

Akademia Wychowania Fizycznego i Sportu im. *Jędrzeja Śniadeckiego* w Gdańsku

ROCZNIK NAUKOWY



Tom XXV
2015

Redaktor naczelny

Waldemar Moska

Redaktor prowadzący

Krzysztof Pniewski

Rada programowa

Włodzimierz S. Erdmann (*przewodniczący*)
Barbara Duda, Tomasz Frołowicz, Władysław Jagiełło, Małgorzata Resiak,
Wiesław Ziółkowski, Tomasz Taraszkiewicz

Recenzenci tomu

Marta Borowska-Stefańska, Grażyna Brzezińska-Rajszyś, Zbigniew Jastrzębski, Maciej Józwik, Ewa Kupcewicz, Mariusz Lipowski, Barbara Marciszewska, Tomasz Michalski, Jolanta Mogiła-Lisowska, Kazimierz Nagody-Mrozowicz, Marek Napierała, Monika Opanowska, Józef Opara, Stanisław Oszczak, Natalia Pobrichenko, Stanisław Sawczyn, Janusz Skalski, Teresa Socha, Andrzej Szwarz, ks. Bp Wiesław Śmigiel

Sekretarz redakcji

Katarzyna Dzierżanowska

Redaktor językowy

Jan Miklas-Frankowski
Krzysztof Pniewski

Redaktor statystyczny

Paweł Skonieczny

Skład i łamanie

Katarzyna Dzierżanowska

Okładka

Maciej Klejnglas

Wersja drukowana periodyku jest wersją pierwotną.
Czasopismo jest dostępne w wersji elektronicznej na www.awfis.gda.pl

© Copyright by Akademia Wychowania Fizycznego i Sportu, Gdańsk 2015

WYDAWNICTWO UCZELNIANE
Akademii Wychowania Fizycznego i Sportu
ul. Kazimierza Górskiego 1
80-336 Gdańsk
wydawnictwo@awf.gda.pl

ISSN 1730-7953

nakład 100 egz.

Spis treści

<i>I. Haponiuk, M. Chojnicki, M. Steffens, R. Jaworski, A. Szofer-Sendrowska, K. Paczkowski, A. Romanowicz, E. Kwaśniak, K. Gierat-Haponiuk, N. Irga-Jaworska, K. Leszczyńska, D. Szalewska, J. Zieliński</i>	Metody hybrydowe w leczeniu wybranych wrodzonych wad serca u dzieci – raport z programu naukowo-wdrożeniowego „Gdańsk Hybrid Heartlink”	5
<i>B. Wilk, M. Pasek, E. Kupcewicz</i>	Postawy prosomatyczne a zawartość tkanki tłuszczowej uczniów szkoły podstawowej	16
<i>A. Walentukiewicz, A. Łysak, B. Wilk</i>	Aktywność fizyczna studentek pielęgniarstwa	24
<i>M. Rokicka-Hebel, P. Haja</i>	Crossfit – wyzwanie dla osób w różnym wieku	29
<i>M. Pasek, R. Drózd</i>	Ruchliwość jako przejaw motoryczności człowieka w świetle miejsca realizacji aktywnego wypoczynku i płci	37
<i>M. Piernicka, A. Szumilewicz, M. Dornowski, N. Rajkowska</i>	Nauczanie techniki ćwiczeń mięśni dna miednicy u studentek uczelni sportowej – randomizowane badanie eksperymentalne z grupą kontrolną	45
<i>M. Łochowska, A. Szumilewicz, M. Dornowski, M. Piernicka, N. Rajkowska</i>	Poprawa funkcji mięśni dna miednicy u zdrowych nieródek po treningu realizowanym pod nadzorem instruktora lub samodzielnie – randomizowane badania z dwiema grupami eksperymentalnymi	53
<i>Z. Czubek, A. Żak, T. Dudziak, M. Grabowski, T. Kocharczyk</i>	Bezpieczeństwo żeglarzy na szlaku Wielkich Jezior Mazurskich	59
<i>C. Specht, T. Szot, P. Skonieczny</i>	Ocena dokładności procedury uśredniania współrzędnych punktu w turystycznych odbiornikach nawigacji satelitarnej Garmin	69
<i>E. Kabath</i>	Kult Męki Pańskiej na Pomorzu – przykład Kalwarii Wejherowskiej i Wielewskiej	78
<i>B. Przysiężna, D. Blomberg</i>	Zagospodarowanie pasa nadmorskiego w Gdańsku w opinii mieszkańców	92
<i>J. Ziółkowska</i>	Możliwości zastosowania podejścia systemowego w procesie organizacji imprez masowych.	102
<i>D. Skalski</i>	Krytyczno-konstruktywistyczna koncepcja socjalizacji ruchowej	113
<hr/>		
<i>INSTRUKCJA DLA AUTORÓW</i>		123
<i>ARKUSZ RECENZJI</i>		125
<i>OŚWIADCZENIE AUTORA</i>		126

Ocena dokładności procedury uśredniania współrzędnych punktu w turystycznych odbiornikach nawigacji satelitarnej Garmin

An evaluation of waypoint averaging procedure used in Garmin recreational GNSS receivers

CEZARY SPECHT^{1 AF}, TOMASZ SZOT^{2 ABCDE}, PAWEŁ SKONIECZNY^{3 C}

¹ Akademia Morska Gdynia

² Akademia Wychowania Fizycznego i Sportu im. Jędrzeja Śniadeckiego w Gdańsku

³ Studia doktoranckie, Akademia Wychowania Fizycznego i Sportu im. J. Śniadeckiego w Gdańsku

A – projekt badania; B – zebranie danych; C – analiza statystyczna; D – interpretacja danych; E – przygotowanie maszynopisu;
F – przegląd piśmiennictwa; G – zapewnienie finansowania

Streszczenie

Odbiorniki globalnych systemów nawigacji satelitarnej stały się w ostatniej dekadzie bardzo popularnym narzędziem monitorowania lokomocji człowieka. Dla większości przypadków dokładność wyznaczenia pozycji przez odbiorniki kodowe, najczęściej wykorzystywane przez użytkowników nieprofesjonalnych, jest wystarczająca. Są jednak zastosowania wymagające wyższej dokładności, np. ustalenie pozycji skrytki w grze terenowej typu geocaching. W artykule dokonano oceny dokładności procedury uśredniania współrzędnych punktu, zaimplementowanej w turystycznych odbiornikach nawigacji satelitarnej Garmin.

