, prof. nadzw. AM, Instytut Nawigacji Morskiej, Akademia Morska w Szczecinie, ul. Wały Chrobrego 1-2, 70-500 Szczecin, a.wolski@am.szczecin.pl

⁵ Artykuł recenzowany

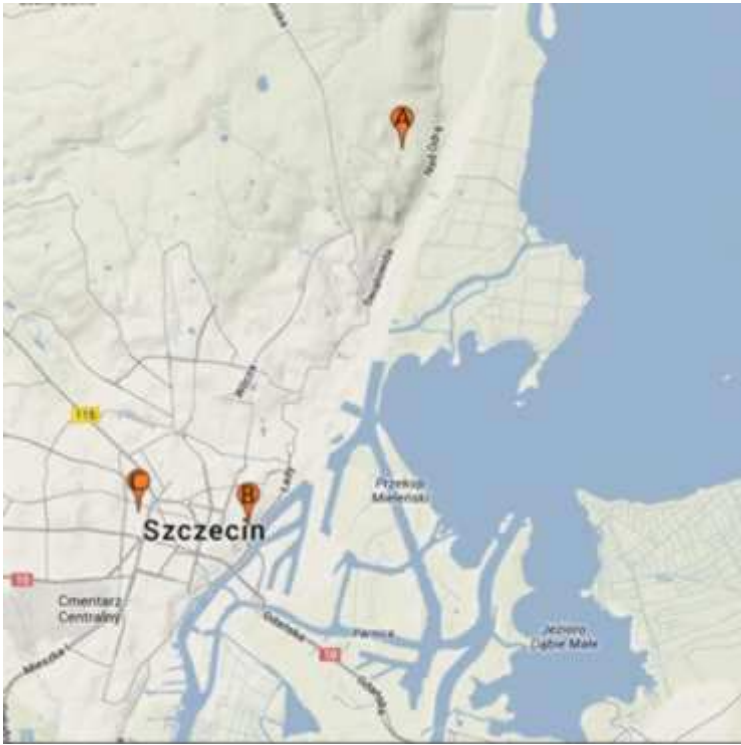
pomiarami w terenie otwartym.

Położenie stanowisk badawczych

Stanowiska pomiarowe zaplanowano tak, żeby różniły się warunkami pomiarowymi i umożliwiały wykonanie analizy porównawczej. Jeden z punktów znajdował się na otwartej przestrzeni, drugi na pomoście na dachu wysokiego budynku, a trzeci na wąskiej ulicy o gęstej i wysokiej zabudowie. Są to następujące punkty na terenie Szczecina:

- punkt pomiarowy *Glinki* (A), położony na terenie otwartym, niezabudowanym o podłożu trawiastym dającym bardzo dobre warunki odbioru sygnałów,
- punkt pomiarowy *AM Szczecin* (B), usytuowany na pomoście antenowym na wysokości około 35 m (powyżej dachów okolicznych budynków). Górna półsfera była całkowicie odsłonięta, jednak występowała możliwość powstawania odbić od sąsiadujących dachów oraz cieni radiowych od anten systemów telekomunikacyjnych w odległości 2 – 4 m,
- punkt pomiarowy *ul. Bolesława Śmiałego* (C), położony na wąskiej ulicy o zabudowie ciągłej budynkami o wysokości około 25 m. Antenę umieszczono na dachu samochodu (ok. 2 m nad poziomem jezdni): górną półsferę w znacznym stopniu ograniczały budynki, występowała również możliwość wielodrogowości sygnału.

Wybrane punkty pomiarowe są charakterystyczne dla warunków, w jakich najczęściej wykonywane są pomiary za pomocą odbiorników GPS/EGNOS w warunkach miejskich. Punkt pomiarowy Glinki stanowi bardzo dobre miejsce pomiarów – charakterystyczne dla pomiarów polowych, punkt pomiarowy AM Szczecin odpowiada warunkom w jakich wykonywane są pomiary na stacjach monitorujących i instytucjach publicznych (geodezja, policja, zarządzający flota pojazdów), natomiast punkt pomiarowy ul. Bolesława Śmiałego stanowi typowe miejsce dla pomiarów wykonywanych w ruchu miejskim. Lokalizację tych stanowisk w terenie przedstawia szkic sytuacyjny (rys.1).



