

**Cezary Specht**  
**Akademia Marynarki Wojennej**

---

**Tomasz Szot**  
**Akademia Wychowania Fizycznego i Sportu w Gdańsku**

## **OCENA FUNKCJONALNA WYBRANYCH OGÓLNODOSTĘPNYCH ODBIORNIKÓW GPS UŻYWANYCH W SPORCIE**

### **STRESZCZENIE**

Producenci odbiorników GPS wychodząc naprzeciw oczekiwaniom sportowców oraz uczestników różnych rekreacyjnych form ruchu, proponują wiele łatwych w użyciu przenośnych urządzeń umożliwiających odbiór sygnałów nawigacji satelitarnej GPS. W artykule dokonano porównania charakterystyk technicznych oraz przedstawiono wyniki badań ośmiu urządzeń GPS wykorzystywanych w sporcie, w podziale na trzy grupy: odbiorniki dedykowane do dyscyplin sportowych, ogólnodostępne rejestratory oraz telefony komórkowe wykorzystujące pomiary GNSS. Ocenę dokładności wyznaczeń przeprowadzono w oparciu o badania dokładności powtarzalnej i przewidywanej na punkcie geodezyjnym POLREF 5501 w Rybinie. Jednocześnie zaprezentowano uwagi autorów dotyczące przydatności urządzeń GPS w monitorowaniu lokomocji człowieka. Wyniki pomiarów stanowią pierwszy etap prac badawczych, których celem jest ocena przydatności zróżnicowanych technik pomiarowych GNSS w badaniu lokomocji w sporcie.

Słowa kluczowe:

przenośne odbiorniki GPS, lokomocja, sport, rekreacja.

### **WSTĘP**

W naukach o kulturze fizycznej ruch jest określany jako zmiana położenia części ciała względem siebie lub przemieszczenie całego ciała w przestrzeni [30]. Przejawia się on w dwóch zasadniczych formach: ruchu w miejscu (lokostacyjny) oraz ruchu, podczas którego całe ciało człowieka zmienia swoje położenie względem

przyjętego układu odniesienia (lokomocyjny). Może nim być dowolny obiekt (stacjonarny lub ruchomy), podłoże lub inny układ odniesienia. Lokomocja człowieka, jako podstawowa forma ruchu, jest od wielu lat przedmiotem badań i dotyczy zarówno ciała człowieka jako obiektu lokomocyjnego, form lokomocji, wpływu na nią wielu zmiennych czynników, jak również urządzeń technicznych służących zmianie położenia, polepszenia procesu badawczego i zastosowań w wielu dziedzinach życia [8, 9].

Jednym z najprostszych podziałów ruchów lokomocyjnych jest podział na: ruchy zamknięte — ograniczone przepisowymi liniami, architekturą stanowiska lub budowli do określonego fragmentu płaszczyzny i przestrzeni (np. w boksie, grach zespołowych) oraz otwarte — pozbawione ograniczeń przestrzennych (wędrówki górskie, zawody samolotowe, trening biegowy zawodników w lesie itp.) [10].

Badanie lokomocji może być przeprowadzane jakościowo — przy zastosowaniu subiektywnej gradacji (opartej na przykład na kryteriach estetycznych) lub ilościowo — z wykorzystaniem obiektywnych metod [8], które zmieniają się wraz z rozwojem techniki. Należy jednocześnie wyróżnić dwa sposoby prowadzenia badań: gdy obiekt badany jest obserwowany zdalnie lub gdy jest on obciążany sprzętem pomiarowym.

Wielkościami mechanicznymi opisywanymi w lokomocji sportu są: położenie, czas, dystans, prędkość i przyspieszenie. Modelowym przykładem pomiaru lokomocji może być pomiar rozkładu prędkości sprinterów dokonany podczas Mistrzostw Świata w Lekkoatletyce w Berlinie w 2009 roku, gdzie wyniki biegu finalistów na dystansie 100 metrów zostały udokumentowane przy zastosowaniu technologii laserowej 50 Hz LAVEG-Sport firmy Jenoptik i przedstawione w interwale 20-metrowym [18]. Podczas meczy piłki nożnej najczęściej wykorzystuje się rejestrację video opartą na jednej lub wielu kamerach, a śledzenie zawodników za pomocą odpowiedniego oprogramowania umożliwia późniejsze określenie pokonanego przez nich dystansu, prędkości i przyspieszeń [1, 11]. W przypadku systemów pomiarowych stosowanych w lokomocji otwartej na dużych obszarach rozwiązania te przestają być możliwe do zastosowania.

Systemy nawigacji satelitarnej o zasięgu globalnym nie mają ograniczeń obszarowych, stąd ich wykorzystanie w szeroko rozumianej kulturze fizycznej staje się coraz bardziej powszechne [8]. Należy przy tym zauważyć, że łatwiej jest monitorować lokomocję obiektu o znacznych rozmiarach niż niewielkiego, głównie ze względu na obciążenie sprzętem pomiarowym.

Analiza piśmiennictwa dotycząca wykorzystania odbiorników GNSS (*Global Navigation Satellite System*) przy badaniu lokomocji człowieka pozwala wydzielić następujące rodzaje rozwiązań:

- urządzenia kompaktowe GPS (*Global Positioning System*) z wbudowanymi dodatkowymi sensorami (altimetry, kompasy, akcelerometry, żyroskopy);
- urządzenia GPS wspomagane przez systemy różnicowe drogą radiową, stosowane najczęściej w innych dziedzinach nauki;
- autonomiczne urządzenia GPS (niekiedy wspomagane przez systemy geostacyjne).

