

Stanisław Oszczak*, Adam Ciećko*

ANALIZA DOKŁADNOŚCI POMIARU DZIAŁEK ROLNYCH TECHNIKĄ GPS DLA CELÓW KONTROLI OBSZAROWYCH W SYSTEMIE IACS

1. Wstęp

W artykule zaprezentowano projekt badawczy wykonany wspólnie przez Akademię Górniczo-Hutniczą w Krakowie, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie oraz Uniwersytet w Gembloux (Belgia) na zlecenie ośrodka badawczego Komisji Europejskiej – JRC (Joint Research Centre) w Isprze, we Włoszech. Koordynatorem projektu była pani dr hab. inż. Beata Hejmanowska z AGH w Krakowie. Głównym celem badań było opracowanie metod walidacji pomiarów powierzchni działek rolnych. Badaniami objęto dwie techniki pomiarowe: fotogrametryczną (część wykonana przez AGH) oraz bezpośrednią metodę pomiarową z wykorzystaniem odbiorników GPS (część wykonana przez UWM). W niniejszej pracy skoncentrowano się na części dotyczącej pomiarów GPS, szczegółowo przedstawiono założenia techniczne, przebieg eksperymentu oraz proces i wyniki analiz statystycznych.

2. Założenia wstępne i prace przygotowawcze

Przed przystąpieniem do testów praktycznych opracowano bardzo szczegółowe założenia dotyczące prac eksperymentalnych, odbiorników GPS biorących udział w teście, działek rolnych będących przedmiotem pomiarów oraz osób/zespołów wykonujących pomiary. Ostatecznie ustalono, że przeprowadzone będą dwa niezależne eksperymenty, każ-

* Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Katedra Geodezji Satelitarnej i Nawigacji

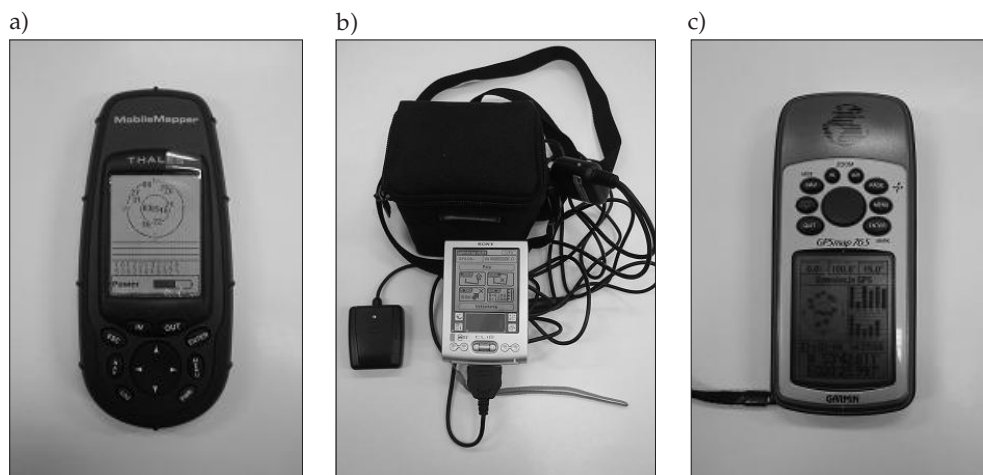
dy z nich będzie wykonany przez niezależne zespoły, niezależnymi odbiornikami, na osobnych działkach.

2.1. Instrumenty pomiarowe

Uzgodniono, że w pomiarach zostanie wykorzystanych 10 instrumentów pomiarowych GPS, trzech różnych producentów (rys. 1):

- 4 odbiorniki Thales Mobile Mapper (T1, T2, T3, T4);
- 4 odbiorniki Satcon (S1, S2, S3, S4);
- 2 odbiorniki Garmin GPSMap 76S (G1, G2).