Rys.1. Lokalizacja punktów pomiarowych w Szczecinie: A – Glinki, B – Akademia Morska Szczecin, C – ul. Bolesława Śmiałego.

Założenia pomiarowe

Dokładność określania pozycji za pomocą systemu GPS/EGNOS analizowano w zależności od miejsca i warunków wykonywania pomiarów. Wykonano równoległe pomiary za pomocą trzech jednakowych odbiorników MiniMAX firmy CSI. Użycie do badań odbiorników tego samego typu oraz z tym samym oprogramowaniem, miało na celu wyeliminowanie ewentualnych błędów wynikających z zastosowania przyrządów pomiarowych różnych typów. Do ich obsługi wykorzystano oprogramowanie PocketMax_PC_Ver.2.0. pozwalające na wybór rejestrowanych danych z odbiorników MiniMAX za pomocą komputerów klasy PC. Przeprowadzono trzy sesje pomiarowe.

Wszystkie serie pomiarowe wykonywane były z jednakową częstotliwością 1 Hz. Podczas każdej sesji pomiarowej dokonano rejestracji następujących parametrów:

- GPGGA – moment, szerokość i długość geograficzna, wysokość, HDOP, liczba śledzonych satelitów, wiek poprawki,
- GPGGL - szerokość i długość geograficzna, moment, status,
- GPGSA – tryb pozycji (2D/3D), (M/A), PDOP (ogólny współczynnik geometryczny systemu), HDOP (horyzontalny współczynnik geometryczny systemu), VDOP (wertykalny współczynnik geometryczny systemu) [3].

Wyniki badań i ich analiza

Zarejestrowane podczas sesji pomiarowych wyniki poddano opracowaniu wstępnemu i statystycznemu [2]. Wszystkie serie pomiarowe w każdym z punktów opracowano w identyczny sposób, określając następujące parametry:

- średnią szerokości geograficznej (φ),
- średnią długości geograficznej (λ),
- średnią wysokości anteny (H),
- promień błędu kołowego (M) (P = 95%),
- parametry elipsy błędów (a, b, α) (P = 95%).

Wyniki przedstawiono w tabeli 1:

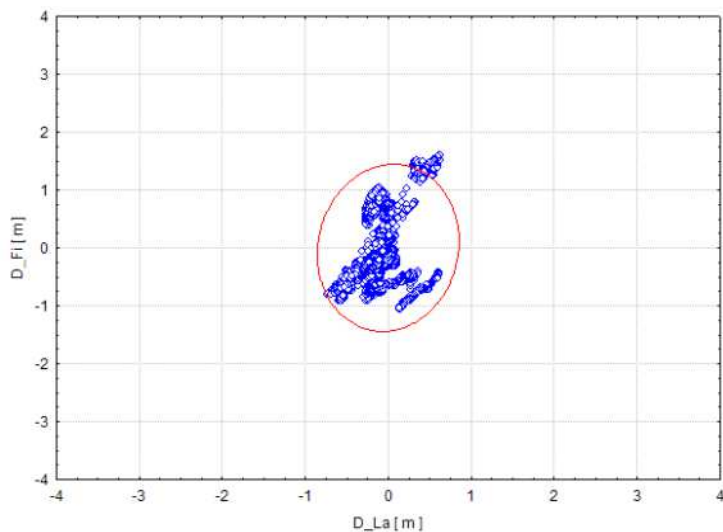
Tab. 1. Zestawienie wyników pomiarów sesji w trzech punktach pomiarowych

	Glinki (A)	Akademia Morska (B)	ul. B. Śmiałego (C)
Sesja I			
φ [stop., min., sek.]	53° 30' 16,66"	53° 25' 44,93"	53° 25' 59,74"
λ [stop., min., sek.]	014° 36' 14,86"	014° 33' 49,19"	014° 32' 13,51"
H [m]	81,86	44,95	44,29
M (95%) [m]	2,57	1,12	33,26
a [m]	1,4797	0,5394	18,8955
b [m]	0,1343	0,3650	3,5119
α [°]	22,2	16,7	31,3
Sesja II			
φ [stop., min., sek.]	53° 30' 16,60"	53° 25' 44,93"	53° 26' 00,18"
λ [stop., min., sek.]	014° 36' 14,81"	014° 33' 49,15"	014° 32' 13,97"
H [m]	82,54	44,88	8,32
M (95%) [m]	1,16	0,72	58,72
a [m]	0,6161	0,3730	33,8441
b [m]	0,2772	0,1873	2,3976
α [°]	11,6	60,3	19,7
Sesja III			
φ [stop., min., sek.]	53° 30' 16,60"	53° 25' 44,87"	53° 25' 59,86"
λ [stop., min., sek.]	014° 36' 14,81"	014° 33' 49,15"	014° 32' 13,76"
H [m]	82,30	44,87	24,91
M (95%) [m]	1,16	1,45	33,37
a [m]	0,5911	0,7625	18,8818
b [m]	0,3469	0,3592	3,9111
α [°]	4,3	33,4	20,5

