

Andrzej Miszkiewicz  
Wydział Transportu Politechniki Warszawskiej

## **ANALIZA DOKŁADNOŚCI WYZNACZENIA POZYCJI PRZEZ WYBRANE ODBIORNIKI GPS W FUNKCJI LICZBY ŚLEDZONYCH SATELITÓW**

**Streszczenie:** W referacie przedstawiono i przeanalizowano wartości współczynników rozmycia pozycji geograficznej wyliczonych przez wybrane odbiorniki systemu GPS oparte na trzech różnych chipsetach. Potwierdzono wpływ liczby satelitów uwzględnianych przez odbiorniki w obliczeniach współrzędnych geograficznych.

**Słowa kluczowe:** System GPS, lokalizacja w transporcie, dokładność wyznaczenia pozycji

### **1. WSTĘP**

Pod koniec pierwszej dekady XXI wieku we wszystkich gałęziach transportu lokalizacja obiektów ma istotne znaczenie zarówno ze względów bezpieczeństwa uczestników ruchu, jak i z przyczyn ekonomicznych. Potrzeba znajomości położenia statków powietrznych w trójwymiarowej przestrzeni czy morskich w przestrzeni dwuwymiarowej istnieje od początku funkcjonowania gałęzi transportu, w których są one wykorzystywane. Nowym trendem, obserwowanym od kilkunastu lat, jest zainteresowanie wyznaczaniem dokładnej pozycji ruchomego użytkownika w transporcie powierzchniowym. Zwłaszcza od początku XXI wieku, kiedy wyłączono celowe zakłócanie sygnału systemu GPS, dało się zaobserwować gwałtowny wzrost zainteresowania wykorzystaniem odbiorników tego systemu do dokładnej lokalizacji środków transportu w transporcie drogowym. I to zarówno jeśli chodzi o transport publiczny, jak i indywidualny.

Prywatni użytkownicy sieci drogowej coraz częściej wykazują zainteresowanie narzędziami do nawigacji, pozwalającymi na skrócenie czasu podróży między dwoma punktami albo zoptymalizowanie trasy między większą ich liczbą. Korzystanie z takich narzędzi pociąga za sobą wymierne korzyści związane ze zmniejszeniem zużycia paliwa i skróceniem czasu podróży. Realizacja tych zadań wymaga jednak nieprzerwanej znajomości aktualnej pozycji danego użytkownika. Taka wiedza jest szczególnie istotna z punktu widzenia dostawcy usług transportowych. Z jednej bowiem strony pozwala na odpowiednie zarządzanie posiadaną flotą, a z drugiej umożliwia jej ciągły nadzór i monitorowanie. W przypadku komunikacji publicznej pozwala też na dostosowywanie

rozkładów jazdy do sytuacji na drodze w określonych warunkach, a przy wykorzystaniu dodatkowych systemów także zapewnienie odpowiedniej informacji dla pasażerów.

Istnieje wiele rozwiązań zapewniających uzyskanie informacji o aktualnej pozycji poruszającego się środka transportu, jednak najpowszechniej obecnie spotykanym jest wykorzystanie nawigacyjnych systemów satelitarnych, w szczególności systemu GPS.

## 2. DOKŁADNOŚĆ POZYCJI W SYSTEMIE GPS

W systemie GPS do wyznaczania pozycji odbiornika wykorzystywane są sygnały emitowane przez satelity umieszczone na orbitach średnich MEO (*Medium Earth Orbit*) odległych od powierzchni Ziemi o 23183 km. Na podstawie czasu propagacji sygnału od danego satelity wyznaczana jest wielkość zwana pseudoodległością. Do wyznaczenia pozycji dwuwymiarowej niezbędny jest pomiar sygnałów od co najmniej 3 satelitów, natomiast wyznaczenie pozycji w przestrzeni wymaga pomiaru sygnału od co najmniej jeszcze jednego satelity.

W systemie GPS dokładność wyznaczonej pozycji określana jest na podstawie aktualnej konfiguracji geometrycznej satelitów widzianych z miejsca pomiaru i błędu pomiaru pseudoodległości. Dokładność pozycji określa zależność (1):

$$M_n^x = \text{DOP} \cdot \text{błąd pomiaru pseudoodległości}, \quad (1)$$

gdzie:  $x$  – stopień prawdopodobieństwa wyrażony w procentach,

$n$  – wymiar pozycji,

DOP (*Dilution of Precision*) – bezwymiarowy współczynnik rozmycia pozycji.