Podczas polowych prac eksperymentalnych każdy z zespołów pomiarowych posiadał swoje instrumenty, którymi nie wymieniał się między sobą. Każdy z poszczególnych typów instrumentów posiadał tę samą wersję oprogramowania (*firmware*), jak również dokładnie te same ustawienia. Ze względu na wciąż niestabilne zachowanie systemu EGNOS, ustalono, że wszystkie instrumenty będą pracowały z wyłączoną opcją EGNOS. Interwał pomiarowy wynosił 1 sekundę. Wszystkie dane pomiarowe (z wyjątkiem odbiorników Garmin) były rejestrowane i zgrywane do komputera.



Rys. 1. Odbiorniki GPS biorące udział w testach: a) Thales; b) Satcon; c) Garmin

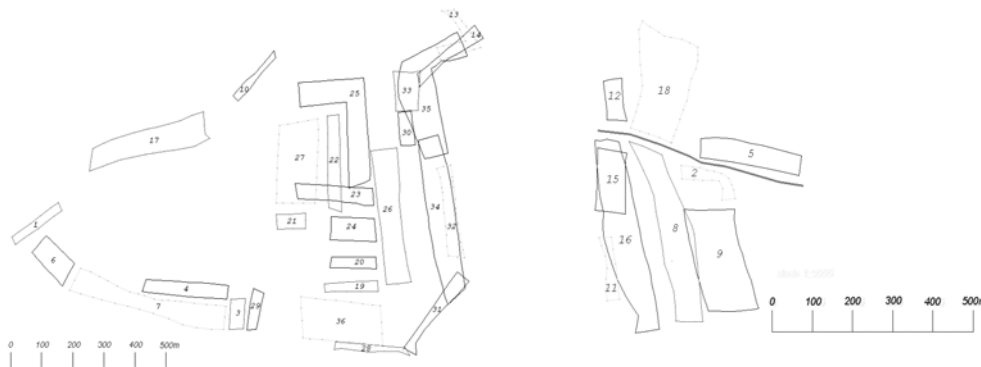
2.2. Działki rolne

Uzgodniono, że do pomiarów zostanie przygotowanych 36 różnych działek rolnych (rys. 2), po 18 dla każdego z eksperymentów. Działki zamarkowano w terenie palikami drewnianymi o długości 1 metra w narożnikach oraz dodatkowo przetyczono granice działek co 15÷20 metrów palikami o długości 35 cm.

Działki pogrupowano w zależności od:

- wielkości: 3 poziomy (małe: $0,3 \div 0,5$ ha; średnie: $0,8 \div 1,2$ ha; duże: $2,4 \div 4$ ha);
- kształtu: 3 poziomy (stosunek długości boków: $< 1:3$; $< 1:6$; $> 1:6$);
- zasłon: 2 poziomy (otwarty horyzont; zasłony horyzontu w postaci drzew).

Do wytyczenia działek niezbędne było założenie osnowy pomiarowej, działki zostały wytyczone przy użyciu tachimetru elektronicznego Leica TC605. Działki zlokalizowano na terenie lotniska w Gryżlinach (27 działek) oraz na terenie nieużytku w pobliżu miejscowości Stawiguda (9 działek), obszar objęty miał ponad 100 ha powierzchni. Sam tylko etap wytyczenia działek w terenie zajął ponad dwa tygodnie żmudnej pracy, a do zamarkowania granic użyto w sumie około 850 palików drewnianych.



Rys. 2. Działki rolne będące przedmiotem eksperymentów

Każda z 36 wytyczonych działek posiadała swój numer, który nie ulegał zmianom podczas pomiarów. Działki podzielono na dwie części, każdy z dwóch zestawów 18 działek brał udział w niezależnym eksperymencie:

- działki 1–18: eksperyment 1 (zespół 1 i 2),
- działki 17–36: eksperyment 2 (zespół 3 i 4).

2.3. Zespoły pomiarowe

W celu wykonania pomiarów terenowych utworzono cztery zespoły (po dwa do każdego z eksperymentów). W sumie w pomiarach wzięło udział 20 operatorów – połowa z nich zaliczała się do grupy doświadczonych (biorących udział w kampanii kontroli na miejscu w roku 2004), druga połowa była niedoświadczona i została tylko przeszkolona w zakresie podstawowego posługiwania się odbiornikami GPS.