Źródło: opracowanie własne

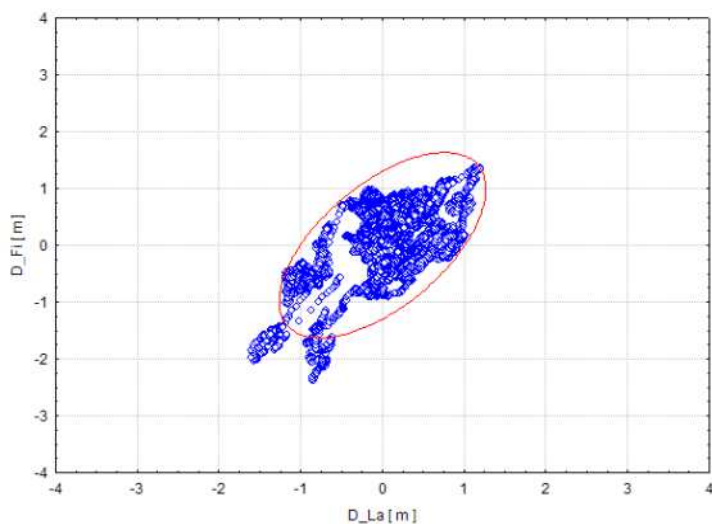
Na rys. 2, 3, 4 przedstawiono rozrzut serii pomiarowych w płaszczyźnie horyzontu (płaszczyźnie lokalnie stycznej do punktu pomiarowego). Największe skupienie obserwujemy na rysunku 2 ilustrującym pomiary w punkcie Glinki (sesja III). Błąd kołowy (P = 95%) wyniósł M = 1,16 m, półosie elipsy błędów (P = 95%): a = 0,5911 m, b = 0,3469 m. Mała różnica pomiędzy półosiami elipsy błędów świadczy o słabej korelacji pomiarów szerokości i długości geograficznej. Pomiary zostały wykonane w dobrych warunkach terenowych,

tj. bez przysłaniania górnej półsfery, stąd wynika ich duża dokładność i stabilność (brak błędów nadmiarowych).



Rys.2. Wartości rozrzutów pozycji w punkcie pomiarowym Glinki (sesja III).

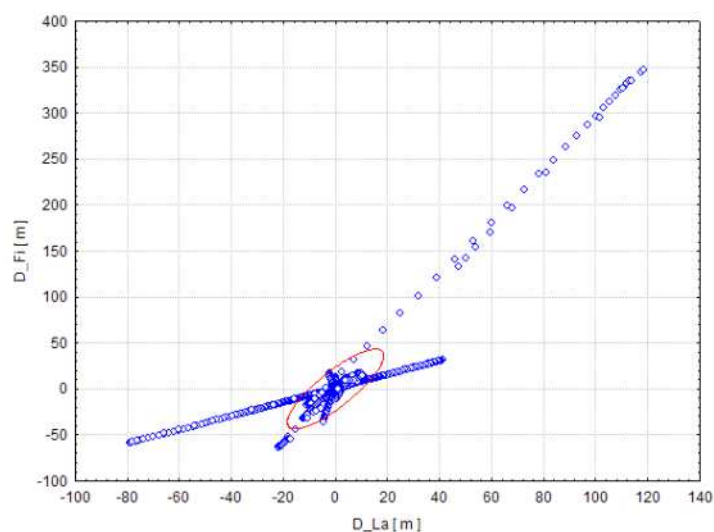
Kolejny rysunek (rys. 3) przedstawia rozrzut pozycji w punkcie pomiarowym na pomoście antenowym Akademii Morskiej (na dachu budynku). W tym przypadku pomiary również są stosunkowo dokładne (błąd kołowy wyniósł $M = 1,45$ m, półosie elipsy błędów: $a = 0,7625$ m, $b = 0,3592$ m). Charakteryzują się również dużą stabilnością. Pomiary są jednak bardziej skorelowane niż w przypadku serii w punkcie Glinki.