Z punktu widzenia transportu powierzchniowego interesujący jest współczynnik horyzontalny rozmycia pozycji - HDOP (*Horizontal Dilution of Precision*), pozwalający oszacować dokładność wyznaczonej pozycji w dwóch wymiarach. Wartość tego współczynnika określana jest za pomocą zależności (2):

$$\text{HDOP} = \frac{1}{\sigma_\rho} \sqrt{\sigma_\varphi^2 + \sigma_\lambda^2} \quad (2)$$

gdzie:  $\sigma_\rho$  - wariancja odległości dzielącej odbiornik od satelity,

$\sigma_\varphi$  - wariancja szerokości geograficznej,

$\sigma_\lambda$  - wariancja długości geograficznej.

W uzasadnionych przypadkach (np. na wielopoziomowych węzłach drogowych) istotna może się okazać jeszcze znajomość wysokości położenia odbiornika. Dokładność oszacowania pozycji w przestrzeni trójwymiarowej reprezentuje współczynnik PDOP (*Position Dilution of Precision*), wyznaczany zgodnie z zależnością (3):

$$PDOP = \frac{1}{\sigma_\rho} \sqrt{\sigma_\varphi^2 + \sigma_\lambda^2 + \sigma_h^2} \quad (3)$$

gdzie oprócz składowych wykorzystywanych we wzorze (2), pojawia się jeszcze czynnik związany z wysokością, a dokładniej - wariancja wysokości nad poziomem morza  $\sigma_h$ . Oprócz wyżej wymienionych, w systemie GPS wykorzystuje się jeszcze kilka innych współczynników oszacowania określonego parametru (np. wysokości, czasu). Zależności matematyczne między poszczególnymi współczynnikami można znaleźć np. w [1, 4]

Jak wcześniej wspomniano, wartości wymienionych współczynników są uzależnione od układu geometrycznego odbiornik – satelity uwzględnione przy wyznaczaniu pozycji. Literatura podaje [4], że w celu minimalizacji wartości współczynnika HDOP satelity wykorzystane przy wyznaczaniu pozycji powinny znajdować się na zerowej wysokości topocentrycznej i być rozmieszczone na wierzchołkach wielokąta foremnego wpisanego w okrąg, którego środkiem jest odbiornik systemu GPS. Oznacza to, że w przypadku 3-ech uwzględnianych satelitów optymalne ich rozmieszczenie względem odbiornika występuje co 120 stopni, przy 4-rech co 90°, przy 5-ciu co 72° itd. Minimalne teoretyczne wartości współczynników w funkcji liczby satelitów prezentuje tabela 1.

Tablica 1.

**Minimalne wartości współczynników geometrycznych w funkcji liczby satelitów [4]**

Liczba satelitów	HDOP	PDOP
3	1,155	1,155
4	1	1
5	0,894	0,894

W praktyce, ze względu na występowanie efektu troposferycznego, nie jest wskazane wykorzystywanie do wyznaczania pozycji satelitów o zerowej wysokości topocentrycznej i w systemie GPS zalecana jest minimalna wysokość uwzględnianych satelitów  $h_t=10^\circ$ . Na podstawie danych zamieszczonych w tablicy 1, można zauważyć, że wartość współczynnika HDOP maleje wraz ze wzrostem liczby satelitów uwzględnionych w pomiarze.

Wartości tych współczynników są wyliczane przez odbiornik i podawane w sekwencjach protokołu NMEA – ogólnej informacji o widocznych satelitach (\$GPGSA), a HDOP także w linii (\$GPGGA) zawierającej ogólne informacje o ustalonej pozycji. Przyjęta metodologia działania pozwala na poznanie wartości tego współczynnika dla każdego z odbiorników oraz poznanie wybranych parametrów satelitów śledzonych przez odbiornik.

### 3. ANALIZA DANYCH

Do analizy zostały wybrane 3 stosunkowo proste i tanie urządzenia pracujące w oparciu o 3 różne układy odbiorcze (chipsety), w których użytkownik nie ma wpływu na sposób doboru satelitów do wyznaczenia pozycji. Głównym kryterium doboru tych

odbiorników była podawana przez producentów liczba torów odbiorczych, a więc maksymalna możliwa liczba śledzonych satelitów. Wszystkie z wymienionych odbiorników przeznaczone są do akwizycji sygnałów satelitarnych i dalszego przesyłania przetworzonych danych do urządzeń odpowiadających za ich interpretację, a więc wyposażonych w odpowiednie mapy. Jako medium transmisyjne służy interfejs Bluetooth, za pomocą którego dane przesyłane są zgodnie ze standardem NMEA-183. Parametry odbiorników prezentuje tabela 2.