Każdy z operatorów otrzymał swój numer, który pozostawał niezmienny w trakcie trwania eksperymentu:

- zespół 1: 6 operatorów (3 doświadczonych + 3 niedoświadczonych), instrumenty: G1, T1, S1;

- zespół 2: 6 operatorów (3 doświadczonych + 3 niedoświadczonych), instrumenty: G2, T2, S2;
- zespół 3: 4 operatorów (2 doświadczonych + 2 niedoświadczonych), instrumenty: T3, S3, T4, S4;
- zespół 4: 4 operatorów (2 doświadczonych + 2 niedoświadczonych), instrumenty: T3, S3, T4, S4.

3. Opis eksperymentu GPS

Prace polowe wymagały dużego poświęcenia ze strony operatorów, bardzo często pomiary były prowadzone w niekorzystnych warunkach pogodowych, a każdy dzień obserwacyjny wymagał około 10÷12 godzin ciągłej pracy. Podczas jednego dnia pomiarowego każdy z obserwatorów przemierzał wzdłuż granic działek dystans około 20 kilometrów, a dystans przemierzony na piechotę podczas eksperymentów przez wszystkich obserwatorów wyniósł ponad 2250 kilometrów!

3.1. Eksperyment 1

Eksperyment 1 był prowadzony na działkach 1–18 przez zespoły 1 i 2, przy czym każdy z zespołów miał losowo przydzielonych 9 działek, na których przez 6 dni wykonywał pomiary. Każdego dnia zespół dokonywał pomiaru wszystkich 9 działek. Każdego dnia kolejność pomiaru 9 działek była inna – zgodna z podanym harmonogramem, którego należało ściśle przestrzegać.

Na każdej z działek każdy z 6 operatorów dokonywał pomiaru każdym z 3 odbiorników. Zatem 3 pomiary (3 różnymi odbiornikami) były prowadzone jednocześnie (rys. 3) – operatorzy szli jeden za drugim w odstępie ok. 10 m, w tym czasie 3 pozostałych operatorów odpoczywało.



Rys. 3. Praktyczny pomiar terenowy działki rolnej – zespół 4

Na każdej z działek było wykonywanych: $6 \times 3 = 18$ obserwacji; każdego dnia wykonywane były $18 \times 9 = 162$ pomiary. Każdego dnia zarówno kolejność pomiarów działek, jak i kolejność instrumentów i operatorów na poszczególnych działkach była inna i prowadzona była zgodnie z dostarczonym schematem opracowanym przez Uniwersytet w Gembloux. Eksperyment 1 dał w sumie 1944 niezależnych pomiarów.

3.2. Eksperyment 2

Eksperyment 2 był prowadzony na działkach 19–37 przez zespoły 3 i 4, przy czym każdy z zespołów miał losowo przydzielonych 9 działek, na których przez 6 dni wykonywał pomiary. Każdego dnia zespół dokonywał pomiaru 9 działek. Zespoły 3 i 4 pracowały tymi samymi instrumentami, zatem nie mogły wykonywać swoich pomiarów równolegle. Każdego dnia kolejność pomiaru 9 działek była inna – zgodna z podanym harmonogramem, którego należało się trzymać.

Na każdej z działek każdy z 4 operatorów dokonywał pomiaru każdym z 4 odbiorników. Zatem 4 pomiary (4 różnymi odbiornikami) były prowadzone jednocześnie – operatorzy szli jeden za drugim w odstępie ok. 10 m. Na każdej z działek było wykonywanych $4 \times 4 = 16$ obserwacji; każdego dnia wykonywane były $16 \times 9 = 144$ pomiary. Każdego dnia zarówno kolejność pomiarów działek, jak i kolejność instrumentów i operatorów na poszczególnych działkach była inna i prowadzona była zgodnie z dostarczonym schematem. W eksperymencie 2 operatorzy nie odpoczywali podczas pomiarów, ale też pomiary w ciągu dnia zabierały im mniej czasu. Eksperyment 2 dał w sumie 1728 niezależnych pomiarów, co łącznie z eksperymentem 1 dało 3672 niezależnych obserwacji, które zostały poddane szczegółowym analizom statystycznym.

