

REALIZACJA UKŁADU DO POMIARU WPŁYWU POZIOMU ZURBANIZOWANIA TERENU NA JAKOŚĆ WYZNACZANIA POZYCJI W SYSTEMIE GPS

Antoni BIELAWSKI¹, Agnieszka LAZAROWSKA²

1. Kongsberg Maritime CM Sp. z o.o.
tel.: +48 609-085-392 e-mail: antoni.bielawski@km.kongsberg.com
2. Katedra Automatyki Okrętowej, Uniwersytet Morski w Gdyni
tel.: +48 58-558-64-33 e-mail: a.lazarowska@we.umg.edu.pl

Streszczenie: W artykule zaprezentowano projekt układu do rejestrowania położenia bezwzględne z wykorzystaniem systemu GPS, który umożliwił przeprowadzenie badań nad wpływem poziomu zurbanizowania terenu na jakość wyznaczania pozycji. W tym celu dokonano rejestracji położenia w dwóch miejscach, w terenie zurbanizowanym oraz w dwóch w terenie niezurbanizowanym. Następnie dokonano analizy wyników w oparciu o parametr HDOP (ang. *Horizontal Dilution Of Precision* – współczynnik geometrycznej dokładności w płaszczyźnie poziomej) oraz liczbę widocznych satelitów.

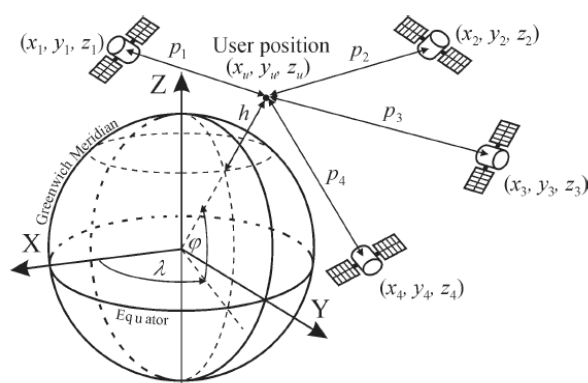
Słowa kluczowe: nawigacja, GPS, jakość wyznaczania pozycji, HDOP.

1. SYSTEM GPS

Obecnie powszechnie używany system GPS w początkowym okresie nazywał się Navstar GPS. Pierwsze prace nad jego opracowaniem przez Departament Obrony Stanów Zjednoczonych datowane są na rok 1973. Główna zasada działania tego systemu polega na pomiarze czasu dotarcia sygnału radiowego od satelitów do odbiornika. Znając prędkość rozchodzenia się fali elektromagnetycznej oraz dokładny czas nadania informacji, można obliczyć dokładną odległość odbiornika od satelity. Minimalna liczba satelitów potrzebna do prawidłowego funkcjonowania systemu to 24. Satelity zostały tak rozmieszczone, aby utworzyły sześć orbit kołowych, oznaczonych literami A, B, C, D, E, F, wzdłuż równika co 60° , co pozwala uzyskać widoczność co najmniej pięciu satelitów w dowolnym punkcie na kuli ziemskiej [1].

Wyznaczanie pozycji odbiornika w systemie GPS odbywa się w układzie współrzędnych kartezjańskich oznaczanych niekiedy jako WGS-84, którego początek zlokalizowano w centrum Ziemi. Oś Z układu WGS-84 przebiega wzdłuż osi obrotu Ziemi, natomiast osie X i Y pokrywają się z płaszczyzną równika. Na rysunku 1 pokazano konfigurację czterech satelitów potrzebnych do wyznaczenia pozycji użytkownika *user position* oraz przedstawiono trzy wartości, które są wypadkową wyznaczonej pozycji:

- φ – szerokość geograficzna (wschód-zachód);
- λ – długość geograficzna (północ-południe);
- h – wysokość nad poziomem morza.



Rys. 1. Idea działania systemu GPS i wyznaczania pozycji odbiornika [2] gdzie: *Greenwich Meridian* – południk zerowy; *Equator* – równik; *User position* – pozycja użytkownika

2. PROTOKÓŁ NMEA

Protokołem komunikacyjnym w systemach GPS jest protokół NMEA opublikowany przez National Marine Electronics Association. Aktualną wersję tego protokołu opublikowaną w listopadzie 2008 roku oznaczono symbolem v4.1. Przykładowa wiadomość sformatowana w standardzie NMEA wygląda następująco [3]:

```
$GPGLL,4916.45,N,12311.12,W,225444,A,*31
```

Opis zawartości wiadomości w standardzie NMEA przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Zawartość wiadomości NMEA [3]

Fragment pola	Opis
\$	znak początkowy wiadomości NMEA
GP	określenie typu urządzenia, od którego pochodzi wiadomość (GP oznacza GPS)
GLL	identyfikator wiadomości (ID)
Inf_1,...,Inf_N	rozdzielone przecinkami pola informacji wiadomości
*	separator sumy kontrolnej
CS	suma kontrolna – jest to suma XOR wszystkich bajtów pomiędzy „\$” a „*” zapisana w kodzie szesnastkowym
<CR><LF>	znaki kończące wiadomość NMEA

W tabeli 2 przedstawiono typy (rodzaje) wiadomości najczęściej używane przez odbiorniki GPS.