Rys. 3. Wartości rozrzutów pozycji w punkcie pomiarowym Akademia Morska (sesja III).

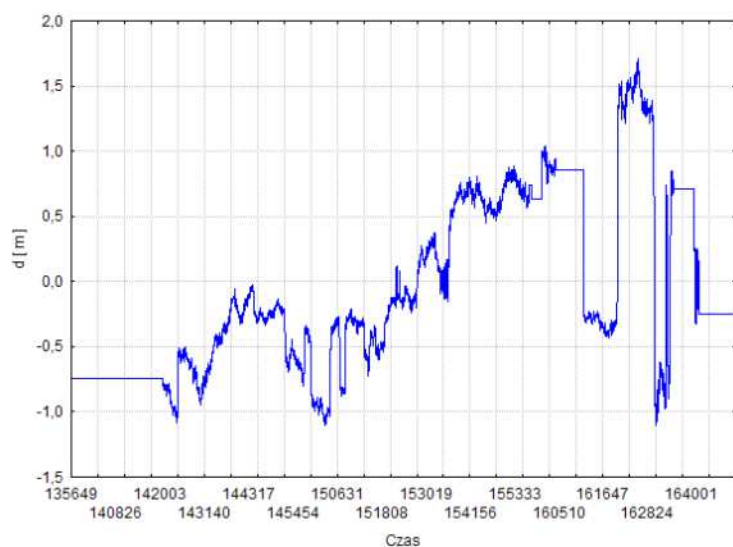
Pomiary wykonane na ulicy Bolesława Śmiałego (rys. 4) charakteryzują się niską stabilnością (widoczne są na rysunku charakterystyczne ślady „wleczenie” pozycji), będącą skutkiem wielodrogowości sygnału oraz zmianami horyzontalnego współczynnika geometrycznego systemu. W efekcie, powoduje to, że parametry

dokładnościowe pozycji są około 30 razy gorsze, niż w dobrych warunkach pomiarowych (błąd kołowy wyniósł $M = 33,37$ m, półosie elipsy błędów: $a = 18,8818$ m, $b = 3,9111$ m).



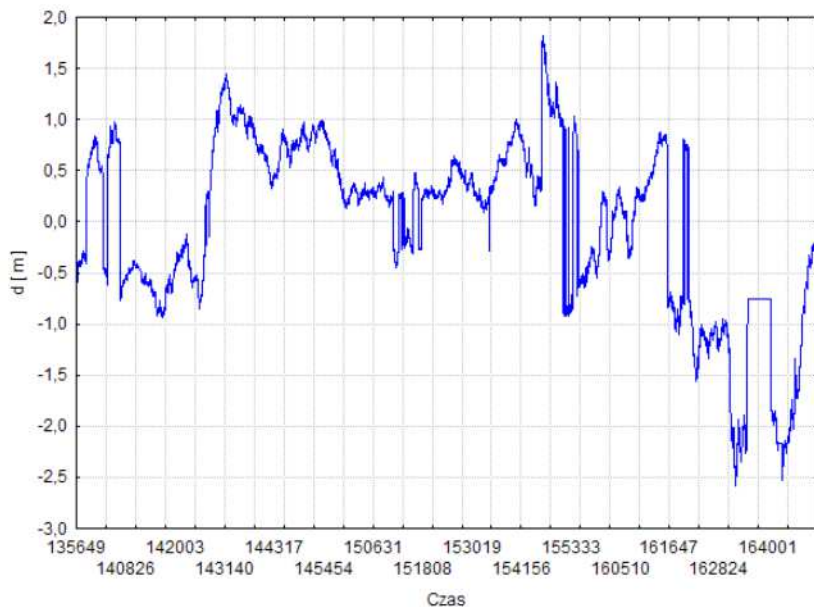
Rys. 4. Wartości rozrzutów pozycji w punkcie pomiarowym ul. Bolesława Śmiałego (sesja III).