Rezultaty uzyskane w trzech próbach (#1 – zapis punktu bez uśredniania, #2 – zapis punktu przy użyciu procedury uśredniania, #3 – zapis punktu przy użyciu procedury uśredniania z wykorzystaniem kilku próbek) odniesiono do punktu referencyjnego POLREF, wchodzącego w skład podstawowej osnowy geodezyjnej w Polsce. Miary dokładności wyznaczeń współrzędnych pozycji CEP, DRMS oraz 2DRMS wyniosły odpowiednio: dla próby #1 – 1.06, 1.27, 2.55 m; #2 – 1.11, 1.34, 2.69 m oraz #3 – 0.67, 0.71, 0.73 m. Tym samym potwierdzono funkcjonalność procedury uśredniania z wykorzystaniem kilku próbek (#3).

Brak istotnych różnic pomiędzy próbą #1 a #2 uzasadniono sprzyjającym układem satelitów podczas pomiarów (bardzo niskie współczynniki DOP) oraz konfiguracją terenu na punkcie referencyjnym.

Słowa kluczowe: turystyka, geocaching, uśrednianie punktu, GPS.

Abstract

Global navigation satellite systems (GNSS) have become a very popular tool used for monitoring human's locomotion. In most cases position determination accuracy obtained with the aid of code receivers used mostly by unprofessional users is sufficient enough. However, there are situations in which more precise measurements are needed. Such may be the case when determining a cache position in a geocaching terrain game. In this article the waypoint averaging procedure implemented in Garmin recreational receivers has been assessed.

The results obtained in three trials (#1 – determining the position without averaging, #2 – determining the position with averaging, #3 - determining the position with the use of a few samples) were compared to the POLREF reference point, which is part of the Polish basic geodetic control network. The CEP, DRMS and 2DRMS accuracy measures were calculated respectively as: trial #1 – 1.06, 1.27, 2.55 m; #2 – 1.11, 1.34, 2.69 m and #3 – 0.67, 0.71, 0.73 m. Thus functionality of determining the position averaging procedure with the use of a few samples (#3) has been confirmed.

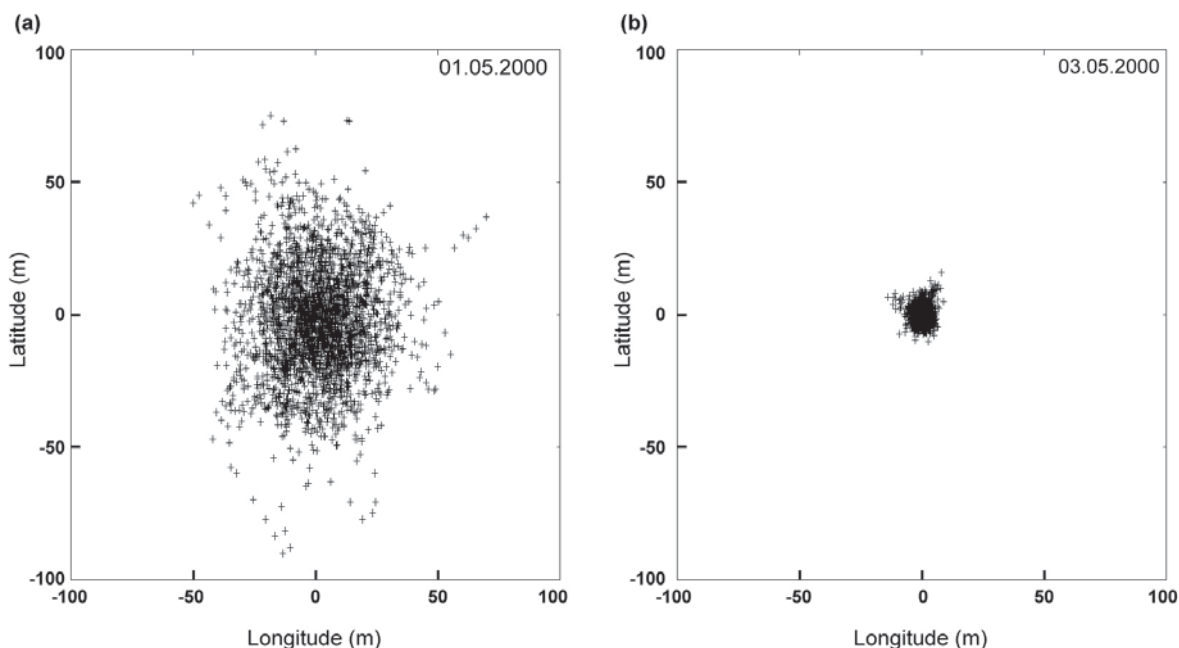
Lack of significant differences between trial #1 and #2 was justified by a favorable constellation of satellites (very low DOP coefficients) as well as land configuration in the reference point.

Key words: tourism, geocaching, waypoint averaging, GPS.