Tablica 2.

### Charakterystyka badanych odbiorników GPS

Odbiornik systemu GPS	Ebontek egps 397	Pentagram Pathfinder P3106	Rikaline 6033
Chipset odbiorczy	Nemerix	MTK (MT3301+MT3179)	RFMD 8900
Liczba kanałów	16	51	32
Czułość	-152 ~ -157 dBm	- 158 dBm	- 157 dBm
Odbierane częstotliwości	L1 (1575,42 MHz)	L1 (1575,42 MHz)	L1 (1575,42 MHz)
Zimny start [ s ]	60	36	30
Ciepły start [ s ]	38	33	30
Odnawianie pozycji [s]	Co 1	Co 1	Co 1
Układ odniesienia	b.d	WGS-84	WGS-84
Wysokość [m]	< 18 000	< 18 000	< 18 000
Prędkość [m/s]	< 515	< 515	< 515
Dokładność prędkości [m/s]	0,1	0,1	0,1
Przyspieszenie	< 4G	< 4G	<1G
Obsługiwane sekwencje standardu NMEA	GGA, RMC, GSA, GSV, VTG	GGA, GSA, GSV, RMC	GGA, GSA, GSV, RMC, VTG, GLL
SBAS	Nie	EGNOS, WAAS	nie
Antena zewnętrzna	Nie	nie	tak

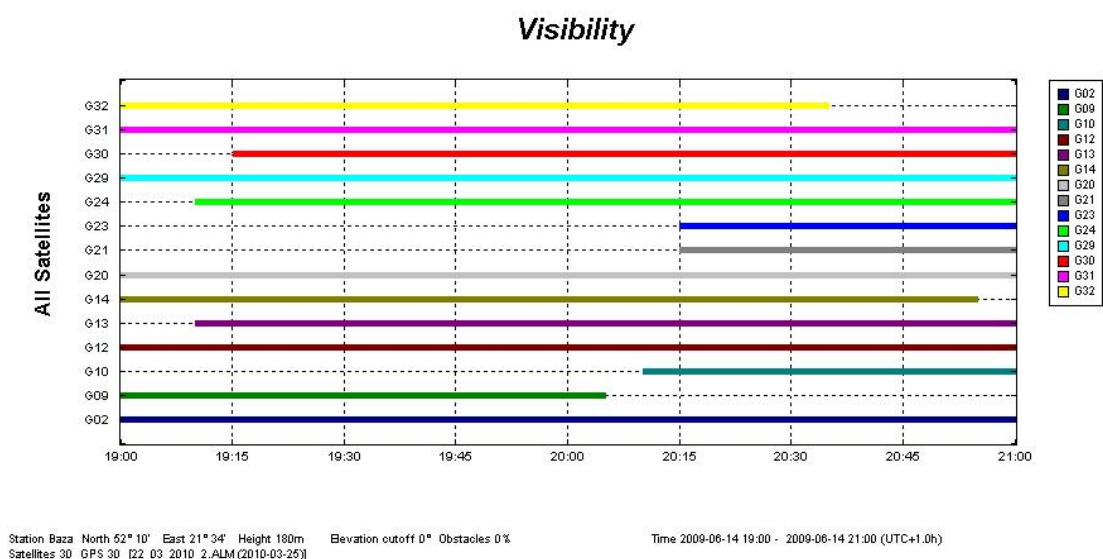
### 3.1. Metodologia pomiarów

Odbiorniki zostały umieszczone w terenie o niskiej zabudowie na wysokości około 8 m. nad poziomem gruntu w ten sposób, że od w kierunku zachodnim, północnym i południowym, nie występowały żadne widoczne przeszkody terenowe mogące stanowić źródła zakłóceń propagacji sygnałów. Natomiast w kierunku wschodnim znajdowała się przeszkoda o wysokości ok. 5 m w stosunku do poziomu odbiornika. Odległość między poszczególnymi urządzeniami nie przekraczała kilku centymetrów, więc z punktu widzenia potrzeb transportu drogowego można przyjąć, że znajdowały się one w tym samym miejscu. Pozwala to także stwierdzić, że pomiary wszystkich odbiorników odbywały się w identycznych warunkach. Dane z odbiorników w postaci sekwencji protokołu NMEA-183 transmitowane były do komputera PC co 1 sekundę z wykorzystaniem interfejsu bezprzewodowego Bluetooth i aplikacji BlueSoleil służącej do zarządzania urządzeniami współpracującymi z komputerem poprzez ten interfejs. Dodatkowo wykorzystany został program narzędziowy ComTest umożliwiający