Tabela 2. Opis najczęstszych typów (rodzajów) wiadomości dla GPS-ów (ID) [4]

ID wiadomości	Opis wiadomości
GGA	wyznaczone w odbiorniku dane nawigacyjne (fixed GPS data)
GLL	położenie geograficzne odbiornika – szerokość, długość geograficzna
GSA	współczynniki „rozmycia” dokładności DOP i numery PRN satelitów użytych w rozwiązaniu nawigacyjnym

2.1. Wiadomość GGA

Statystycznie najczęściej odbiorniki GPS wysyłają wiadomość GGA. Jako jedyna z prezentowanych w tabeli 2 zawiera rozwiązanie trójwymiarowe pozycji odbiornika (φ – szerokość geograficzna, λ – długość geograficzna, h – wysokość nad średnim poziomem morza). Zawartość przykładowej wiadomości GGA opisano w tabeli 3.

Tabela 3. Zawartość wiadomości GGA [4]

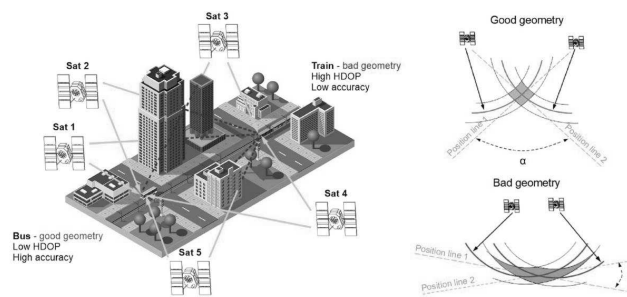
Nazwa pola	Przykład
ID wiadomości	\$GPGGA
czas UTC	102855.087 (hhmmss.sss, gdzie: hh – godziny, mm – minuty, ss – sekundy)
szerokość geograficzna	5625.2078 (ddmm.mmmm, gdzie: dd – stopnie, mm – minuty)
wskaźnik półkuli N/S	N (gdzie: N – północna, S – południowa)
długość geograficzna	02456.3786 (dddmm.mmmm, gdzie: ddd – stopnie, mm – minuty)
wskaźnik półkuli E/W	E (gdzie: E – wschodnia, W – zachodnia)
wskaźnik rodzaju rozwiązania nawigacyjnego	1 (gdzie: 0 – rozwiązanie niedostępne, 1 – rozwiązanie dostępne, 2 – rozwiązanie dostępne z poprawkami DGPS)
liczba użytych satelitów	06 (zakres 0-12)
HDOP	1.8 (współczynnik rozmycia – im większy tym gorzej)
wysokość MSL	140.8 (wysokość nad średnim poziomem morza)
jednostki	M
wysokość geoidy	-164.0
jednostki	M
puste pole	Czas w sekundach od ostatniej aktualizacji DGPS
puste pole	Nr ID stacji DGPS
suma kontrolna	*48

2.2. DOP

Parametr DOP określa wpływ ustawienia geometrii satelitów na jakość wyznaczenia pozycji w systemie GPS. Rozróżnia się następujące rodzaje DOP:

- PDOP – ang. *Position Dilution Of Precision* – współczynnik geometrycznej dokładności;
- HDOP – ang. *Horizontal Dilution Of Precision* – współczynnik geometrycznej dokładności w płaszczyźnie poziomej;
- VDOP – ang. *Vertical Dilution Of Precision* – współczynnik geometrycznej dokładności w płaszczyźnie pionowej.

Na rysunku 2 przedstawiono ideę wpływu DOP na jakość wyznaczania pozycji w systemie GPS.