Wstęp

System nawigacji satelitarnej NAVSTAR GPS został udostępniony użytkownikom w połowie ostatniej dekady XX wieku. Początkowo jego dokładność była niska i wynosiła ≤ 100 m w płaszczyźnie horyzontalnej dla 95% pomiarów pozycji [1]. Takie rezultaty były w dużej części wynikiem celowych zakłóceń (ang. *Selective Availability*, SA) wprowadzanych do sygnałów emitowanych przez satelity nawigacyjne systemu. Kilka lat później, 02.05.2000 r., zarządzeniem ówczesnego prezydenta USA – Billa Clintona, wyłączono selektywną dostęp-

ność, a wielokrotnie zwiększona dokładność znalazła potwierdzenie w oficjalnych dokumentach systemu [2, 3]. Różnicę w pomiarach 24-godzinnych, które zrealizowano 1 maja 2000 r. przy włączonym SA oraz 3 maja – bez SA, przedstawiono na ryc. 1a i b.



Ryc. 1. Rozkład zmierzonych pozycji, określonych systemem GPS przed i po usunięciu celowych zakłóceń SA

Znaczący wzrost dokładności systemu spowodował, że odbiornik GPS stał się narzędziem, które znalazło zastosowanie w wielu obszarach: gospodarki, nauki i innych. W przeważającej większości odbiorniki przeznaczone do zastosowań nieprofesjonalnych (np. nawigacja samochodowa, sport, rekreacja) wyznaczają pozycję w oparciu o tzw. pomiar kodowy, zwany także pomiarem pseudoodległości [4, s. 89]. Dokładność przy jego wykorzystaniu opisują oficjalne dokumenty wspomniane wyżej, określając, że dla tego typu odbiorników (najpopularniejszych) są to wartości: w płaszczyźnie horyzontalnej ≤ 9 m, a w wertykalnej ≤ 15 m (dla 95% wyznaczeń pozycji). Badania stacjonarne odbiorników sportowych wykazały [5], że dokładność poszczególnych odbiorników w pomiarach kodowych, przy sprzyjającej konstelacji satelitów, jest znacząco lepsza i wynosi nie więcej niż 6 m (95%). Na te wartości ma wpływ wiele czynników, co opisano w [4, s. 125; 6, s. 145].

W sporcie, rekreacji i ogólnie – w monitorowaniu lokomocji człowieka – od lat stosuje się odbiorniki nawigacji satelitarnej. Pierwsi badacze wykorzystywali tę technologię jeszcze przed wyłączeniem SA [7], zastanawiając się, czy systemy GNSS mogą się przydać do uzyskania informacji o aktywności fizycznej. Wnioskiem z przeprowadzonych prób monitorowania biegu, chodu i jazdy na rowerze na bieżni lekkoatletycznej była sugestia skorzystania z pomiarów różnicowych jako sposobu na poprawę wskazań. Było to przyczynkiem do przeprowadzenia kolejnych badań, przy wykorzystaniu DGPS [8, 9]. Wyłączenie selektywnej dostępności spowodowało znaczący wzrost dokładności ustalania pozycji, co jako jedni z pierwszych wykorzystali Witte i Willson [10], przeprowadzając badanie dokładności rejestratorów GPS działających bez trybu różnicowego. Zapotrzebowaniu na lekkie, autonomiczne urządzenia nawigacji satelitarnej, za pomocą których można uzyskać miarodajne informacje o lokomocji w dynamicznych dyscyplinach, odpowiedzieli producenci GPSports oraz Catapult. Firmy przedstawiły odbiorniki, które odbierając sygnał GPS (niekorygowany dodatkowymi systemami geostacjonarnymi czy metodami DGPS) współpracują jednocześnie z wbudowanymi czujnikami nawigacji inercjalnej – INS (ang. *Inertial Navigation Systems*). Bazując na tych urządzeniach, przeprowadzono szereg badań dotyczących ich wykorzystania w poszczególnych dyscyplinach/konkurencjach sportowych [11–23].

Do wyznaczenia pozycji, związanych z typową nawigacją, np. określenia współrzędnych zabytkowego budynku, pola campingowego czy restauracji, dokładność rzędu 5–10 m będzie wystarczająca. W przypadku nawigacji samochodowych producenci radzą sobie z tym błędem „wyrównując” wyliczoną pozycję do najbliższej pasującej drogi na ekranie. Niemniej znajdują się zastosowania, jak chociażby geocaching (gra terenowa polegająca na odkrywaniu „skrytek” przy wykorzystaniu odbiorników nawigacji satelitarnej, nazywana „turystyką XXI wieku”), w której precyzyjne ustalenie lokalizacji skrytki jest kluczowe, aby następny użytkownik mógł ją odnaleźć. Gra ta jest zresztą bardzo dobrym przykładem pokazującym, jak rozwijająca się technologia aktywizuje społeczeństwo – według danych z końca 2012 r. na całym świecie było 1,95 mln skrytek i ponad 5 mln uczestników, w Polsce odpowiednio 15,5 tys. i 17 tys. [24].