Każdy z zespołów podczas pomiarów terenowych na bieżąco prowadził dzienniki polowe. Wszystkie zanotowane pomiary zostały dokładnie sprawdzone, a następnie przeniesione do specjalnie opracowanych arkuszy kalkulacyjnych, co umożliwiło dalsze opracowanie statystyczne. Dane z odbiorników Thales oraz Satcon zostały zgrane do komputera, posortowane i przygotowane do dalszych analiz.

4. Opracowanie statystyczne wyników

Opracowanie statystyczne wyników pomiarów zostało przeprowadzone przez prof. Rudy Palm z Uniwersytetu w Gembloux. Analizy statystyczne zarówno dla eksperymentu GPS, jak i fotogrametrycznego zostały przeprowadzone zgodnie z normą ISO 5725-2, która odnosi się do podstawowych metod określania niezmienności i powtarzalności standardowych metod pomiarowych.

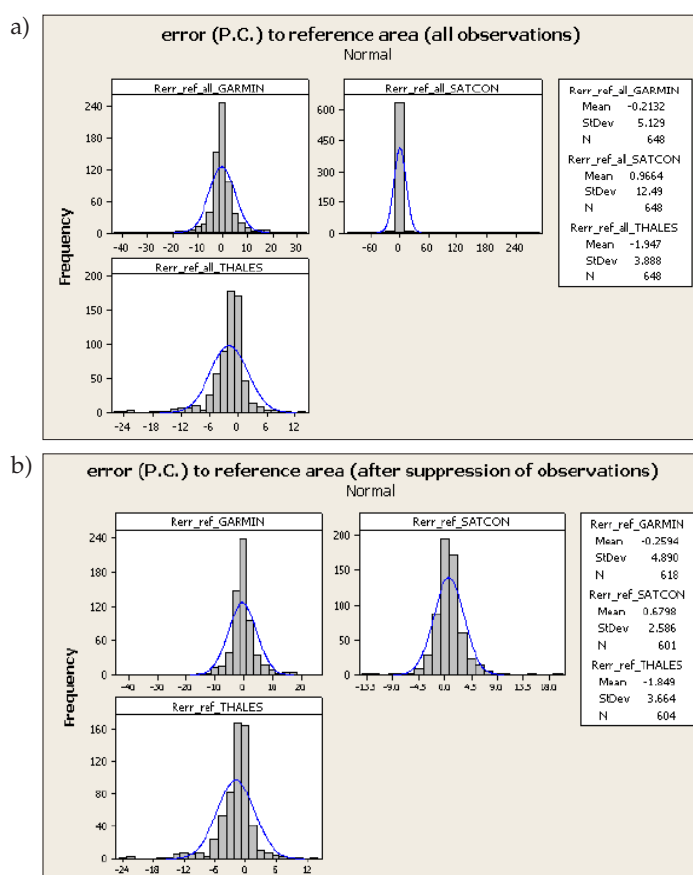
W pierwszym etapie procesu analiz statystycznych należało ustalić tzw. *pooling factor*, czyli współczynnik, od którego spodziewana jest największa zależność otrzymanych wyników. W przypadku eksperymentu GPS takim współczynnikiem był „dzień obserwacji” (ze względu na nieprzewidywalne zmiany i błędy propagacji sygnału GPS, które mogą poważ-

nie wpływać na wyniki pomiarów), natomiast dla eksperymentu fotogrametrycznego takim współczynnikiem był „operator”.