Rys. 2. Istota wpływu DOP na jakość wyznaczania pozycji w systemie GPS [5] gdzie: *Sat 1-5* – satelity 1-5; *Bus, good geometry, Low HDOP, High accuracy* – Autobus, dobra geometria, niskie HDOP, wysoka dokładność; *Train, bad geometry, High HDOP, Low accuracy* – Pociąg, zła geometria, wysokie HDOP, niska dokładność; *Position line 1, 2* – linie pozycji 1, 2; α – kąt pomiędzy liniami pozycji

Na rysunku 2 można zauważyć, że jakość określania pozycji jest tym większa, im niższy jest współczynnik HDOP, zależny bezpośrednio od odległości od satelitów. Dla większych odległości od satelitów dostarczających rozwiązanie nawigacyjne uzyskuje się lepszą precyzję rozwiązania.

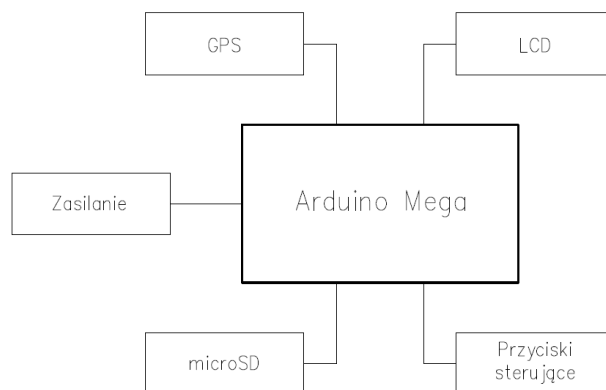
Współczynniki DOP mogą przyjmować różne wartości. Im niższa, dodatnia wartość współczynnika, tym wyznaczona pozycja ma mniejszy błąd lokalizacji. Wartości poniżej 1 przyjmuje się jako rozwiązania idealne. Wartości 2-3 jako rozwiązania znakomite, natomiast powyżej 20 jako rozwiązania złe.

3. UKŁAD DO REJESTROWANIA POŁOŻENIA BEZWZGLĘDNEGO

Opisywany w artykule układ opracowano z wykorzystaniem platformy Arduino Mega, odbiornika GPS oraz karty pamięci microSD, rejestrującej dane o lokalizacji z protokołu NMEA. Dodatkowo układ posiada przyciski sterujące i wyświetlacz LCD.

Zaprojektowany układ nazwano „GPS Logger” (z ang. rejestrator GPS). W dalszej części artykułu nazwę tę stosowano w odniesieniu do tego projektu.

Na rysunku 3 przedstawiono schemat ideowy rejestratora położenia bezwzględne.



Rys. 3. Schemat ideowy układu do rejestrowania położenia bezwzględne

Jako odbiornik GPS wykorzystano moduł Grove firmy Seeed Studio, oparty na układzie SIM28. Układ posiada zewnętrzną antenę ceramiczną oraz cztery piny:

- GND – masa układu;
- VCC – zasilanie układu 3,3 lub 5 V;
- RX – odbiornik interfejsu UART;
- TX – nadajnik interfejsu UART.

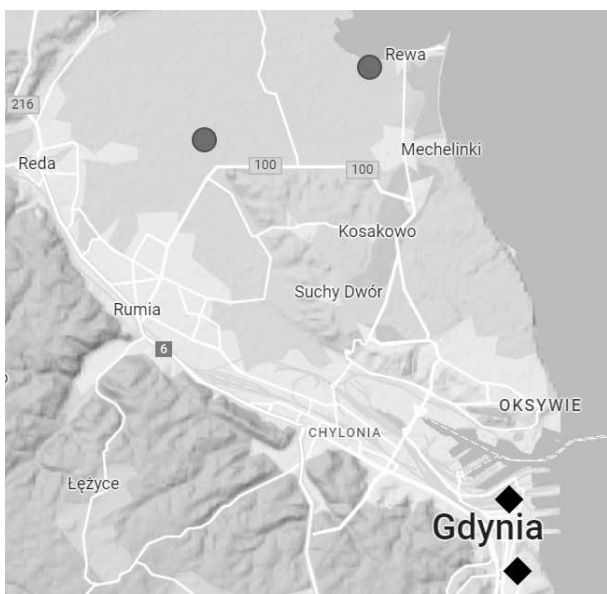
W tabeli 4 przedstawiono parametry techniczne modułu GPS.

Tabela 4. Specyfikacja techniczna Grove GPS Module [6]

Parametr	Wartość
dokładność	2,5 m
czułość	-160 dBm
zimny start	13 s
ciepły start	1-2 s
liczba kanałów	66
szybkość transmisji (ang. BaudRate)	9600 - 115200
wymiary	40 x 20 x 13 mm
masa	17 g

4. BADANIE WPŁYWU ZURBANIZOWANIA TERENU NA JAKOŚĆ WYZNACZANIA POZYCJI

W tej części artykułu dokonano porównania jakości wyznaczania pozycji za pomocą GPS Loggera w terenie zurbanizowanym i niezurbanizowanym. W celu przeprowadzenia badania wybrano dwie lokalizacje w terenie niezurbanizowanym oraz dwie w terenie zurbanizowanym. Na rysunku 4 zaznaczono miejsca dokonania pomiarów. Lokalizacje niezurbanizowane oznaczono niebieskimi kołami, natomiast zurbanizowane rombami w kolorze czarnym.