Jeszcze przed wyłączeniem selektywnej dostępności (będącej celowym pogorszeniem sygnału przez rząd USA) w 2000 roku wskazywano na sensowność wyznaczania pozycji w sporcie za pomocą sensorów [19]. Obecnie najbardziej zaawansowanymi odbiornikami łączącymi kilka technologii są urządzenia australijskich firm GPSports (SPI Elite) oraz Catapult (MinimaxX) stosowane z powodzeniem w dyscyplinach o dużej dynamice, takich jak gry zespołowe [3, 4, 6, 17, 24] czy lekkoatletyka [2]. Druga grupa urządzeń jest stosowana przede wszystkim w geodezji, co niesie za sobą zarówno wady (znaczny ciężar i rozmiary), jak i zalety (wysoka precyzja). W ten sposób wykorzystano odbiorniki Leica System 500 i Javad Legacy do monitorowania chodu człowieka [27, 28] oraz pojazdów samochodowych na trasie rajdu Polski [22]. Trzecia grupa to urządzenia ogólnodostępne, łatwe w obsłudze i stosunkowo tanie, będące przedmiotem badania w niniejszym artykule.

W Polsce prowadzono również badania nad możliwościami wykorzystania odbiorników GPS w treningu sportowym, wyciągając interesujące wnioski [7]. Użyte wtedy przez biegaczy na orientację urządzenia były technologicznie „starsze” od przedstawionych w tym artykule, stąd zasadnym było podjęcie kolejnych badań przy wykorzystaniu możliwie najbardziej zaawansowanych i jednocześnie popularnych rozwiązań GPS.

Wielkość i ceny układów GPS pozwalają na montowanie ich nie tylko w urządzeniach służących *stricto* do nawigacji, ale również w tych przeznaczonych do użytku codziennego (np. telefony komórkowe), a ograniczeniami funkcjonalności zdają się być wielkość i pojemność baterii (akumulatora) oraz wymiary anteny.

Oceniając funkcjonalność odbiorników, należy jednocześnie rozważyć, w jakim stopniu ich możliwości wynikają z założeń projektowych producenta, a na ile funkcjonalność ogranicza specyfika pomiaru z wykorzystaniem systemu nawigacji satelitarnej.

## **SYNTEZA DOKŁADNOŚCI WYZNACZEŃ POZYCJI W SYSTEMIE GPS**

We wstępie do najnowszej wersji dokumentu *Global Positioning System Standard Positioning Service Performance Standard* dotyczącego standardów użytkowania cywilnej wersji systemu [14] (z sierpnia 2008 r.) stwierdzono, iż „(...) od

czasu ogłoszenia początkowych możliwości operacyjnych GPS w 1993 r. bieżące osiągi GPS ciągle utrzymywały i przekraczały minimalne poziomy wymienione w SPS, tym samym użytkownicy mogli oczekiwać polepszonych osiągnięć systemu względem standardowych.” Porównanie zmieniających się charakterystyk dokładności i dostępności GPS w kolejnych latach przedstawia tabela 1.

Tabela 1. Porównanie zmian wybranych charakterystyk GPS

Charakterystyki GPS	Sierpień 1995	Październik 2001	Wrzesień 2008
Dokładność globalna ( $p = 0.95$ ) przy wszystkich dostępnych satelitach	$\leq 100$ metrów ( $H$ ) $\leq 156$ metrów ( $V$ )	$\leq 13$ metrów ( $H$ ) $\leq 22$ metrów ( $V$ )	$\leq 9$ metrów ( $H$ ) $\leq 15$ metrów ( $V$ )
Dokładność najgorszej lokalizacji ( $p = 0.95$ ) przy wszystkich dostępnych satelitach	$\leq 100$ metrów ( $H$ ) $\leq 156$ metrów ( $V$ )	$\leq 36$ metrów ( $H$ ) $\leq 77$ metrów ( $V$ )	$\leq 17$ metrów ( $H$ ) $\leq 37$ metrów ( $V$ )
Błąd pomiaru odległości użytkownika ( <i>User Range Error — URE</i> )	brak danych	$\leq 6$ metrów (RMS)	$\leq 4$ m (RMS)
Geometria ( $PDOP \leq 6$ )	$\geq 95.87\%$ globalnie $\geq 83.92\%$ najgorsza lokalizacja	$\geq 98\%$ globalnie $\geq 88\%$ najgorsza lokalizacja	$\geq 98\%$ globalnie $\geq 88\%$ najgorsza lokalizacja
Dostępność konstelacji	brak danych	$\geq 98\%$ dla 21 satelitów	$\geq 98\%$ dla 21 satelitów, $\geq 99.999\%$ dla 20 satelitów

Źródło: *Global Positioning System Standard Positioning Service Signal Specification, United States of America Department of Defence, June 1995; Global Positioning System Standard Positioning Service Performance Standard, United States of America Department of Defence, October 2001 and September 2008.*

Z zestawienia wynika, że przedstawiony w 1995 roku dokument [15] opisuje system GPS odmiennie od następujących po nim kolejnych edycji z lat 2001 [13] oraz 2008 [14]. Zasadniczo nowym pojęciem powiązanim z dokładnością wyznaczenia pozycji jest termin „sygnał w przestrzeni” (*Signal in Space*), czyli dostępny dla użytkownika sygnał radiowy wykorzystywany do określenia pseudoodległości w standardowym serwisie pozycyjnym. Miarą dokładności jest statystyka błędu pomiaru odległości użytkownika (*SPS SIS User Range Error Statistics*). Wielkość SIS URE zależy wyłącznie od właściwości pracy segmentu kontrolnego i segmentu kosmicznego. Segment kontrolny śledzi pozycję każdego satelity, określając wektor błędów jego położenia i stanu zegara w stosunku do utrzymywanego przez U.S. Naval Observatory wzorca czasu UTC (*Universal Time Clock*). Na podstawie zmierzonych wartości obliczany jest błąd pomiaru odległości użytkownika:

$$URE = \sqrt{(\delta_R - \delta_{clk})^2 + 0,0192 \cdot (\delta_A^2 + \delta_C^2)}, \quad (1)$$

gdzie:

- $URE$  — chwilowa wartość błędu pomiaru odległości użytkownika [m];  
 $\delta_R$  — błąd położenia satelity mierzony wzdłuż promienia jego orbity [m];  
 $\delta_A$  — błąd położenia satelity mierzony wzdłuż jego trajektorii [m];  
 $\delta_C$  — błąd położenia satelity mierzony prostopadłe do jego trajektorii [m];  
 $\delta_{clk}$  — błąd zegara satelity [m].