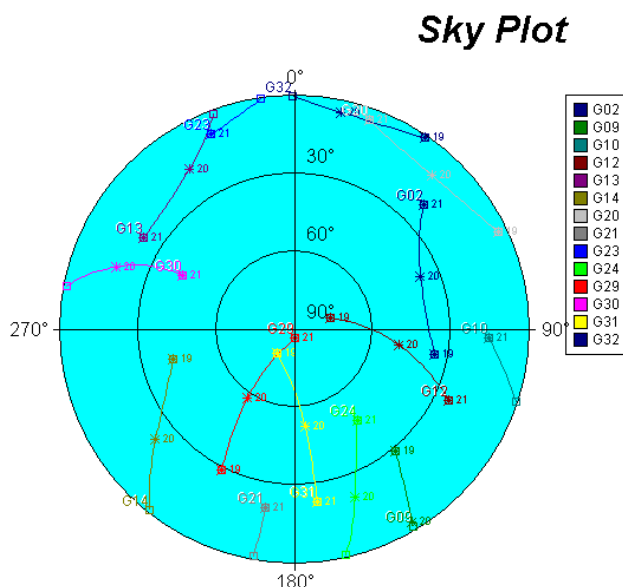
obsługę portów COM komputera z systemem operacyjnym WindowsXP i zapis danych z tych portów do pliku tekstowego.

Pomiary wykonywano przez trzy kolejne dni (16 – 18 czerwca 2009 r) o tej samej porze w seriach trwających ok. 1 godziny. Uwzględniono jednak fakt powtarzania się konstelacji satelitów w określonym miejscu co 23 godziny i 56 minut, więc każda kolejna seria rozpoczynana była ok. 5 minut wcześniej niż poprzednia. Uznano bowiem, że pozwoli to oszacować wpływ samego odbiornika na dokładność wykonywanego przez niego pomiaru.

Widzialność satelitów w miejscu i czasie pomiaru prezentuje rysunek 1, natomiast na rysunku 2 przedstawiono i ich położenie względem odbiorników.



Rys. 1. Widzialność satelitów w czasie pomiarów (Trimble Office)



Rys. 2. Trasy przelotu satelitów w momencie pomiarów ((Trimble Office))

### 3.2. Prezentacja wyników

W tabeli 3 zamieszczono przykładowy pomiar uzyskany przez poszczególne odbiorniki, z tym że dane uporządkowano względem numerów PRN satelitów, a nie tak, jak otrzymano je w sekwencji GSV standardu NMEA. Każdy z producentów stosuje bowiem inne kryteria kolejności zapisu satelitów w tej sekwencji. Dla każdego odbiornika numery PRN satelitów uwzględnionych przy wyznaczaniu pozycji wyróżniono czcionką pogrubioną, natomiast gwiazdką oznaczono satelity wspólne dla wszystkich trzech odbiorników.

Tablica 3.

**Przykładowy uporządkowany zestaw danych o satelitach uzyskany dla 3 badanych odbiorników (14.06.2009 r. 18:30:00 UTC)**