Rys. 4. Lokalizacje wykonanych pomiarów

W celu oceny wpływu zurbanizowania terenu na jakość wyznaczania pozycji wybrano do oceny współczynnik HDOP oraz liczbę widocznych satelitów. Rejestracja danych pomiarowych obejmowała zebranie 580 próbek zapisywanych co sekundę w każdej z czterech wybranych lokalizacji. Wykonane badanie przeprowadzono 5 lipca 2022 w godzinach 19-21. Zebrane dane poddano analizie w programie MATLAB.

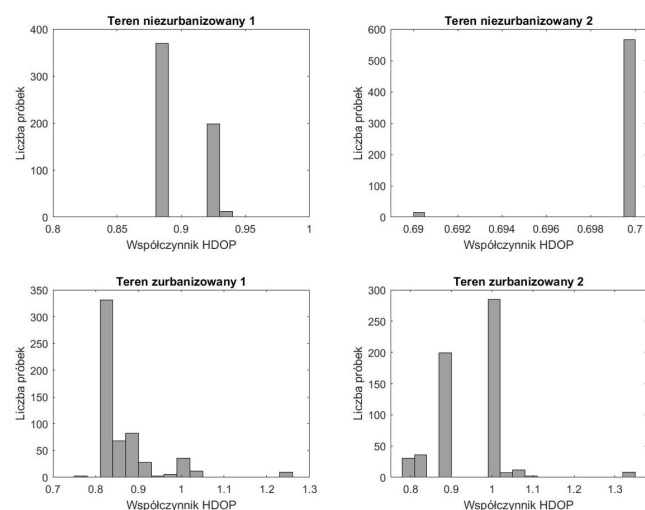
4.1. Współczynnik HDOP

W tabeli poniżej przedstawiono obliczone wartości minimalne, maksymalne, średnie, mediany i dominanty dla współczynnika HDOP.

Tabela 5. Wartości współczynnika HDOP

Parametr	Teren niezurbanizowany		Teren zurbanizowany	
	Miejsce 1	Miejsce 2	Miejsce 1	Miejsce 2
wartość minimalna	0,88	0,69	0,76	0,79
wartość średnia	0,8947	0,6998	0,8674	0,9418
mediana	0,88	0,7	0,83	0,99
dominanta	0,88	0,7	0,83	0,99
wartość maksymalna	0,93	0,7	1,25	1,32

Na rysunku poniżej przedstawiono porównanie wykresów typu histogram dla współczynnika HDOP w dwóch lokalizacjach niezurbanizowanych i dwóch zurbanizowanych.



Rys. 5. Porównanie współczynnika HDOP

Jak można zauważyć w tabeli 5 wartości maksymalne współczynnika HDOP w terenie niezurbanizowanym wyniosły poniżej 1, natomiast w terenie zurbanizowanym wartości maksymalne wyniosły ponad 1. Zazwyczaj w terenie z mniejszą liczbą zabudowań uzyskiwano niższe wartości średnie współczynnika HDOP. Na podstawie analizy histogramów z rysunku 5 można stwierdzić większą zmienność współczynnika HDOP w terenie miejskim niż dla terenów wiejskich, w których występowała bardziej stabilna wartość tego współczynnika.

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że stopień zurbanizowania terenu nieznacznie wpływa na zwiększenie się parametru HDOP, a tym samym na pogorszenie się odczytu pozycji w systemie GPS.

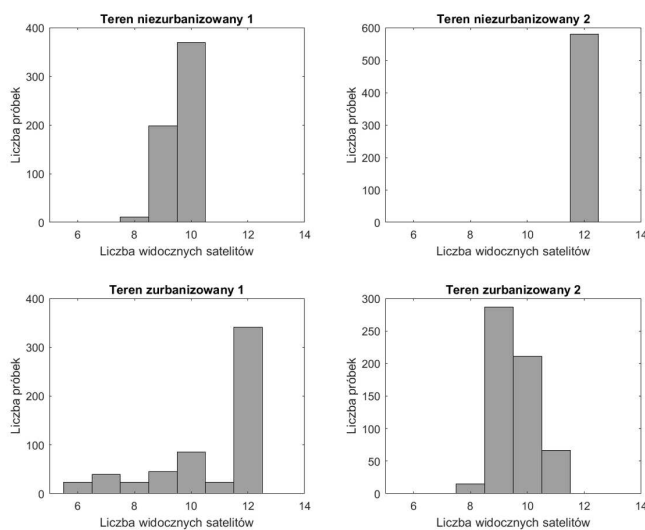
4.2. Liczba widocznych satelitów

W tabeli 6 przedstawiono obliczenia wartości minimalnych, maksymalnych, średnich, median i dominant odniesione do liczby widocznych satelitów.