Kolejnym etapem analiz było odnalezienie i odpowiednie obrobienie obserwacji odstających, zawierających błędy grube. W tym etapie skorzystano z kilku narzędzi statystycznych, m.in.:

- statystyka h oraz k Mandela,
- test Cochra,
- test Grubbsa dla jednej obserwacji odstającej,
- test Grubbsa dla dwóch obserwacji odstających.

Spośród 1944 obserwacji w pierwszym eksperymencie 121 (6,1%) zostało zidentyfikowanych jako odstające, w tym 30 obserwacji dla Garmin, 47 obserwacji dla Satcon i 44 obserwacje dla Thalesa. W eksperymencie drugim na 1728 obserwacji jako odstające zakwalifikowano 99 (5,7%), w tym 71 obserwacji dla Satcon i 28 obserwacji dla Thalesa. Obserwacje te nie zostały ujęte w dalszych analizach.

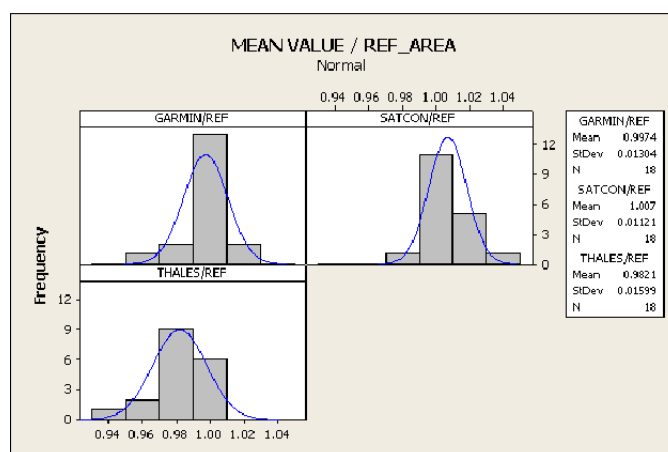


Rys. 4. Błędy pomiarowe przed usunięciem (a) oraz po usunięciu (b) obserwacji odstających

Kolejnym etapem było określenie i analiza wielkości błędów pomiarowych przed oraz po usunięciu obserwacji odstających (rys. 4).

Po określeniu średnich błędów wyznaczono współczynniki określające stosunek wartości średniej do wartości prawdziwej (ang. *bias of instruments*) dla poszczególnych odbiorników. Okazało się, że w eksperymencie pierwszym odbiornik Satcon nieznacznie zawyżał pola powierzchni, odbiornik Thales w obu eksperymentach pola zaniżał, a Garmin biorący udział tylko w eksperymencie pierwszym średnio wykazywał pola zbliżone do wartości prawdziwych (rys. 5).

Kolejnymi etapami opracowania statystycznego było określenie niezmienności i powtarzalności pomiarów, obliczenie odchylenia standardowego dla wszystkich działek oraz obliczenie bufora (parametr określający stosunek błędu pomiaru do obwodu danej działki) (tab. 1), a także błędów położenia punktów pomiarowych (tab. 2). Kończącym etapem analiz było znalezienie zależności pomiędzy buforem lub/i błędem położenia punktu a polem powierzchni działki.



Rys. 5. Współczynnik określający stosunek wartości średniej do wartości prawdziwej

Tabela 1. Średnia wartość bufora otrzymana dla poszczególnych odbiorników

Odbiornik	Eksperyment 1			Eksperyment 2			
	Garmin	Satcon	Thales	Satcon S3	Satcon S4	Thales T3	Thales T4
Bufor	0,76 m	0,34 m	0,52 m	0,41 m	0,36 m	0,34 m	0,31 m
	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-
	0,32 m	0,08 m	0,34 m	0,11 m	0,12 m	0,16 m	0,13 m

Tabela 2. Średni błąd położenia punktu pomiarowego dla poszczególnych odbiorników

Odbiornik	Eksperyment 1			Eksperyment 2			
	Garmin	Satcon	Thales	Satcon S3	Satcon S4	Thales T3	Thales T4
Błąd położenia punktu	21 m +/- 11 m	9 m +/- 3 m	14 m +/- 10 m	11 m +/- 5 m	10 m +/- 4 m	10 m +/- 6 m	9 m +/- 5 m

W wyniku przeprowadzonych analiz stwierdzono, że w przypadku pomiarów pól działek przy użyciu odbiorników GPS odchylenie standardowe wzrasta ze wzrostem powierzchni, natomiast współczynnik wariancji maleje ze wzrostem powierzchni. Stwierdzono także, że parametrem najlepiej opisującym zmienność pomiarów jest bufor.