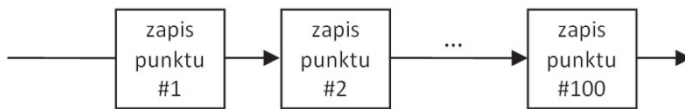
Jednym ze sposobów poprawy dokładności wartości mierzonej jest uśrednianie wielu pojedynczych pomiarów. Możliwość taką posiadają np. turystyczne odbiorniki firmy Garmin (seria Dakota, eTrex, GPSMAP, Montana, Oregon, wykorzystujące funkcję określaną terminem „waypoint averaging” – uśrednianie). Autorzy niniejszego artykułu również przyjęli w tytule określenie „uśrednianie”, zdając sobie sprawę, że jest to zagadnienie z zakresu geodezyjnego wyrównania współrzędnych przy nadmiarowej liczbie pomiarów, od wielu lat stosowane w tej dyscyplinie naukowej. Ponieważ firma Garmin nie udostępnia formuły tego uśredniania, to też nie wiadomo, w jaki sposób te wartości są aproksymowane. Według instrukcji użytkownika dołączonych do odbiorników (i opublikowanych on-line), w których funkcja „waypoint averaging” występuje, zapisano, iż umożliwi ona zwiększenie dokładności uzyskanej pozycji dzięki większej liczbie wykonanych pomiarów. Aby uzyskać optymalne rezultaty, należy zebrać od czterech do ośmiu próbek (pomiarów) dla wybranego punktu, czekając co najmniej 90 minut przez zapisaniem kolejnych. Producent podaje także odnośnik do specjalnej strony www poświęconej tej metodzie [25], pisząc: „Tradycyjne, krótkoterminowe uśrednianie pozycji zajmuje kilka minut. Technika ta usuwa błędy grube wyznaczania pozycji i jest najbardziej korzystna, gdy warunki są trudne (np. pod gęstą osłoną drzew), ale nie może wyeliminować błędów wynikłych z aktualnej konstelacji satelitów. [...] Prowadzone badania ujawniły dwa ważne czynniki wpływające na największą redukcję błędów: liczbę próbek (wykonanych pomiarów) i czas, który upłynął pomiędzy nimi”.

Ponieważ w literaturze nie ma badań dotyczących dokładności wyznaczenia pozycji za pomocą procedury uśredniania punktu (ang. *waypoint averaging*) zaimplementowanej w odbiornikach nawigacji satelitarnej Garmin, autorzy podjęli próbę jej oceny, stawiając następujące pytania badawcze:

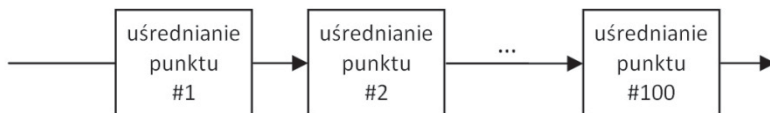
1. Czy wyznaczenie współrzędnych pozycji, będącej wynikiem uruchomionej jednokrotnie procedury uśredniania, skutkuje poprawą dokładności wskazań w porównaniu do zapisania pojedynczej pozycji bez uśredniania?
2. Czy wyznaczenie współrzędnych pozycji, będące wynikiem zastosowania procedury sugerowanej przez Garmin (min. 4 próbki uśredniania dla tego samego punktu w odstępach nie krótszych niż 1,5 godz.) spowoduje znaczącą poprawę dokładności wyznaczenia pozycji?

Material i metody

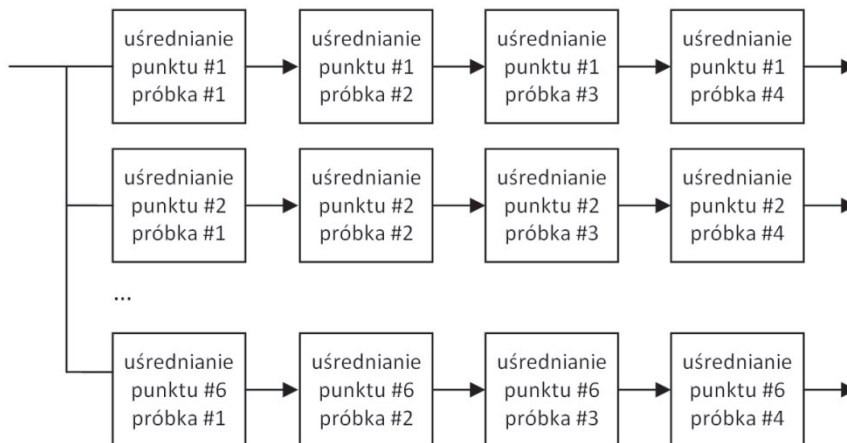
Koncepcja badania przedstawionego w niniejszym artykule polegała na porównaniu wyników dokładności określenia pozycji dla trzech trybów wyznaczania współrzędnych. Porównano: pomiary pojedyncze (100 zapisów punktu, Próba #1) z pomiarami, w których wyznaczenie pozycji następowało dzięki jednokrotnie uruchomionej procedury uśredniania (100 zapisów punktu, Próba #2) oraz pomiarami wynikającymi z procedury uśredniania, którą powtórzono kilkakrotnie dla tego samego punktu w odstępie czasowym przewidzianym przez instrukcję wymienioną we wstępie (6 zapisów punktu, Próba #3). Wyniki pomiarów odniesiono do wzorca, którym był punkt narodowej sieci geodezyjnej. Poniżej przedstawiono procedurę realizacji trzech prób wraz z ich opisami:

(Próba #1) Zapis punktu bez uśredniania

Zapisano 100 współrzędnych, zapisując punkt za punktem w ciągu 1,5 godz. W menu urządzenia: Zaznacz waypoint.

(Próba #2) Zapis punktu przy użyciu procedury uśredniania

Zapisano 100 współrzędnych, które zostały uzyskane po jednokrotnym uruchomieniu procedury uśredniania punktu. Czynność powtarzano w ciągu 1,5 godz. Dla większości punktów proces ten trwał ok. 35 s, w nielicznych przekroczył 1 min.

(Próba #3) Zapis punktu przy użyciu procedury uśredniania z wykorzystaniem kilku próbek

Uruchamiano procedurę uśredniania punktu, zapisywano tę próbkę (*waypoint*), a następnie czterokrotnie w odstępach nie krótszych niż 1,5-godzinne ponownie uruchamiano uśrednianie dla tej samej próbki. Czynność wykonano dla sześciu punktów.