Statystyka SIS URE określana jest dla poszczególnych satelitów oraz całej konstelacji w określonym przedziale czasu. Błąd pomiaru pseudoodległości użytkownika liniowo przenosi się na dokładność wyznaczenia pozycji przez odbiornik opisywanej najczęściej przez trzy rodzaje dokładności.

1. **Dokładność przewidywana** (*predictable accuracy*) — dokładność określenia pozycji wyrażona w systemie współrzędnych geodezyjnych, związana z modelem Ziemi (elipsoidą). Informuje o rozkładzie pozycji zmierzonych systemem w stosunku do ich wartości rzeczywistych, wyznaczonych z wysoką precyzją w układzie współrzędnych używanych przez system. W praktyce dotyczy wyznaczenia absolutnego współrzędnych pozycji, czyli takiego, które wykonywane jest pojedynczym odbiornikiem, umożliwiając określenie położenia obiektu w stosunku do otaczającej przestrzeni w sposób jednoznaczny.
2. **Dokładność powtarzalna** (*repeatable accuracy*) — dokładność, z którą system pozwala użytkownikowi powrócić do wcześniej określonej pozycji we współrzędnych właściwych dla danego systemu. Informuje o rozkładzie statystycznym pozycji w stosunku do pewnej ustalonej arbitralnie wartości, najczęściej pozycji uśrednionej w serii pomiarowej, która nie musi odpowiadać rzeczywistym współrzędnym. W praktyce ma mniejsze zastosowanie, aczkolwiek jest wysoce użyteczna z punktu widzenia stabilności systemu, niezbędna na etapie jego uruchamiania, niosąca informacje o „rozrzucie” wyznaczonych współrzędnych pozycji.
3. **Dokładność względna** (*relative accuracy*) — dokładność określenia pozycji w stosunku do innego użytkownika tego samego systemu, w tym samym czasie i układzie współrzędnych. Informuje, jakie są w tym samym momencie błędy wskazań kilku odbiorników GPS. Weryfikacja lub ocena tej dokładności wymaga co najmniej dwóch odbiorników pracujących według tych samych reguł przetwarzania odbieranych sygnałów (dla GPS za akceptowalną odległość przyjmuje się 40 km). Dotyczy wszystkich różnicowych aplikacji GPS, gdzie pozycja obiektu określana jest względnie w stosunku do stacji odniesienia (referencyjnej) [26].

## CEL I METODYKA BADAŃ

Celem przeprowadzonych badań była ocena funkcjonalna, w zastosowaniu do lokomocji sportowej, wybranych ogólnodostępnych urządzeń odbierających sygnały satelitów nawigacyjnych systemu GPS oraz wyznaczenie dokładności określenia pozycji dla pomiaru stacjonarnego. W celu weryfikacji założenia postawiono następujące pytania badawcze:

- Czy dokładność zapisu współrzędnych pozycji w urządzeniach umożliwia prowadzenie badań lokomocyjnych w sporcie?
- Czy urządzenia umożliwiają późniejsze wykorzystanie zapisanych danych?
- Jaka jest dokładność przewidywana i powtarzalna urządzeń GPS?
- Czy dokładność określona podczas pomiaru stacjonarnego jest wystarczająca do oceny jakości wskazań pozycji?
- Jakie istnieją ograniczenia w stosowaniu tych urządzeń do monitorowania lokomocji?

Do badań wybrano osiem ogólnodostępnych urządzeń pomiarowych GPS możliwych do zastosowania w rekreacji i treningu sportowym. Wszystkie miały zintegrowaną antenę GPS oraz wbudowane źródło zasilania. Wyodrębniono następujące grupy:

- a) urządzenia GPS dedykowane do sportu (Garmin Edge 205, Garmin Forerunner 305, Garmin Forerunner 310 XT);
- b) uniwersalne rejestratory GPS (Pentagram PathFinder Logger P3106, QSTARZ BT-Q1000 Platinum Travel Recorder, Wintec WBT-100 Datalogger);
- c) telefony komórkowe z wbudowanym odbiornikiem GPS (iPhone 3GS, Nokia E66).

Urządzenia grupy a) i b) wyposażone były w oprogramowanie dostarczone przez producentów. W przypadku grupy c) do rejestracji pomiaru wybrano jedno z najpopularniejszych programów stosowanych przez użytkowników (iPhone — RunKeeper, Nokia — SportsTracker). Zestawienie wybranych danych technicznych i możliwości urządzeń istotnych w zakresie niniejszego artykułu przedstawiają tabele 2. i 3. Nie sporządzono oddzielnej tabeli dla telefonów komórkowych, ponieważ ich producenci nie podali w specyfikacji zastosowanych układów GPS oraz ich charakterystyk.

Odbiornik Edge 205 jest przeznaczony dla kolarzy i ma mocowanie do kierownicy roweru. Pozostałe dwa (Forerunner 305 oraz 310XT) producent dedykuje biegaczom i są one urządzeniami narecznymi (umieszczane na nadgarstku jak zegarek). Wszystkie mają wyświetlacz przekazujący użytkownikowi bieżące informacje

o prędkości, dystansie, pozycji, a także przedstawiają w postaci graficznej dostępność satelitów i poziom sygnału. Proponowany w urządzeniach Garmin tryb Smart Recording polega na zapisywaniu kluczowych punktów, w których zmienia się kierunek, prędkość lub tętno (przy użyciu dodatkowego czujnika). Producent nie umożliwia konfiguracji tych wielkości ani nie udostępnia w instrukcji dokładniejszego opisu działania.