	Ebontek						Pentagram						Rikaline					
	PRN	Wart.	PRN	Wart.	PRN	Wart.	PRN	Wart.	PRN	Wart.	PRN	Wart.	PRN	Wart.	PRN	Wart.		
Wysokość [°].	2	43	9	23	12	73	2	43	4	27	9	23	1	72	2	43	4	28
Azymut [°]		95		162		90		95		52		162		289		95		52
SNR [dB]		brak		brak		brak		23		brak		21		51		31		brak
Wysokość [°].	14 <sup>8</sup>	25	24	7	29 <sup>8</sup>	34	12	73	14 <sup>8</sup>	25	24	6	12	76	14 <sup>8</sup>	26	29 <sup>8</sup>	34
Azymut [°]		262		174		226		90		262		174		90		262		226
SNR [dB]		40		brak		42		22		39		18		30		45		42
Wysokość [°].	30 <sup>8</sup>	69	31 <sup>8</sup>	20	27		27	10	29 <sup>8</sup>	34	30 <sup>8</sup>	70	30 <sup>8</sup>	72	31 <sup>8</sup>	21		
Azymut [°]		288		314				158		226		288		288		314		
SNR [dB]		40		32				brak		43		47		49		42		
Wysokość [°].	X		X		31 <sup>8</sup>		31 <sup>8</sup>	21	44	17	X		X		X		X	
Azymut [°]								314		129								
SNR [dB]								45										
HDOP	5,5						1,2						5,5					

Można zauważyć, że wszystkie odbiorniki przy wyznaczaniu pozycji wykorzystywały sygnały od satelitów PRN – 14, 29, 30 i 31, charakteryzujące się najwyższymi wartościami stosunku mocy sygnału do szumu (SNR). Korzystając z oprogramowania Trimble Plannig stwierdzono, że satelity te były bezpośrednio widoczne dla odbiorników (azymut od ok. 160° do ok. 20°). Dzięki wspomnianemu pakietowi stwierdzono też, że odbiornik Pentagram wykorzystywał w obliczeniach satelity, które nie były bezpośrednio widoczne (PRN 2, 9, 24). Warto też zwrócić uwagę, że odbiornik Rikaline śledzi sygnał z satelity PRN 1, charakteryzujący się najwyższą wartością SNR, a mimo to nie uwzględnia go w obliczeniach. Wyjaśnienie tego faktu stanowi status satelity w okresie przeprowadzenia pomiarów („unknown”).

W niniejszym referacie skupiono się na analizie zmian wartości współczynnika HDOP w poszczególnych odbiornikach w zależności od liczby satelitów, pominięto natomiast analizę układu geometrycznego satelitów i kryteria doboru satelitów do wyznaczania pozycji przez poszczególne odbiorniki, uznając że wymaga to osobnego opracowania.

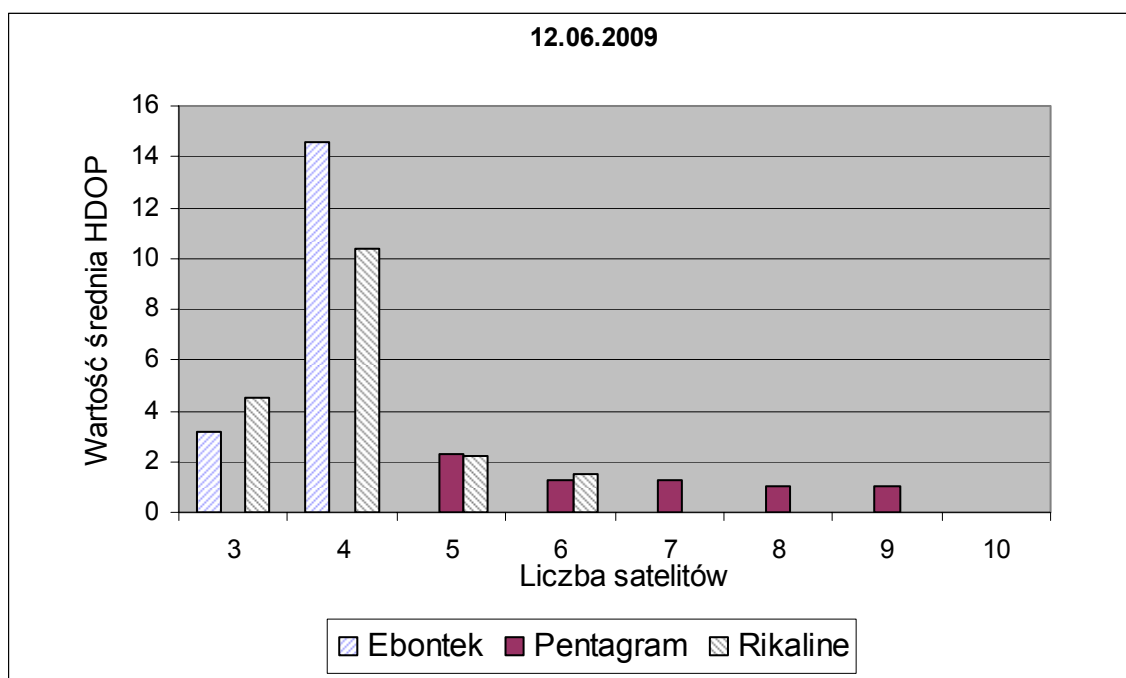
Wartości współczynników rozmycia pozycji horyzontalnej wyliczonych przez poszczególne odbiorniki uśrednione względem liczby satelitów uwzględnianych przy wyznaczeniu pozycji podaje tablica 3

Tablica 3.