Na kolejnych rysunkach (rys. 5, 6, 7) przedstawiono zmienność odchylenia chwilowej szerokości geograficznej od wartości średniej w serii. Rysunek 5 ilustruje sytuację w punkcie Glinki. Widzimy, że wahania są niewielkie, w przedziale od $-1,0$ m do $1,5$ m.



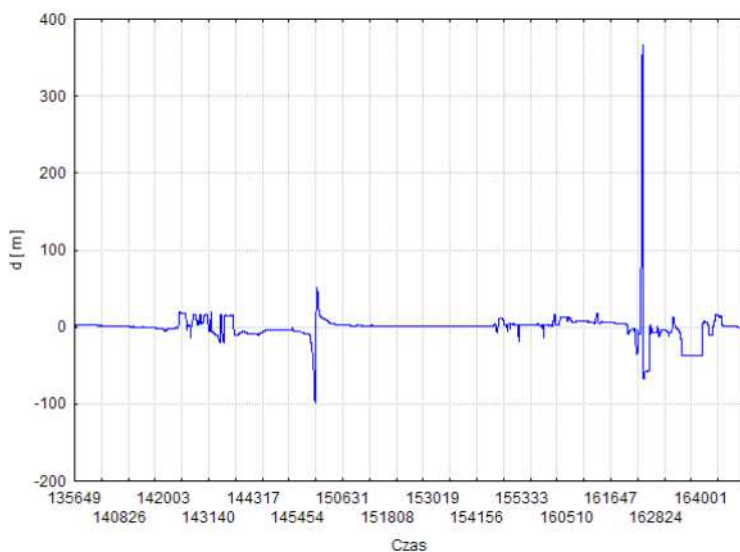
Rys. 5. Wartości odchylenie chwilowej szerokości geograficznej od średniej w punkcie pomiarowym Glinki (sesja III).

W przypadku punktu Akademia Morska (rys. 6) wahania są trochę większe i zawierają się w przedziale od $-2,5$ m do $1,8$ m. W obu wypadkach nie występują odskoki pozycji, w postaci „pików”.



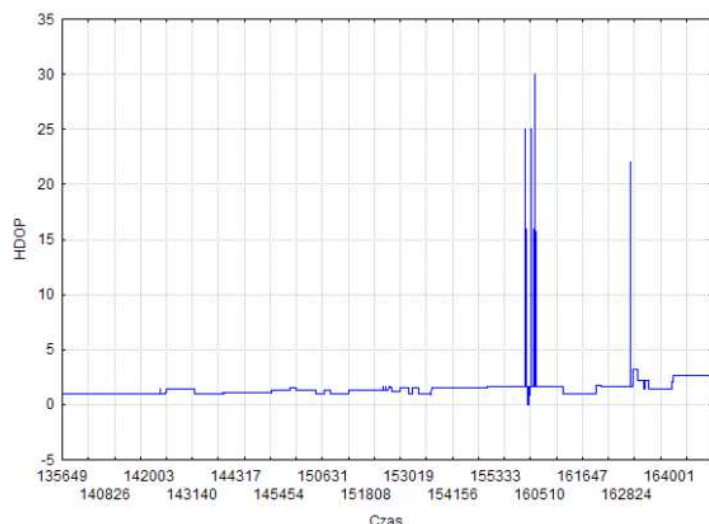
Rys. 6. Wartości odchylenie chwilowej szerokości geograficznej od średniej w punkcie pomiarowym Akademia Morska (sesja III).

Inaczej przedstawia się sytuacja na rysunku 7, ilustrującym pomiary w warunkach wielkomiejskich. Pojawiają się wyraźne odskoki szerokości geograficznej (i pozycji) w postaci „pików” kilkuset metrowych.



Rys. 7. Wartości odchylenie chwilowej szerokości geograficznej od średniej w punkcie pomiarowym ul. Bolesława Śmiałego (sesja III).