Tabela 2. Zestawienie danych technicznych urządzeń GPS dedykowanych do sportu (b.d. — brak danych, Smart Recording — opis w tekście)

Model	Garmin Edge 205	Garmin Forerunner 305	Garmin Forerunner 310XT
Rok wprowadzenia na rynek	2007	2006	2009
Oprogramowanie	Training Center, connect.garmin.com	Training Center, connect.garmin.com	Training Center, connect.garmin.com
Wymiary i masa	94/44/23 mm, 88 g	68.6/53.3/17.8 mm, 77 g	54/56/19 mm, 72 g
Wyświetlacz	128 x 60 pixeli	160 x 100 pixeli	160 x 100 pixeli
Moduł GPS	SiRF	SiRF Star III	b.d.
Liczba kanałów	b.d.	b.d.	b.d.
Czas pracy akumulatora	12 godz.	10 godz. przy typowym użytkowaniu	20 godz. *)
Odnowienie pozycji	b.d.	b.d.	b.d.
Częstotliwość odczytu pozycji	1/s	1/s	b.d.
Opcje zapisu pozycji	brak	brak	brak
Częstotliwość zapisu pozycji	1/s lub Smart Recording	1/s lub Smart Recording	Smart Recording
Pamięć zapisu pozycji	12.6 tys.	12.6 tys.	b.d.
Czas akwizycji	gorący start < 1 s, ciepły start < 38 s, zimny start < 45 s	gorący start < 1 s, ciepły start < 38 s, zimny start < 45 s	b.d.
Błąd pozycji 2D	<10 m (p = 0.5), typowo**)	<10 m (p = 0.5), typowo**)	+/- 5.8 m***)
Błąd pozycji 3D			
Błąd prędkości	<0.05 m/s	<0.05 m/s	b.d.
Wyjściowe formaty plików	TCX, GPX, KML	TCX, GPX, KML	TCX, GPX, KML

Źródło: instrukcja producenta [12]; \*) przy zapisie 1. punktu co 4 sekundy; \*\*) nie podano, czy błąd dotyczy 2D czy 3D; \*\*\*) wg instrukcji: dokładność pozycji +/- 19 stóp.

Tabela 3. Zestawienie danych technicznych uniwersalnych rejestratorów GPS

Model	Pentagram PathFinder Logger P3106	Qstarz BT-Q1000 Platinum Travel Recorder	Wintec WBT-100 Datalogger
Rok wprowadzenia na rynek	2008	2008	2006
Oprogramowanie	GPS Photo Tagger 1.2.3.h2	QTravel 1.21	G-Tool 2.85
Wymiary i masa	72,2/46,5/20 mm, 67 g	72.2/46.5/20 mm, 64.7 g	60/38/16 mm, 48 g
Wyświetlacz	nie	nie	nie
Moduł GPS	MTK	MTK	iTrax 3 + u-Nav
Liczba torów odbioru	66	51	12 w trybie ciągłym
Czas pracy	25 godz.	32 godz..	16 godz. (9 godz. z wł. BlueTooth)
Odnowienie pozycji	< 1 s	b.d.	0.1 s
Częstotliwość odczytu pozycji	1 s	b.d.	1 s
Opcje zapisu pozycji	interwał czasu, odległości, prędkości	interwał czasu, odległości, prędkości	interwał czasu, odległości, zmiana kierunku większa niż 10 stopni, zmiana prędkości
Częstotliwość zapisu pozycji	dowolnie od 1/sek.	dowolnie od 1/sek.	co 1/sek. do 1/3600 sek.
Pamięć zapisu pozycji	150 tys. pkt.	200 tys. pkt.	12,68 tys. pkt.
Czas akwizycji	gorący start 1 s, ciepły start 33 s, zimny start 36 s	gorący start 1 s, ciepły start 33 s, zimny start 36 s	gorący start 8 s, ciepły start 38 s, zimny start 40 s
Błąd pozycji 2D	<3 m*)	< 3 m CEP (p = 0.5)*), z DGPS 2.5 m	<6 m (p = 0.95)
Błąd pozycji 3D			<3 m (p = 0.95)
Błąd prędkości	0,1 m/s	0,1 m/s, z DGPS 0.05 m/s	0.2 m/s
Wyjściowe formaty plików	GPX, CSV, NMEA, KML	GPX, PLT, CSV, NMEA, KML	NMEA, GPX, PLT, CSV, TXT i in.
Inne	dokładność transferu czasu 50 ns, częstotliwość odczytu co 1 s, układ odniesienia WGS-84, BlueTooth	wsparcie WAAS, EGNOS, MSAS, układ odniesienia WGS-84, BlueTooth	dokładność czasu 20 ns, wsparcie EGNOS, WAAS, układ odniesienia WGS-84, BlueTooth

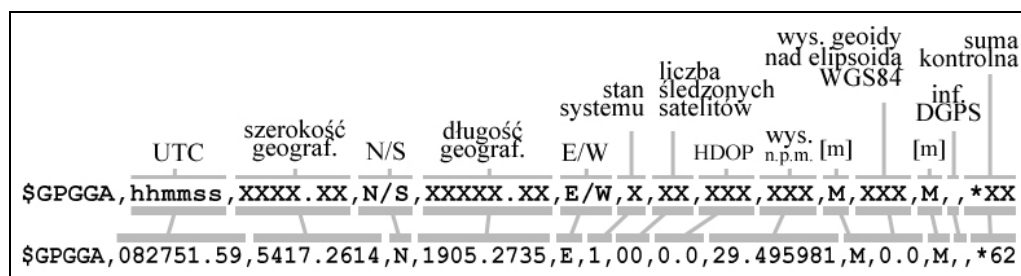
Źródło: instrukcje producentów [23, 25, 31]; \*) nie podano, czy błąd dotyczy 2D czy 3D.

Wszystkie przedstawione w tabeli 3. urządzenia jako typowe rejestratory nie posiadają wyświetlacza, mają natomiast możliwość pracy w trybie rejestracji lub przekazywania danych do innego urządzenia poprzez standard BlueTooth. Z uwagi na ich uniwersalny charakter producenci udostępniają różne opcje zapisu pozycji: wedle interwału czasowego, prędkości lub pokonanej odległości. Zarówno w Qstarz BT-Q1000,



jak i Wintec WBT-100 można opcjonalnie włączyć wspomaganie satelitarnymi systemami geostacjonarnymi (w zależności od lokalizacji użytkownika na kuli ziemskiej) — w niniejszym badaniu pozostały one wyłączone.