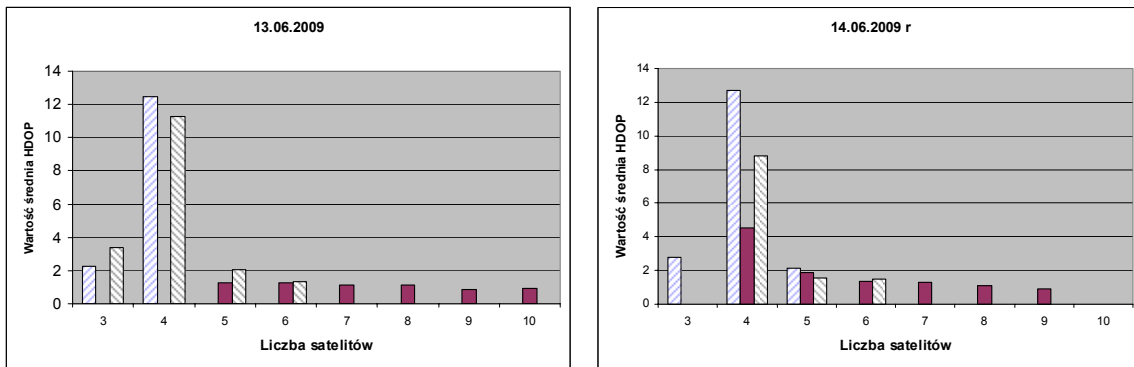
Wartości średnie współczynnika HDOP w funkcji liczby uwzględnianych satelitów

Liczba satelitów	12.06.2009r			13.06.2009r			14.06.2009r		
	Ebon.	Pent.	Rkln.	Ebon.	Pent.	Rkln.	Ebon.	Pent.	Rkln.
3	3,14	-	4,53	2,25	-	3,36	2,8	-	-
4	14,55	-	10,40	12,5	-	11,30	12,7	4,56	8,82
5	-	2,26	2,19	-	1,67	2,07	2,12	1,86	1,55
6	-	1,23	1,50	-	1,25	1,30	-	1,35	1,48
7	-	1,23	-	-	1,13	-	-	1,29	-
8	-	1,02	-	-	1,10	-	-	1,11	-
9	-	1,05	-	-	0,88	-	-	0,93	-
10	-	-	-	-	0,92	-	-	-	-

W tablicy 4 zamieszczono odpowiadające powyższym danym wartości odchylenia standardowego, natomiast ilustrację graficzną danych z tablicy 3 przedstawiono na rysunkach 3 i 4. Można zauważyć, że odbiornik Ebontek do wyznaczania pozycji wykorzystuje maksymalnie 5 satelitów, przy czym taki fakt ma miejsce jedynie w ostatniej serii pomiarowej. W dwóch pierwszych seriach pozycja ustalana była na podstawie sygnałów z 3 lub 4 satelitów. Natomiast pozostałe dwa odbiorniki wykorzystują dane z 4 -10 satelitów (Pentagram) i od 3 do 6 (Rikaline).



Rys. 3. Średnie wartości współczynnika HDOP dla badanych odbiorników z dnia 12.06.2009



Rys. 4. Średnie wartości współczynnika HDOP dla dwóch kolejnych serii pomiarowych z dni 13.06.2009 i 14.06.2009

Tablica 4.