Pojęcie dokładności określenia pozycji (w tym przypadku: pozycji odbiornika) oznacza stopień zgodności statystyk (ich rozkładów) zmierzonych (określonych) współrzędnych pozycji z wartościami rzeczywistymi lub tymi, które przyjmujemy za rzeczywiste [4, s. 48]. Miarą dokładności określenia pozycji jest jej błąd, który możemy oceniać w odniesieniu do dowolnego wymiaru: przestrzeni lub płaszczyzn. W nawigacji powszechnie stosowana jest dokładność przewidywana określenia pozycji (ang. *predictable accuracy*) – 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 (teoretycznie – bezbłędnie) w układzie współrzędnych używanych przez system (WGS-84). Miara ta jest najczęściej przytaczanym wskaźnikiem dokładności systemów nawigacyjnych, bowiem daje informację dotyczącą jakości rozwiązania nawigacyjnego wraz z dowiązaniem do układu współrzędnych. 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. W tym celu należy prowadzić obserwację rozkładu pozycji otrzymanej z danego odbiornika w stosunku do punktu, którego współrzędne znamy z wysoką precyzją.

W niniejszym artykule przyjęto, że istotna będzie ocena dokładności wyznaczenia punktu na płaszczyźnie (2D), zatem należy zastosować następujące miary: CEP – ang. *Circular Error Probability*, błąd kołowy, określa promień okręgu (o środku w rzeczywistej pozycji anteny odbiornika lub przybliżonych przez średnie wartości), w którym znajduje się 50% wyznaczeń pozycji, DRMS – ang. *Distance Root Mean Square*, błąd średni wyznaczenia pozycji, mówiący o odległości, w jakiej znajduje się 68% pomiarów oraz 2DRMS – podwojony błąd średni wyznaczenia pozycji, określający, w jakiej odległości od rzeczywistego punktu znajdzie się 95% pomiarów.

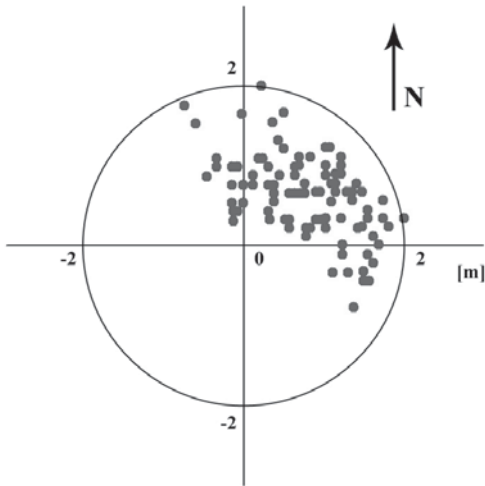
W badaniu wykorzystano odbiornik Garmin Dakota 10, posiadający funkcję uśredniania punktu (ang. *waypoint averaging*) posiadającego wersję oprogramowania 5.80. Ponieważ zapis punktu, jest z natury zapisem pozycji nieruchomego odbiornika, w ocenie dokładności oparto się o test statycznego wyznaczenia pozycji (ang. *Static Navigation Accuracy*), opisany w dokumencie Instytutu Nawigacji [26]. Określa on, z jaką dokładnością odbiornik jest w stanie wyznaczyć swoją pozycję w odniesieniu do znanej pozycji (tzw. dokładność przewidywana) na powierzchni Ziemi lub niedaleko niej. Pomiarów przeprowadzono w oparciu o punkt POLREF o bardzo dokładnie znanych współrzędnych (nr 5501, B = 54° 17' 15.68430" N, L = 19° 05' 16.38710" E, h = 30.266 m), wchodzący w skład podstawowej osnowy geodezyjnej w Polsce (POLREF, ang. *Polish Reference Frame*) [27]. Współrzędne punktów tej sieci znane są z dokładnością nie gorszą niż 1 cm horyzontalnie. Odbiornik umieszczono na statywie dokładnie nad punktem osnowy, na wysokości 1,36 m. Miejsce charakteryzuje się brakiem przeszkód terenowych (widoczność całego nieba).

Dla przeprowadzenia Prób #1 i #2 wybrano taką porę pomiarów, aby zapewnić niskie wartości współczynników geometrycznych DOP (HDOP < 1.25), a tym samym – bardzo dobre warunki do obserwacji satelitów i gwarantując relatywnie wysoką dokładność określenia pozycji. W tym celu wykorzystano oprogramowanie Trimble Planning [28].

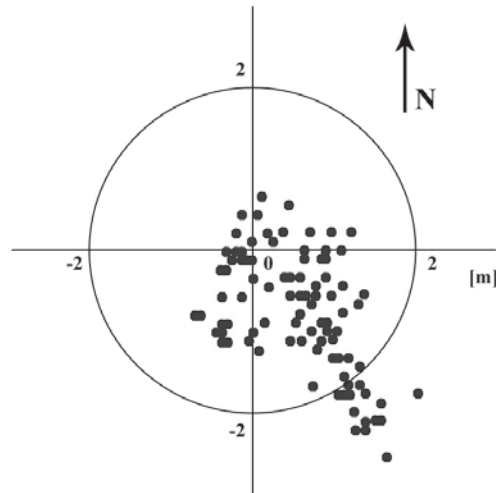
Ponieważ współrzędne, które uzyskano w pomiarach, reprezentowane są w mierze kątowej (krzywoliniowej: szerokość, długość geograficzna), dlatego by je ocenić, dokonano rzutowania z powierzchni elipsoidy obrotowej (WGS-84) na powierzchnię płaską przy wykorzystaniu transformacji Gaussa-Krugerera, stosowanej powszechnie w geodezji. W wyniku obliczeń uzyskano współrzędne płaskie (x, y). Obliczenia oparto na własnym arkuszu w programie Mathcad, a szczegółowy algorytm zaprezentowano we wcześniejszej publikacji [29].