W urządzeniach, które to umożliwiły, wybrano maksymalną częstość zapisu (1/s: Garmin Forerunner 205, Pentagram P3106, QSTARZ Platinum, Wintec WBT-100, Nokia E66) bądź przyjęto tryb zapisu proponowany przez producenta urządzenia lub oprogramowania (Garmin Forerunner 310 XT, iPhone 3GS). Z telefonów usunięto karty SIM. Większość odbiorników GPS może przekazywać dane pozycyjne do innych urządzeń za pomocą połączenia szeregowego, USB lub Bluetooth z wykorzystaniem standardu NMEA oraz depeszy GGA (rys. 1.).



Rys. 1. Format komunikatu NMEA typu GGA

Źródło: National Marine Electronics Association, 2011, NMEA 0813 Standard [online], dostępny: <http://www.nmea.org/>.

## WYKONANIE POMIARÓW

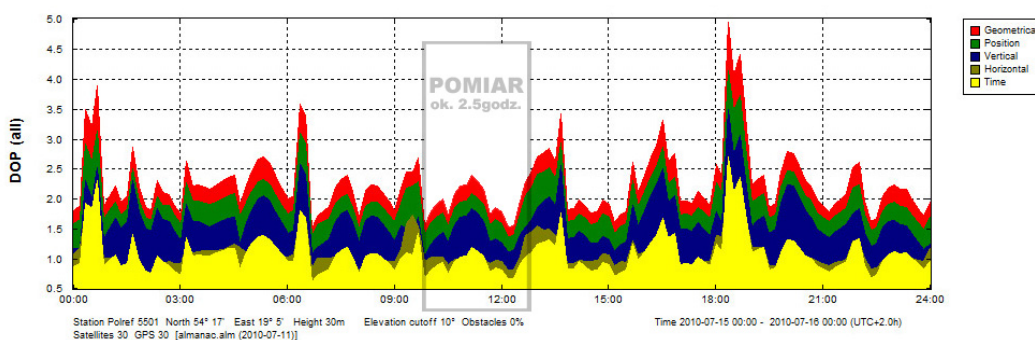
Dla wyznaczenia dokładności pozycji odbiorników wykorzystano podstawową osnowę geodezyjną w Polsce, którą stanowi sieć POLREF (*Polish Reference Frame* — polski układ odniesienia, utworzona w ramach trzech kampanii pomiarowych z wykorzystaniem GPS) w liczbie 356 punktów [16]. Przeciętny błąd położenia odbiorników względem jedenastu punktów bazowych na terenie Polski — EUREF-POL — odnoszących się do europejskiej sieci geodezyjnej ETRF (*European Terrestrial Reference Frame* — europejski naziemny układ odniesienia) jest mniejszy od 1 cm dla składowych poziomych oraz około 1 cm dla składowej wysokościowej [5]. Pomiaru stacjonarnego badanych urządzeń dokonano na punkcie POLREF 5501 w Rybinie o współrzędnych ( $B = 54^{\circ} 17' 15.68430''$  N,  $L = 19^{\circ} 05' 16.38710''$  E,  $h = 30.266$  m.). Urządzenia rozmieszczone były w znanych odległościach od punktu osnowy.



Fot. 1. Lokalizacja odbiorników na punkcie pomiarowym

Źródło: zdjęcia wykonane przez autorów.

Z uwagi na fakt, iż wpływ geometrii konstelacji satelitów na dokładność określenia pozycji (*Dilution of Precision* — DOP) jest kluczowy, toteż poprawne zaplanowanie kampanii pomiarowej polega na takim wyborze czasu przeprowadzenia pomiarów, aby minimalizować wartości współczynników geometrycznych DOP, niezbędnych dla danej metody pomiarów GPS. W tym celu wykorzystano oprogramowanie Trimble Planning 2.8. [29], które na podstawie wprowadzonej pozycji punktu oraz bieżącego almanachu wyliczyło wartości współczynnika DOP. Następnie wybrano przedział czasowy pomiaru (rys. 2.). Pomiar miał charakter ciągły, przeprowadzono go 15 lipca 2010 roku i trwał około dwie i pół godziny



Rys. 2. Wartości współczynnika geometrycznego dla punktu POLREF 5501 w dniu pomiaru

Źródło: opracowanie własne.

Urządzenia rejestrowały pozycję według ustalonego interwału czasowego 1/s (Garmin Edge 205, Garmin Forerunner 205, Pentagram P3106, Qstarz BT-Q1000,

Wintec WBT-100), według trybu proponowanego przez producenta urządzenia (Garmin Forerunner 310XT — tryb Smart Recording) lub w inny, nieokreślony przez producenta urządzenia lub oprogramowania sposób (Nokia E66 — SportsTracker, iPhone 3GS — RunKeeper). Uzyskano w ten sposób około 9000 pomiarów każdego z urządzeń, za wyjątkiem 310XT, 3GS — 51, gdzie przyjęty tryb zapisu uniemożliwił pełną ocenę wskazań w pomiarze stacjonarnym. W oprogramowaniu SportsTracker (Nokia E66) konfigurowalną opcją był „GPS filtering”, a z uwagi na brak wyjaśnienia sposobów zapisu High/Medium/Low został ustawiony na „Off” (wyłączony), co w efekcie dało zapis pozycji 1/s. Typ aktywności ustawiono na najbardziej zbliżony do rodzaju pomiaru — „Walking” (chód). Urządzenia P3106 oraz BT-Q1000 miały cztery tryby zapisu pozycji i również w nich wybrano „chód”.