### Wartości odchylenia standardowego dla wartości HDOP

Liczba satelitów	12.06.2009r			13.06.2009r			14.06.2009r		
	Ebon.	Pent.	Rkln.	Ebon.	Pent.	Rkln.	Ebon.	Pent.	Rkln.
3	0,264	-	1,733	0,071	-	0,202	-	-	-
4	17,358	-	9,669	13,964	-	12,823	15,465	0,048	9,322
5	-	2,536	1,949	-	0,084	2,069	0,085	0,911	0,134
6	-	0,199	0,000	-	0,199	0,132	-	0,307	0,094
7	-	0,168	-	-	0,173	-	-	0,273	-
8	-	0,119	-	-	0,119	-	-	0,107	-
9	-	0,111	-	-	0,125	-	-	0,096	-
10	-	-	-	-	0,085	-	-	-	-

### 3.3. Interpretacja uzyskanych danych

Uzyskane wyniki potwierdzają duże znaczenie liczby satelitów uwzględnianych przez odbiornik przy wyznaczaniu pozycji oraz wzrost dokładności wyznaczenia pozycji wraz ze wzrostem liczby satelitów wybieranych do obliczeń. Wyjątek stanowią wartości współczynników HDOP dla odbiorników Ebontek i Rikaline dla 3 i 4 satelitów. We wszystkich trzech seriach pomiarowych uzyskano niższe wartości tego współczynnika dla mniejszej liczby satelitów, co jest sprzeczne z intuicją i teorią. Wyjaśnienie tego faktu mogą stanowić dane zgromadzone w tablicy 4, gdzie przedstawiono wartości odchylenia standardowego dla poszczególnych pomiarów. Jak widać, przy czterech satelitach uwzględnianych w obliczeniach występują bardzo duże wahania wartości współczynników HDOP wyliczanych przez wspomniane odbiorniki. Zakres zmienności tych wartości prezentuje tablica 5.

Można przyjąć, że do celów nawigacji wartość współczynnika HDOP nie powinna być większa od 5. Uwzględniając zależność określającą błąd wyznaczenia pozycji w płaszczyźnie horyzontalnej z prawdopodobieństwem 95% [1]:

$$M_{\varphi, \lambda}^{95\%} = 2 \cdot HDOP \cdot \sigma_{\rho} \quad (4)$$



można stwierdzić, że przy średnich wartościach współczynnika HDOP  $> 10$ , błąd ten będzie wynosić nie mniej niż 20 m, a dodatkowo będzie powiększony o błąd pomiaru pseudoodległości. Taka dokładność wyznaczenia pozycji z punktu widzenia potrzeb ruchu drogowego może się okazać niewystarczająca.

Tablica 5.

**Zakres zmienności wartości współczynnika HDOP wybranych odbiorników dla czterech satelitów uwzględnianych w obliczeniach**

	Ebontek		Rikaline	
	HDOP <sub>min</sub>	HDOP <sub>max</sub>	HDOP <sub>min</sub>	HDOP <sub>max</sub>
12.02.2009r	4,3	83,5	0 (2,75)	50 (49,75)
13.02.2009r	1,8	96,9	0 (1,75)	50 (47,5)
14.02.2009r	4,30	89,0	0 (2,25)	50 (48)

Jak pokazuje tabela 5, w przeprowadzonych pomiarach zaistniały zdarzenia, gdzie maksymalne wartości współczynników HDOP uzyskane dla dwóch z trzech badanych odbiorników powodowały błąd wyznaczenia pozycji większy od 100 m, co dla wielu zastosowań w transporcie powierzchniowym jest wielkością nieakceptowalną. Natomiast trzeci z badanych odbiorników (Pentagram) tylko raz (pomiar z 14.06.2009r) do wyznaczenia pozycji wykorzystywał sygnały z mniej niż 5 satelitów, a wyliczany przez niego współczynnik HDOP ani razu nie przekroczył wartości 5. Można zatem wysnuć wniosek, że nawet przy ograniczonej widzialności satelitów będzie on spełniał swoje funkcje nawigacyjne. Wartości uzyskane dla dwóch pozostałych odbiorników takiego wniosku wyciągnąć nie pozwalają.

Zauważalny jest wyraźny spadek zarówno wartości współczynnika rozmycia pozycji geograficznej, jak i rozbieżności poszczególnych pomiarów od wartości średniej przy wzroście liczby satelitów wykorzystywanych do wyznaczenia pozycji powyżej 5. Zauważyć należy, że przy liczbie satelitów  $\geq 5$ , współczynniki HDOP wyznaczone przez wszystkie trzy badane odbiorniki są mniejsze niż 3, co można interpretować jako bardzo dobrą geometrię układów odbiornik – satelity. Tym niemniej porównując uzyskane wyniki z tablicą 1, można stwierdzić, że uzyskane wartości znacząco odbiegają od rozważań teoretycznych.