Tabela 6. Liczba widocznych satelitów

Parametr	Teren nieurbanizowany		Teren zurbanizowany	
	Miejsce 1	Miejsce 2	Miejsce 1	Miejsce 2
wartość minimalna	7	12	6	8
wartość średnia	9,6155	12	10,6948	9,569
mediana	10	12	12	9
dominanta	10	12	12	9
wartość maksymalna	10	12	12	11

Na rysunku 6 przedstawiono porównanie wykresów typu histogram widocznych satelitów dla dwóch lokalizacji w terenie nieurbanizowanym oraz dla dwóch w terenie miejskim.



Rys. 6. Porównanie liczby widocznych satelitów

Po analizie wyników zawartych w tabeli 6 oraz na rysunku 6 można stwierdzić, że stopień zurbanizowania terenu również wpływa na liczbę widocznych satelitów.

W terenie miejskim liczba widocznych satelitów zmienia się w większym zakresie niż w terenie wiejskim, co może powodować mniejszą stabilność wyznaczania pozycji GPS. Jednakże wartość minimalna widocznych satelitów w najgorszym przypadku wyniosła 6, co wystarcza do wyznaczenia prawidłowej pozycji.

5. WNIOSKI KOŃCOWE

W wyniku przeprowadzonych badań nad układem do rejestrowania położenia bezwzględnego można stwierdzić, że poziom zurbanizowania terenu wpływa zarówno na współczynnik zniekształcenia horyzontalnego (HDOP) jak i na liczbę widocznych satelitów.

W obydwóch przypadkach zauważono nieznaczny wpływ wyższego poziomu zurbanizowania terenu na pogorszenie się współczynnika HDOP jak i zmniejszenie liczby widocznych satelitów. Obserwowane niewielkie zmiany współczynnika HDOP i liczby widocznych satelitów nie wpływały bezpośrednio na wyznaczenie nieprawidłowej pozycji lub pozycji obciążonej dużym błędem.

6. BIBLIOGRAFIA

1. Budzyński, Ł., Pawłowski, E.: Analysis of positioning errors of the GPS navigation receivers. *Journal of Computer Sciences Institute*, 17. 332-338, 2020, doi: <https://doi.org/10.35784/jcsi.2096>.
2. Pawłowski, E.: Experimental study of a positioning accuracy with GPS receiver. *12th Conference on Selected Problems of Electrical Engineering and Electronics WZEE'2015*, 2015, doi: 10.13140/RG.2.1.3349.3528.
3. *Elektronika praktyczna, System nawigacji satelitarnej GPS, część 8 Komunikacja z odbiornikiem GPS*, <https://ep.com.pl/files/3911.pdf>, data dostępu 20.09.2022.
4. *Elektronika praktyczna, System nawigacji satelitarnej GPS, część 9 Komunikacja z odbiornikiem GPS*, <https://ep.com.pl/files/3937.pdf>, data dostępu 20.09.2022.
5. Specht, M.: Experimental studies on the relationship between HDOP and position error in the GPS system. *Metrology and Measurement Systems*, 17-36, 2022, <https://journals.pan.pl/Content/122767/PDF/02.pdf>, data dostępu 20.09.2022.
6. Strona producenta modułu Grove GPS, https://www.seeedstudio.com/Grove-GPS-Module.html?queryID=088a66fc6981cab04edd05b07ac1ef10&objektID=2775&indexName=bazaar_retailer_products, data dostępu 20.09.2022.

IMPLEMENTATION OF A SYSTEM FOR MEASURING THE INFLUENCE OF THE LAND URBANIZATION LEVEL ON THE QUALITY OF DETERMINING POSITIONS IN THE GPS SYSTEM

The article presents the design of the absolute position recording system with the use of the GPS system, which made it possible to conduct research on the influence of the level of urbanization of the area on the quality of determining the position. For this purpose, position registration was made in two places in urbanized areas and in two in non-urbanized areas. Then, the results were analyzed based on the HDOP (Horizontal Dilution of Precision) parameter and the number of visible satellites.

Keywords: navigation, GPS, positioning quality, HDOP.