### OPRACOWANIE DANYCH I WYNIKI POMIARÓW

Pliki zapisu współrzędnych pozycji z urządzeń otrzymano jako współrzędne geograficzne:  $B$  — szerokość,  $L$  — długość, w formacie stopnie, minuty i sekundy w układzie odniesienia WGS84. Aby oszacować dokładność powtarzalną i odtwarzalną (przewidywaną) pozycji, wyznaczone współrzędne krzywoliniowe ( $B$ ,  $L$ ) transponowano do współrzędnych płaskich w układzie 2000, strefa nr 6, odwzorowanie Gaussa-Krügera w oparciu o poniższe zależności:

$$y = R \cdot \left[ dL \cos(B) + \frac{dL^3}{6} \cos(B)^3 (1 - t^2 + \eta^2) + \frac{dL^5}{120} \cos(B)^5 (5 - 18t^2 + t^4 + 14\eta^2 - 58\eta^2 t^2) \right]; \quad (2)$$

$$x = k \cdot R \left[ \frac{S(B)}{R} + \frac{dL^2}{2} \sin(B) \cos(B) + \frac{dL^4}{24} \sin(B) \cos(B)^3 (5 - t^2 + 9\eta^2 + 4\eta^4) + \frac{dL^6}{720} (\sin(B) \cos(B)^5) \cdot (61 - 58t^2 + t^4 + 270\eta^2 - 330\eta^2 t^2) \right], \quad (3)$$

gdzie:

- $B, L$  — współrzędne elipsoidalne odbiornika;
- $R$  — promień krzywizny południka;
- $S(B)$  — odległość punktu o szerokości elipsoidalnej  $B$  od równika;
- $dL$  — różnica długości elipsoidalnej pomiędzy położeniem punktu a południkiem środkowym;
- $k = 0.999923$  — współczynnik skali.

Pozostałe zmienne i parametry wyznacza się jako:

$$t = \tan(B); \quad (4)$$

$$\eta = \frac{e^2 \cos(B)^2}{1 - e^2}, \quad (5)$$

gdzie:

$e$  — mimośród elipsoidy;

$\eta$  — orientacja elipsoidy.

Zbiorne wyniki badań przedstawiono w tabelach 4–10. Błąd 95% z populacji otrzymano poprzez sortowanie pojedynczych błędów od wartości minimalnej do maksymalnej. Odbiornik Garmin Forerunner 310XT na skutek jedyne go możliwego trybu zapisu — Smart Recording — zapisał trzy pozycje i został pominięty w wyliczeniach.

Tabela 4. Dokładność odbiornika Garmin Edge 205

Miara	Dokładność powtarzalna			Dokładność odtwarzalna		
	rms (p = 0.68) [m]	2drms (p = 0.95) [m]	95% z populacji [m]	rms (p = 0.68) [m]	2drms (p = 0.95) [m]	95% z populacji [m]
<b>3D błąd pozycji</b>	3.4816	6.9632	6.5856	3.1375	6.2750	3.1375
<b>2D błąd pozycji</b>	2.0329	4.0658	3.3708	2.0110	4.0220	2.0110
<b>1D błąd szerokości</b>	1.9006	3.8012	3.1932	1.7818	3.5636	4.5247
<b>1D błąd długości</b>	0.7214	1.4428	1.3010	0.9322	1.8644	2.0794
<b>1D błąd wysokości</b>	2.8265	5.6530	5.1212	2.4083	4.8166	5.8090

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 5. Dokładność odbiornika Garmin Forerunner 305

Miara	Dokładność powtarzalna			Dokładność odtwarzalna		
	rms (p = 0.68) [m]	2drms (p = 0.95) [m]	95% z populacji [m]	rms (p = 0.68) [m]	2drms (p = 0.95) [m]	95% z populacji [m]
<b>3D błąd pozycji</b>	7.4943	14.9886	13.1482	6.7945	–	6.7945
<b>2D błąd pozycji</b>	3.0212	6.0424	5.9006	3.5310	–	3.5310
<b>1D błąd szerokości</b>	2.8311	5.6622	5.8585	2.3570	4.7140	5.8806
<b>1D błąd długości</b>	1.0546	2.1092	2.0333	2.6291	5.2582	4.4683
<b>1D błąd wysokości</b>	6.8584	13.7168	13.0568	5.8049	11.6098	13.8090

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 6. Dokładność odbiornika Pentagram PathFinder Logger P3106

Miara	Dokładność powtarzalna			Dokładność odtwarzalna		
	rms (p = 0.68) [m]	2drms (p = 0.95) [m]	95% z populacji [m]	rms (p = 0.68) [m]	2drms (p = 0.95) [m]	95% z populacji [m]
<b>3D błąd pozycji</b>	2.2973	4.5946	4.4360	25.1318	–	25.1318
<b>2D błąd pozycji</b>	1.4333	2.8666	2.7441	1.4176	–	1.4176
<b>1D błąd szerokości</b>	1.3888	2.7776	2.7411	1.3399	2.6798	2.2834
<b>1D błąd długości</b>	0.3543	0.7086	0.6089	0.4629	0.9258	0.9101
<b>1D błąd wysokości</b>	1.7953	3.5906	3.5503	25.0918	50.1836	28.0708

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 7. Dokładność odbiornika Qstarz BT-Q1000 Platinum Travel Recorder

Miara	Dokładność powtarzalna			Dokładność odtwarzalna		
	rms (p = 0.68) [m]	2drms (p = 0.95) [m]	95% z populacji [m]	rms (p = 0.68) [m]	2drms (p = 0.95) [m]	95% z populacji [m]
<b>3D błąd pozycji</b>	1.9659	3.9318	3.0914	25.6951	–	25.6951
<b>2D błąd pozycji</b>	1.1334	2.2668	1.9895	1.0909	–	1.0909
<b>1D błąd szerokości</b>	1.0295	2.0590	1.7837	0.9118	1.8236	1.6996
<b>1D błąd długości</b>	1.4749	2.9498	1.0019	0.5989	1.1978	1.5990
<b>1D błąd wysokości</b>	1.6059	3.2118	2.7119	25.6719	51.3438	28.0761

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 8. Dokładność odbiornika Wintec WBT-100 Datalogger

Miara	Dokładność powtarzalna			Dokładność odtwarzalna		
	rms (p = 0.68) [m]	2drms (p = 0.95) [m]	95% z populacji [m]	rms (p = 0.68) [m]	2drms (p = 0.95) [m]	95% z populacji [m]
<b>3D błąd pozycji</b>	1.2434	2.4868	1.9962	2.6974	–	2.6974
<b>2D błąd pozycji</b>	1.1124	2.2248	1.9169	1.4837	–	1.4837
<b>1D błąd szerokości</b>	1.0536	2.1072	1.9105	1.4144	2.8288	2.4895
<b>1D błąd długości</b>	0.3566	0.7132	0.7137	0.4482	0.8964	0.7798
<b>1D błąd wysokości</b>	0.5555	1.1110	0.5570	2.2526	4.5052	2.8090