Wyniki

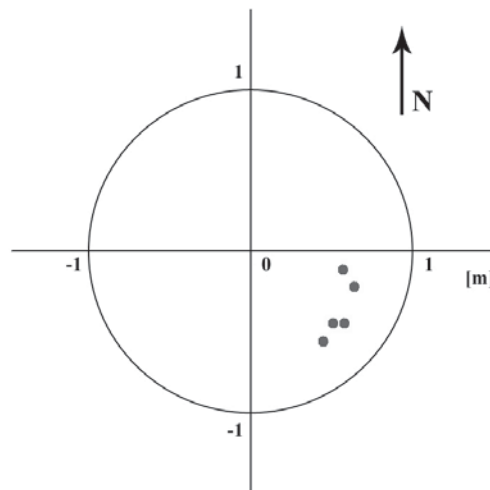
Na poniższych rycinach dokonano graficznego porównania trzech badanych trybów (Próba #1, Próba #2, Próba #3) wyznaczania współrzędnych za pomocą odbiornika Garmin Dakota. Na ryc. 2 przedstawiono 100 punktów zapisywanych pojedynczo, naniesionych na układ współrzędnych, którego środek (0,0) stanowił punkt POLREF 5501. Najmniejsza odległość od punktu referencyjnego wyniosła 0,36 m, największa – 2,02 m, a średnia – 1,21 m. Z kolei na ryc. 3 pokazano 100 punktów uzyskanych przy wykorzystaniu procedury uśredniania. Uzyskano wartości odpowiednio: 0,10 m (min), 3,03 m (max) i 1,14 m (średnia). Na ryc. 2 i 3 promień okręgu to 2 m. Natomiast ryc. 4 przedstawia 5 punktów uzyskanych za pomocą procedury uśredniania, którą następnie (zgodnie z instrukcją Garmin) uzupełniono o kolejne próbki w odstępach 1,5-godzinnych. W tym przypadku najmniejsza uzyskana wartość wyniosła 0,58 m, największa – 0,73 m, a średnia 0,67 m. Okrąg na tej rycinie ma promień 1 m.



Ryc. 2. Punkty współrzędnych zapisywane pojedynczo (Próba #1), przekształcone do współrzędnych płaskich



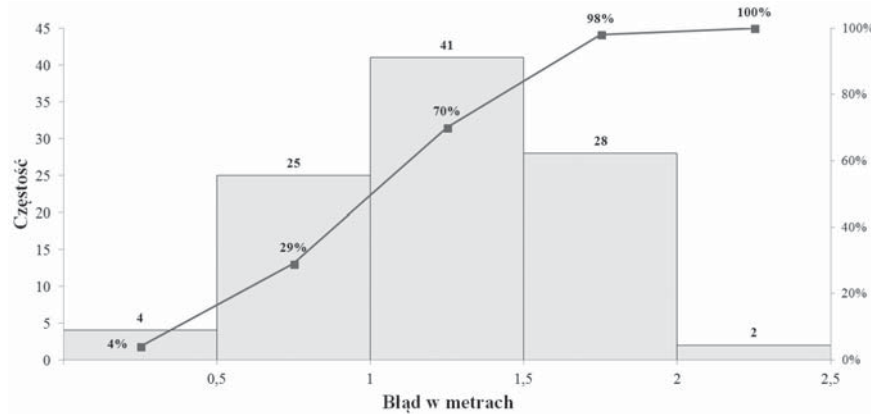
Ryc. 3. Punkty współrzędnych uzyskane procedurą uśredniania (Próba #2), przekształcone do współrzędnych płaskich



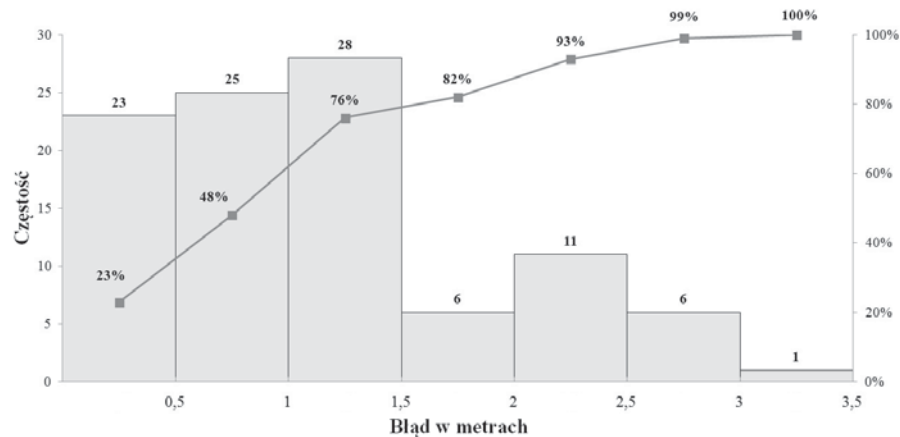
Ryc. 4. Punkty współrzędnych uzyskane procedurą kilkukrotnego uśredniania tej samej próbki (Próba #3), przekształcone do współrzędnych płaskich

Innym graficznym sposobem na przedstawienie rozkładu danej cechy (błędu pozycji) są histogramy, które zastosowano by zobrazować Próbę #1 i #2 (obie po 100 punktów współrzędnych). Na osi odciętych przedstawiono wielkość błędu w przedziałach co 0,5 m (wartość ustalona arbitralnie), natomiast na lewej osi rzędnych – częstość wystąpień błędów. Jak można zauważyć na rys. 5 najczęściej występującym błędem wśród punktów współrzędnych zapisywanych pojedynczo (Próba #1) była wartość z przedziału 1–1,5 m. Pogrubiona linia stanowi procentowe, skumulowane ujęcie częstości – można z niej odczytać, że 70% punktów współrzędnych nie przekroczyła wartości błędu 1,5 m, a 98% – 2 m.