Dobór satelitów do wyznaczenia pozycji częściowo został wymuszony przez przyjętą metodologię pomiarów, która powodowała, że akwizycja sygnałów od satelitów znajdujących się w zakresie azymutu od ok.  $20^\circ$  do ok.  $160^\circ$  była utrudniona. Dzięki temu udało się natomiast potwierdzić znaczenie czułości odbiornika, jako jego kluczowego parametru. Analiza zebranych danych pozwala bowiem stwierdzić, że dla odbiornika o największej czułości (Pentagram) brak bezpośredniej widzialności satelitów nie wykluczała ich uwzględniania przy wyznaczaniu pozycji. Natomiast odbiornik o najmniejszej wartości tego parametru w zdecydowanej większości przypadków do rozwiązania zadania lokalizacyjnego wykorzystywał satelity bezpośrednio widoczne (azymut ok.  $160^\circ - 20^\circ$ ), co zmniejszało szanse ich optymalnego ułożenia geometrycznego.

Nie należy oczywiście zapominać, że na błąd wyznaczenia pozycji wpływa też błąd pomiaru pseudoodległości wprowadzany przez sam odbiornik (wzór 1). Przyjęta metodologia działania nie pozwala na wyznaczenie jego wartości liczbowej, jednak

zebrane dane i poczynione obserwacje pozwalają stwierdzić, że najmniejszy błąd wprowadzany przez odbiornik będzie odwrotnie proporcjonalny do liczby uwzględnianych w pomiarze satelitów oraz wartości odchylenia standardowego dla przeprowadzonych serii pomiarowych.

#### 4. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów i analizy uzyskanych danych, można jednoznacznie stwierdzić, że mimo zbliżonych wartości większości parametrów badanych odbiorników zaprezentowanych w tabeli 1, dokładność wyznaczonej przez nie pozycji (której miernikiem jest wartość współczynnika HDOP) różni się. Decydujące znaczenie ma w tym wypadku zastosowany w urządzeniu chipset odbiorczy. Analiza uzyskanych danych pozwala wysnuć wniosek, że najważniejszym kryterium uwzględnianym przy doborze satelitów do wyznaczenia pozycji jest stosunek wartości sygnał/szum (SNR), a więc to czułość odbiornika będzie wpływać w największym stopniu na to, które z nich zostaną wybrane. A ten parametr jest ściśle związany z wykorzystywanym w urządzeniu chipsetem odbiorczym i torem antenowym.

Przeprowadzone obserwacje potwierdziły, że uwzględnienie przy wyznaczaniu pozycji przez odbiornik liczby satelitów  $\geq 5$  minimalizuje wartość współczynnika rozmycia pozycji w stopniu wystarczającym dla celów nawigacji. Najmniejsze wartości tego współczynnika i najmniejszy ich rozrzut uzyskano dla odbiornika Pentagram przy 9 i 10 satelitach wykorzystywanych w obliczeniach lokalizacyjnych. Zaobserwowano też, że liczba satelitów uwzględnianych przez odbiornik w obliczeniach jest skorelowana z liczbą jego torów odbiorczych, choć w zrealizowanych seriach pomiarowych żaden z odbiorników nie śledził więcej niż 12 satelitów, więc teoretycznie każdy z odbiorników powinien mierzyć sygnały od tych samych satelitów. Uzyskane dane jednak tego nie potwierdziły, więc wartość tego parametru należy traktować z rezerwą.

#### Bibliografia

1. Januszewski J.: Systemy satelitarne GPS, Galileo i inne. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2006.
2. Kaplan E., Hegarty C.: Understanding GPS. Principles and applications, Second Edition, Norwood, Artech House 2006.
3. Misra P., Enge P. : Global Positioning System, Signals, Measurements and Performance, Second Edition, Ganga-Jamuna Press, 2006.
4. Specht C.: System GPS. Wydawnictwo Bernardinum, Pelpin 2007.

#### ANALYSIS OF THE POSITIONING ACCURACY OF CHOSEN GPS RECEIVERS IN THE FUNCTION OF THE NUMBER OF SATELLITES TRACKED

**Abstract:** In the paper there are presented and analyzed values of rates of dilution of precision of geographical position counted by chosen GPS receivers based on three differential chipsets. An influence of the number of satellites taken into account by the receiver at setting geographic coordinates was confirmed.

**Keywords:** GPS, Positioning in Transport, Accuracy of position