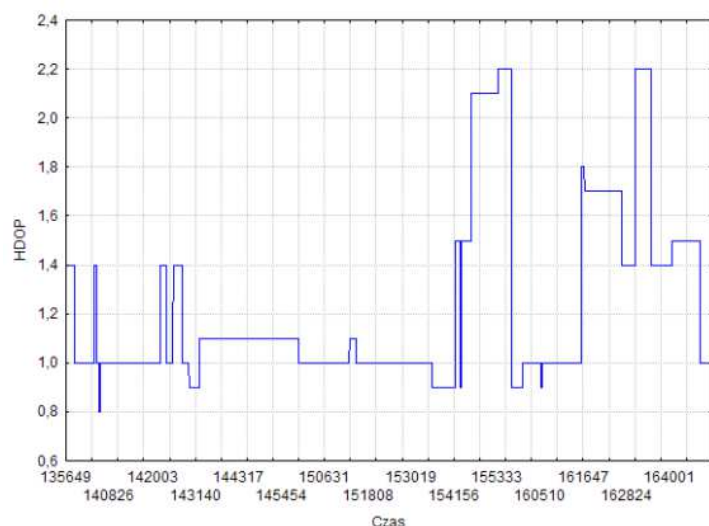
Jak już wcześniej wspomniano, dokładność pozycji zależy od konfiguracji satelitów, którą charakteryzujemy tzw. współczynnikiem geometrycznym systemu. W tym przypadku chodzi o dokładność pozycji na powierzchni Ziemi, co wiąże się z horyzontalnym współczynnikiem geometrycznym (HDOP). Rysunki 8, 9, 10 zobrazowują zmienność tego współczynnikiem na poszczególnych punktach pomiarowych .



Rys. 8. Wartości współczynnika HDOP dla punktu pomiarowego Glinki (sesja III).

Pomiary w punkcie Glinki charakteryzują się małym HDOP (rys. 8), rzędu $1 \div 3$, oprócz sporadycznych wartości do 30. Przyczyną mogą być chwilowe zakłócenia sygnału lub zbyt mała liczba satelitów uwzględnionych do obliczeń pozycji.

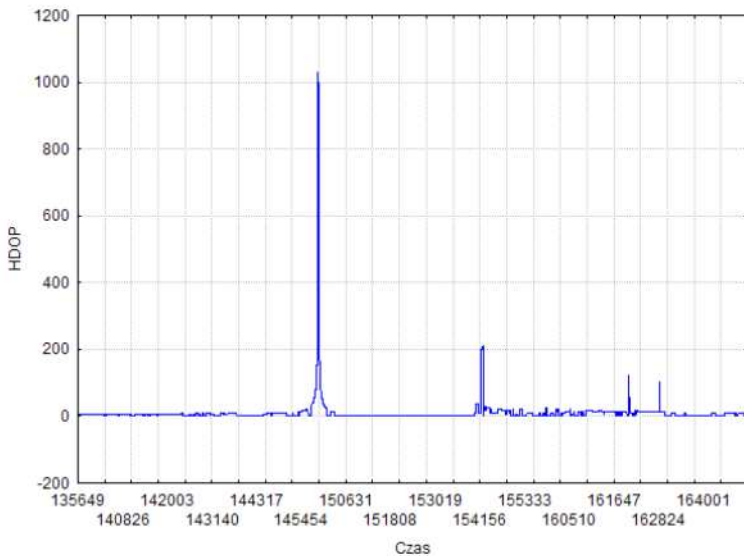
Podobna sytuacja wystąpiła w punkcie Akademia Morska (rys. 9). HDOP zawiera się w przedziale $0,8 \div 2,2$, co świadczy o stabilnym odbiorze sygnału nawigacyjnego oraz dobrej dostępności dużej liczby satelitów.



Rys. 9. Wartości współczynnika HDOP dla punktu pomiarowego Akademia Morska (sesja pomiarowa III).

Natomiast radykalnie inaczej przedstawia się sytuacja w punkcie pomiarowym ul. Bolesława Śmiałego (rys. 10). Ze względu na skalę rysunku trudno określić HDOP podczas poprawnego odbioru sygnału (był on rzędu kilku jednostek). Widzimy tutaj wyraźne bardzo duże wartości tego współczynnika w przypadku

zakłóceń sygnału. Występowały wówczas wartości horyzontalnego współczynnika geometrycznego systemu od 100 do 1000, co uniemożliwia określenie poprawnej pozycji w odpowiadającym im przedziałach czasu.



Rys. 10. Wartości współczynnika HDOP dla punktu pomiarowego ul. Bolesława Śmiałego (sesja III).