Z kolei rys. 6. przedstawia histogram błędów wyznaczeń pozycji uzyskanych przy wykorzystaniu procedury uśredniania (Próba #2). Jak można zauważyć – ma on więcej przedziałów, czyli były takie wartości błędów, które znalazły się w większej odległości od punktu referencyjnego, aniżeli w przypadku Próby #1. Nie ma jednego przedziału, który wyróżniałby się od pozostałych. Odczytując wartości w ujęciu procentowym skumulowanym (pogrubiona linia), można ocenić, że 76% punktów współrzędnych nie przekroczyła wartości błędu 1,5 m, 93% – 2,5 m, a 99% – 3 m.



Ryc. 5. Histogram błędów wyznaczeń pozycji punktów zapisywanych pojedynczo



Ryc. 6. Histogram błędów wyznaczeń pozycji punktów uzyskanych procedurą uśredniania

W nawigacji oceny dokładności wyznaczeń pozycji na płaszczyźnie dokonuje się za pomocą miar takich jak: błąd kołowy (CEP), błąd średni wyznaczenia pozycji (DRMS) oraz podwojony błąd średni wyznaczenia pozycji (2DRMS). Wyliczono je dla wszystkich prób i zestawiono w tabeli 1.

Tabela. 1. Nawigacyjne miary dokładności wyznaczeń współrzędnych pozycji

Tryb wyznaczenia współrzędnych	Miary dokładności 2D [m]		
	CEP (50%)	DRMS (68%)	2DRMS (95%)
Próba #1	1,06	1,27	2,55
Próba #2	1,11	1,34	2,69
Próba #3 *	0,67	0,71	0,73

* miary wyznaczone z populacji

Jak wynika z wyliczeń zaprezentowanych w tabeli, najmniejsze wartości wszystkich przyjętych miar odległości dotyczą Próby #3, czyli procedury uśredniania punktu złożonej z kilku próbek zebranych w odstępach czasowych.

Dyskusja

W artykule podjęto próbę oceny wyznaczenia współrzędnych punktu za pomocą procedury uśredniania zaimplementowanej w wybranych, kodowych odbiornikach turystycznych firmy Garmin. Typowy – pojedynczy pomiar współrzędnych punktu, jest obciążony wieloma błędami wynikającymi ze specyfiki pomiaru satelitarnego, dlatego uśrednianie ma w założeniu

pomóc w osiągnięciu dokładniejszych współrzędnych pozycji. Aby ocenić tę procedurę, postanowiono (a) zebrać pojedyncze pomiary – Próba #1, (b) przeprowadzić jednokrotnie procedurę uśredniania – Próba #2 oraz (c) przeprowadzić procedurę uśredniania złożoną z kilku próbek – Próba #3. Wszystkie pomiary odniesiono do punktu referencyjnego, znanego z bardzo dużą dokładnością.

Porównując wyniki uzyskane w próbach #1 oraz #2 przedstawione w tabeli 1 oraz na rycinach 5 i 6, można zauważyć, że między nimi nie ma istotnych różnic. W obu przypadkach 50% wyznaczeń pozycji jest odległych od punktu rzeczywistego o ok. 1,1 m, a inne miary są do siebie bardzo zbliżone (68% wyznaczeń pozycji ok. 1,3 m, 95% wskazań pozycji ok. 1,65 m). Warunki pomiarów były bardzo dobre – odbyły się przy sprzyjającym układzie satelitów GPS (niskie współczynniki DOP) oraz przy braku jakichkolwiek przeszkód terenowych na punkcie referencyjnym, w związku z czym sygnał docierający do odbiornika był sygnałem bezpośrednim, a nie odbitym. Potwierdza to informację zawartą w instrukcji odbiornika Garmin, stwierdzającą, że krótkoterminowe uśrednianie jest najbardziej korzystne w trudnych warunkach. Przesunięcie zapisywanych punktów na północny wschód, widoczne na ryc. 2, jest wynikiem zmian w położeniach satelitów, do których odnosił się odbiornik, w trakcie 1,5-godzinowego pomiaru i nie należy wyciągać z nich dodatkowych wniosków.

Natomiast procedura uśredniania punktu złożona z kilku próbek (Próba #3) sugerowana w instrukcji producenta, wykazała znaczącą poprawę w dokładności wyznaczenia pozycji w porównaniu do prób #1 oraz #2, a także do stacjonarnych badań odbiorników kodowych sportowych i rekreacyjnych przywołanych we wstępie [5]. Na podstawie wyznaczonych w ten sposób pięciu punktów miary nawigacyjne wyniosły: CEP = 0,67 m, DRMS = 0,71 m, 2DRMS = 0,73 m. Poziom wielkości błędu jest wystarczający do większości zastosowań amatorskich, np. w geocachingu czy innej działalności wymagającej ustalenia dokładnej pozycji, aczkolwiek należy pamiętać, że procedura ta jest bardzo czasochłonna, bowiem wymaga pojawienia się w mierzonym punkcie od czterech (tak jak w niniejszym badaniu) do ośmiu razy, w odstępach nie mniejszych niż 1,5 godz.

Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań ustalono następujące wnioski:

1. Współrzędne pozycji uzyskane przy użyciu procedury uśredniania z wykorzystaniem kilku próbek (Próba #3) były dwukrotnie dokładniejsze niż współrzędne przy użyciu procedury uśredniania (Próba #2) oraz zapisywane bez uśredniania (Próba #1).
2. Nie wykazano znaczących różnic pomiędzy zwykłym zapisem współrzędnych pozycji (Próba #1) a zapisem będącym wynikiem pojedynczej procedury uśredniania (Próba #2) przy sprzyjającej konstelacji satelitów i braku zasłon sygnału.
3. Sugeruje się podjęcie oceny procedury uśredniania również w warunkach ograniczonego dostępu satelitów (częściowego zakrycia nieba), np. pod gęstym listowiem, w sytuacji typowej dla użytkownika rekreacyjnego.