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 9. Dokładność odbiornika iPhone 3GS\*)

Miara	Dokładność powtarzalna			Dokładność odtwarzalna		
	rms (p = 0.68) [m]	2drms (p = 0.95) [m]	95% z populacji [m]	rms (p = 0.68) [m]	2drms (p = 0.95) [m]	95% z populacji [m]
<b>3D błąd pozycji</b>	–	–	–	–	–	–
<b>2D błąd pozycji</b>	17.9826	35.9652	33.0179	14.8444		14.8444
<b>1D błąd szerokości</b>	12.3951	24.7902	23.2200	9.8524	19.7048	24.8981
<b>1D błąd długości</b>	13.0283	26.0566	25.2122	11.1035	22.207	28.0963
<b>1D błąd wysokości</b>	–	–	–	–	–	–

\*) oprogramowanie urządzenia zapisało tylko 51 wierszy pozycji.

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 10. Dokładność odbiornika Nokia E66

Miara	Dokładność powtarzalna			Dokładność odtwarzalna		
	rms (p = 0.68) [m]	2drms (p = 0.95) [m]	95% z populacji [m]	rms (p = 0.68) [m]	2drms (p = 0.95) [m]	95% z populacji [m]
<b>3D błąd pozycji</b>	12.9639	25.9278	26.2733	50.0325	–	50.0325
<b>2D błąd pozycji</b>	3.0374	6.0748	5.3682	2.3487	–	2.3487
<b>1D błąd szerokości</b>	2.7721	5.5442	5.2095	2.1603	4.3206	5.0962
<b>1D błąd długości</b>	1.2415	2.4830	2.7400	0.9218	1.8436	2.6531
<b>1D błąd wysokości</b>	12.6031	25.2062	25.8431	49.9774	99.9548	75.8090

## DYSKUSJA

Przy monitorowaniu lokomocji człowieka w rekreacji czy sporcie dokładność wskazań urządzeń nawigacji satelitarnej jest najważniejszą, ale nie jedyną oczekiwaną funkcjonalnością. W urządzeniach Garmin (Edge 205, Forerunner 305) przy zapisie 1/s (potrzebnym, gdy użytkownik często zmienia prędkość lub kierunek ruchu) pamięć wypełnia się w około trzy i pół godziny (mimo możliwej pracy około dziesięciu godzin na baterii). Wyklucza to automatycznie możliwość dokonywania zapisu powyżej tego czasu, na przykład biegu maratońskiego amatora czy dłuższego maratonu MTB. W telefonach komórkowych, szczególnie dysponujących dużym wyświetlaczem, przy intensywnym użytkowaniu ograniczeniem jest czas pracy, nierzadko skracający się do kilku godzin. Najdłuższe działanie zapewniał wśród badanych odbiornik Qstarz — 32 godziny, jednak jest on (tak jak Wintec i Pentagram)

rejestratorem, zatem zapisane dane mogą być wykorzystane dopiero w postprocessingu. Kolejnym istotnym aspektem w lokomocji otwartej jest odporność na warunki atmosferyczne. W instrukcjach urządzeń Garmin Edge 205 oraz Forerunner 205 producent określa wodoodporność normą IPX7 (zanurzenie na 1 m pod wodę na 30 minut), w przypadku Forerunner 310XT zapewnia odporność na chwilowe zanurzenie/zachłapanie (*surface swimming*). W zbliżony sposób oceniony został Wintec WBT-100 — jako wodoodporny (*waterproof*). Ten rejestrator jako jedyny miał gumowaną, szczelną obudowę. Pozostałe rejestratory oraz telefony komórkowe użyte w niniejszym badaniu są typowymi urządzeniami elektronicznymi, wrażliwymi na wilgoć. Ostatnim ważnym aspektem jest masa: niewielka przy rejestratorach 48–67 g, nieco większa w odbiornikach naręcznych Forerunner 305 i 310XT (77 i 72 g), a w montowanym na kierownicy roweru (mocowanie w komplecie) Edge 205 — 88 g. W przypadku telefonów komórkowych znacząca masa Nokii E66 i iPhone 3GS (odpowiednio 121 g i 135 g) sugeruje, że należy znaleźć takie miejsce na ciele człowieka, by urządzenie nie przeszkadzało w poruszaniu się, a jednocześnie możliwy był dostęp do sygnałów satelitarnych (np. w górnej części pleców lub na barkach).

## WNIOSKI

Przeprowadzone badania oraz ocena funkcjonalnych cech odbiorników GPS stosowanych w szeroko rozumianej kulturze fizycznej składania do sformułowania następujących wniosków:

1. Wykorzystanie miar dokładności stosowanych w nawigacji i geodezji — dokładności przewidywanej i powtarzalnej — oraz metodyki pomiaru na punkcie geodezyjnym w pomiarze stacjonarnym może być przydatne do oceny wskazań pozycji odbiorników.
2. Cechy odbiorników, takie jak masa, częstotliwość zapisu danych, format danych, rozmiar pamięci, odporność na warunki atmosferyczne oraz wymiary stanowią dodatkowy, równie istotny co dokładność, czynnik decydujący o wykorzystaniu odbiorników GPS w badaniu lokomocji człowieka.
3. Badania wykazały, że grupa rejestratorów umożliwiła uzyskiwanie najwyższych dokładności w pomiarach statycznych.
4. Sugeruje się, by badania urządzeń ogólnodostępnych uzupełnić o pomiary kinematyczne, najlepiej w porównaniu z urządzeniami o wysokiej dokładności (stosowanymi np. w geodezji). Autorzy planują wykonanie takich pomiarów w oparciu o system odniesienia, jakim jest geodezyjna wielofunkcyjna sieć ASG-EUPOS.