Zakończenie

Przedstawione powyżej wyniki badań dokładności i dostępności systemu GPS/EGNOS pokazują, że praktycznie nie może być on stosowany jako jedyny system monitorowania pojazdów w warunkach miejskich w sposób ciągły. Ze względu na występowanie cienia radiowego w “kanionach” ulicznych oraz wielokrotnych odbić sygnału od budynków wymaga uzupełnienia o system wspomagający w przerwach dostępności poprawnego sygnału. Może być to system inercjalny montowany na pojazdach lub też sieć lokalnych pseudolitów, których sygnał jest odbierany przez odbiorniki GPS.

Analiza porównawcza wykazała, że w punktach o podobnych warunkach odbioru, wolnych od sygnałów wielodrogowych i ograniczeń górnej półsfery (Glinki, AM Szczecin) odchylenia od pozycji średniej są do siebie zbliżone i nie przekraczają 2,5 m. Są to wyniki podobne do uzyskiwane na torze wodnym lub otwartym akwenie [1]. Natomiast na obszarze mocno zabudowanym (punkt ul. Bolesława Śmiałego) wartości maksymalnych odchyłeń osiągają nawet 380 m. Oceniając współczynnik HDOP można stwierdzić, że w warunkach miejskich (punkt ul. Bolesława Śmiałego) uzyskuje on, w niewielkich przedziałach czasowych, bardzo duże wartości dochodzące do 1000, co powodowało znaczące spadki dokładności pozycji.

Przeprowadzone badania wykazały, że dokładność pozycji za pomocą systemu GPS/EGNOS zależy od miejsca ustawienia anteny, które decyduje o liczbie obserwowanych satelitów. Jeżeli antena odbiornika widziała całą górną półsferę (Glinki, Akademia Morska) to dokładność określania pozycji wynosiła $M = 0,72 - 2,57$ m. Natomiast gdy odbiornik był ustawiony na obszarze silnie zurbanizowanym, o zabudowie ciągłej (ul. Bolesława Śmiałego), to dokładność pozycji była zdecydowanie gorsza ($M = 33,26 - 58,72$ m). Podczas

badań zaobserwowano krótkotrwałe i znaczne wahania współczynnika HDOP, które trudno uzasadnić wyłącznie zmianami w konfiguracji satelitów. Zaobserwowano również długotrwałe zaniki sygnałów z satelitów EGNOS w czasie rejestracji pomiarów na punktach pomiarowych.

Streszczenie

Współczesne techniki nawigacyjne można z powodzeniem wykorzystywać w transporcie miejskim. Jednakże istotnym problemem jest, oprócz dokładności określania współrzędnych, dostępność sygnałów nawigacyjnych w warunkach wysokiej i gęstej zabudowy miejskiej. W prezentowanym artykule przedstawiono wyniki badań dokładności, dostępności i wiarygodności określania pozycji wyznaczonej za pomocą systemu GPS/EGNOS na terenie silnie zurbanizowanym o zabudowie ciągłej i porównano je z wynikami otrzymanymi dla pozycji na terenie otwartym, wolnym od zakłóceń.

Applicability of GPS/EGNOS in city transport

Abstract

Safety in city transport of goods much depends on the choice of route and monitoring of heavy vehicles in urban areas. When a passage route has been selected. The transport firm must have control over driver's performance. This article presents results of research into the accuracy of position determination by the GPS/EGNOS system in highly urbanized area with continuous building lines. The results are compared to those obtained in open field areas.

Literatura

- [1] Banachowicz A., Bober R., Banachowicz G., Wolski A., 2005, *Spatial Accuracy of GPS/DGPS Position in a Fairway*, Reports on Geodesy No. 2 (73), Warsaw 2005.
- [2] Banachowicz A., Bober R., Banachowicz G.: *Zmienność czasowa charakterystyk statystycznych pomiarów GPS*. Sympozjum „Problemy eksploatacyjne systemu GPS”. Akademia Morska. Gdynia 3-4 czerwca 2004.
- [3] Banachowicz A., Wolski A.: *Uogólnienie współczynników geometrycznych systemu nawigacyjnego*. Prace Wydziału Nawigacyjnego. Zeszyt 15, część I. Akademia Morska, Gdynia 2004.
- [4] Rao B.R.K., Sarma A.D., Kumar Y.R.: *Technique to reduce Multipath GPS Signals*. Current Science, Vol. 90, No 2, 25 January 2006.