BIBLIOGRAFIA

- [1] GPS SPS SS, Global Positioning System Standard Positioning Service Signal Specification, 1995. www.gps.gov/technical/ps/ (dostęp: 10.2015)
- [2] GPS SPS PS, Global Positioning System Standard Positioning Service Performance Standard, 2001. www.gps.gov/technical/ps/ (dostęp: 10.2015)
- [3] GPS SPS PS, Global Positioning System Standard Positioning Service Performance Standard, 2008. www.gps.gov/technical/ps/ (dostęp: 10.2015)
- [4] Specht C. System GPS. Pelplin: Wyd. Bernardinum; 2007.
- [5] Specht C. Szot T. Ocena funkcjonalna wybranych ogólnodostępnych odbiorników GPS używanych w sporcie. Zeszyty Naukowe Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni. 2012;1(188):131-148.
- [6] Januszewski J. Systemy satelitarne GPS, Galileo i inne. Warszawa: Wyd. Nauk. PWN; 2010.
- [7] Schutz Y, Chambaz A. Could a satellite-based navigation system (GPS) be used to assess the physical activity of individuals on earth? *Eur J Clin Nutr.* 1997;51(5):338-339.

- [8] Schutz Y, Herren R. Assessment of speed of human locomotion using a differential satellite global positioning system. *Med Sci Sport Exerc.* 2000;32(3):642-646.
- [9] Terrier P, Ladetto Q, Merminod B, Schutz Y. High-precision satellite positioning system as a new tool to study the biomechanics of human locomotion. *J Biomech.* 2000;33:1717-1722.
- [10] Witte TH, Wilson AM. Accuracy of non-differential GPS for the determination of speed over ground. *J Biomech.* 2004;37:1891-1898.
- [11] Macleod H, Morris J, Nevill A, Sunderland C. The validity of a non-differential global positioning system for assessing player movement patterns in field hockey. *J Sport Sci.* 2009;27(2):121-128.
- [12] Petersen C, Pyne D, Portus M, Dawson B. Validity and reliability of GPS units to monitor cricket-specific movement patterns. *Int J Sport Physiol Perform.* 2009;4:381-93.
- [13] Coutts AJ, Duffield R. Validity and reliability of GPS devices for measuring movement demands of team sports. *J Sci Med Sport.* 2010;13(1):133-135.
- [14] Castellano J, Casamichana D. Heart rate and motion analysis by GPS in beach soccer. *J Sport Sci Med.* 2010;9:98-103.
- [15] Portas MD, Harley JA, Barnes CA, Rush CJ. The validity and reliability of 1-Hz and 5-Hz global positioning systems for linear, multidirectional and soccer-specific activities. *International J Sport Physiol Perform.* 2010;5(4):448-458.
- [16] Jennings D, Cormack S, Coutts AJ, Boyd L, Aughey RJ. The validity and reliability of GPS units for measuring distance in team sport specific running patterns. *Int J Sport Physiol Perform.* 2010;5:328-341.
- [17] Gray AJ, Jenkins D, Andrews MH, Taafe DR, Glover ML. Validity and reliability of GPS for measuring distance travelled in field-based team sports. *J Sport Sci.* 2010;28(12):1319-1325.
- [18] Barbero-Alvarez JC, Coutts A, Granda J, Barbero-Alvarez V, Castagna C. 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):232-235.
- [19] Waldron M, Worsfold P, Twist C, Lamb K. Concurrent validity and test-retest reliability of a global positioning system (GPS) and timing gates to assess sprint performance variables. *J Sport Sci.* 2011;29(15):1613-1619.
- [20] Varley M, Fairweather I, Aughey R. Validity and reliability of GPS for measuring instantaneous velocity during acceleration, deceleration, and constant motion. *J Sport Sci.* 2012;30(2):121-127.
- [21] Hurst HT, Sinclair J. Validity and reliability of 5 Hz GPS for measurement of non-linear cycling distance and velocity. *Int J Sport Sci Engin.* 2013;7(01):11-16.
- [22] Beanland E, Main LC, Aisbett B, Gustin P, Netto K. Validation of GPS and accelerometer technology in swimming. *J Sci Med Sport.* 2013;17(2):234-8.
- [23] Johnston R, Watsford ML, Kelly SJ, Pine MJ, Spurr W. Validity and interunit reliability of 10 Hz and 15 Hz GPS units for assessing athlete movement demands. *J Strength Cond Res.* 2014;28(6):1649-55.
- [24] Samołyk M. Geocaching – nowa forma turystyki kulturowej. *Turystyka Kulturowa.* 2013;11:17-31.
- [25] Garmin: Waypoint averaging, 2009. <http://garmin.blogs.com/softwareupdates/2009/04/waypoint-averaging.html> (dostęp: 10.2015).
- [26] ION, Institute of Navigation. ION STD 101: Recommended Test Procedures For GPS Receivers. Revision C, USA 1997.
- [27] Góral W, Banasik P, Kudrys J, Skorupa B. Współczesne metody wykorzystania GPS w geodezji. Kraków: Wyd. AGH; 2008.
- [28] Trimble: GNSS Planning Online. <https://www.trimble.com/GNSSPlanningOnline> (dostęp: 10.2015).
- [29] Specht M, Szot T. Accuracy Analysis of GPS Sports Receivers in Dynamic Measurements. *Ann Navig.* 2012;19/1:165-176.

Autor korespondencyjny:

Dr Tomasz Szot

Zakład Metodologii i Statystyki, Wydział Wychowania Fizycznego, AWFIS Gdańsk

ul. Kazimierza Górskiego 1, 80-336 Gdańsk

e-mail: tomaszszot@gmail.com