**BIBLIOGRAFIA**

- [1] Amisco Technology, 2011, *System overview* [online], dostępny: <http://sport-universal.com/technology/system/system.html>.
- [2] Barbero-Alvarez J. C. i in., *The validity and reliability of a global positioning satellite system device to assess speed and repeated sprint ability (RSA) in athletes*, 'J Sci Med Sport', 2010, 13(2), pp. 232–255.
- [3] Button C., Petersen C., *Quantifying the physiological demands of football refereeing with GPS tracking technology*, University of Otawo, Dunedin 2005, New Zealand.
- [4] Castellano J., Casamichana D., *Heart rate and motion analysis by GPS in beach soccer*, 'Journal of Sports Science and Medicine', 2010, 9, pp. 98–103.
- [5] Centrum Badań Kosmicznych PAN, 2011, *Osnowa POLREF* [online], dostępny: [http://www.cbk.waw.pl/zgp/proj/polref\\_pl.html](http://www.cbk.waw.pl/zgp/proj/polref_pl.html).
- [6] Coutts A. J., Duffield R., *Validity and reliability of GPS devices for measuring movement demands of team sports*, 'Journal of Science and Medicine in Sport', 2010, 13, pp. 133–135.
- [7] Cych P., *Possibilities of and constraints on the application of GPS devices in controlling orienteering training*, University School of Physical Education, 'Studies in Physical Culture and Tourism', 2006, Vol. 13, No 2, Poznań, pp. 109–115.
- [8] Erdmann W. S., *Zakres badań lokomocji człowieka*, Ogólnopolska Konferencja „Lokomocja”, 5–6.06.1998, Gdańsk 1998.
- [9] Erdmann W. S., *Słowo wstępne*, II Ogólnopolska Konferencja „Lokomocja człowieka”, 30–31.05.2003, Gdańsk 2005.
- [10] Erdmann W. S., Zieniawa R., *Biomechanika judo*, Wyd. AWFis, Gdańsk 2011.
- [11] Erdmann W. S., Kuzora P., Dargiewicz R., *Computerised analysis of kinematics of soccer game and first results of a match played by Polish and Norwegian Olympic Teams*, Proceedings of the 3rd International Scientific Congress on Modern Olympic Sport, „Wychowanie Fizyczne i Sport”, 1999, XLIII, supl. 1., s. 212–213.
- [12] Garmin, 2011 [online], dostępny: <http://www.garmin.com>.
- [13] *Global Positioning System Standard Positioning Service Signal Specification*, United States of America Department of Defence, June 1995.
- [14] *Global Positioning System Standard Positioning Service Performance Standard*, United States of America Department of Defence, October 2001.



- [15] *Global Positioning System Standard Positioning Service Performance Standard*, United States of America Department of Defence, September 2008.
- [16] Góral W. i in., *Współczesne metody wykorzystania GPS w geodezji*, Wyd. AGH, Kraków 2008.
- [17] Gray A. J., Jenkins D., Andrews M. H., Taaffe D. R., Glover M. L., *Validity and reliability of GPS for measuring distance travelled in field-based team sports*, 'Journal of Sports Sciences', 2010, 28(12), pp. 1319–1325.
- [18] IAAF World Championships in Athletics, 2009, *Biomechanics Project — Berlin 2009* [online], dostępny: <http://berlin.iaaf.org/records/biomechanics/index.html>.
- [19] Ladetto Q., Merminod B., Terrier P., Schutz Y., *On Foot Navigation: When GPS Alone is Not Enough*, 'Journal of Navigation', 2000, 53, pp. 279–285.
- [20] MacLeod H., Morris J., Nevill A., Sunderland C., *The validity of a non-differential global positioning system for measuring player movement patterns in field jockey*, 'Journal of Sports Sciences', 2009, 27(2), pp. 121–128.
- [21] National Marine Electronics Association, 2011, *NMEA 0813 Standard* [online], dostępny: <http://www.nmea.org/>.
- [22] Oszczak B., Specht C., Oszczak S., Sitnik E., *Real Time Monitoring of Cars During European Rally Championships in Poland in 2005*, Proceedings of 12th World Congress of the International Association of Institutes of Navigation IAIN/GNSS 2006, Jeju Island, Rep. of Korea, 18–21 October 2006, pp. 241–246.
- [23] Pentagram, 2011 [online], dostępny: <http://www.pentagram.pl>.
- [24] Petersen C., Pyne D., Portus M., Dawson B., *Validity and reliability of GPS units to monitor cricket-specific movement patterns*, 'Int J Sports Physiology and Performance', 2009, 4, pp. 381–93.
- [25] Qstarz International Co., 2011 [online], dostępny: <http://www.qstarz.com>.
- [26] Specht C., *System GPS*, Wyd. Bernardinum, Pelplin 2007.
- [27] Terrier P., Ladetto Q., Merminod B., Schutz Y., *High-precision satellite positioning system as a new tool to study the biomechanics of human locomotion*, 'Journal of Biomechanics', 2000, 33(12), pp. 1717–1722.
- [28] Terrier P., Turner V., Schutz Y., *GPS analysis of human locomotion: further evidence for long-range correlations in stride-to-stride fluctuations of gait parameters*, 'Hum Mov Sci.', 2005, 24(1), pp. 97–115.
- [29] Trimble, 2011 [online], dostępny: <http://www.trimble.com>.
- [30] Ważny Z., *Leksykon treningu sportowego*, Warszawa 1994.
- [31] Wintec, 2011 [online], dostępny: <http://www.wintec.com.tw>.

## **FUNCTIONAL EVALUATION OF SELECTED GPS RECEIVERS USED IN SPORT**

### **ABSTRACT**

Producers of GPS receivers nowadays offer many easy to use, mobile units for amateur and professional sportsmen. The article compares technical aspects of different GPS devices and presents the results of tests of eight GPS sport-receivers. The selected GNSS units were divided into groups: dedicated to sports, dataloggers and implemented in mobile phones. The tests were carried out using repeatable and predictable accuracy measurements done on the geodetic network point located in Rybina (POLREF 5501). The geodetic coordinates were transformed in Gauss-Kruger projection to conformal x, y coordinates and statistical distributions were calculated. The article also presents a discussion on other, important in the functional point of view, GPS receiver characteristics, used by sportsmen.

Keywords:

mobile GPS receivers, locomotion, sport, leisure.