5. Wnioski i podsumowanie

Zgromadzony materiał badawczy pozwolił na wyciągnięcie wniosków nie tylko odnoszących się bezpośrednio do przeprowadzonych testów polowych, ale także umożliwił określenie założeń dla przyszłych testów odbiorników różnych producentów.

Niższe parametry techniczne odbiornika Garmin potwierdziły się w naszym teście; w wypadku tego odbiornika zarówno czynnik „zasłony horyzontu”, jak i czynnik „wielkość działki” nie miał większego wpływu na wyniki pomiarów. Dla odbiorników Satcon oraz Thales zarówno czynnik „zasłony horyzontu”, jak i „wielkość działki” miały istotny wpływ na wyniki obserwacji. Współczynnik „operator” okazał się nieznaczący dla wszystkich z testowanych odbiorników, aczkolwiek zaleca się poświęcenie większej ilości czasu na przeszkolenie operatorów niedoświadczonych.

Na podstawie wykonanych badań opracowano także ogólne założenia dotyczące testów mających na celu walidację oraz określenie przydatności odbiorników GPS dla celów np. kontroli obszarowej. W procesie walidacji odbiorników do pomiaru należy wytypować działki o różnej wielkości, chociaż dwa poziomy wielkości zamiast trzech użytych w naszym teście wydają się wystarczające. Testowe działki powinny być zróżnicowane pod względem zasłony horyzontu. Powierzchnie referencyjne działek testowych powinny być wyznaczone metodami geodezyjnymi przy użyciu Total Station lub techniki RTK. Przy przeprowadzaniu tego typu pomiarów zaleca się zachowywanie wszystkich danych pomiarowych w formacie GIS-owej bazy danych, co znacznie ułatwia dalsze analizy.

Literatura

- [1] Ciećko A., Oszczak S.: *Analysis of Measurement Methods and GPS Equipment Selection for IACS Parcel Area Checks in Poland*. CAPIGI, Wageningen, Netherlands, 3–4 October 2005, CD ROM Proceedings, 2005

- [2] Ciećko A., Oszczak S.: *Validation of GPS Methods and Equipment for IACS Parcel Area Checks in Poland*. Workshop on EGNOS Performance and Applications, Gdynia 27–28.10.2005, CD ROM Proceedings, 2005
- [3] Ciećko A., Oszczak S.: *Validation of Methods for Measurement of Land Parcel Areas: GPS Results*. 2005 GPS Workshop, Wageningen, Netherlands, 5–6 October 2005
- [4] Ciećko A., Oszczak S., Hejmanowska B., Palm R., Kay S.: *Validation of GPS Methods for Measurement of Land Parcel Areas*. 11th Conference on Control with Remote Sensing of area-based subsidies, Kraków, Poland, 23–25 November 2005
- [5] GPS validation scheme – DG JRC - ISPRA, IPSC-MARS, Technical support to DG AGRI, Int. ref: SKA/P/1092/02, z dnia 26/04/2002
- [6] Hejmanowska B., Palm R., Oszczak S., Ciećko A.: *Validation of methods for measurement parcel areas*. Final Report for Joint Research Centre of European Commission, Ispra, Italy, 2005
- [7] *Instrukcja realizacji kontroli obszarowych i ONW*. Warszawa, ARiMR 2005
- [8] Note on the use of stand-alone GPS for parcel measurement, Version 1.5 – July 2002, JRC IPSC/G03/SKA/OLE D(2002)(306)
- [9] Protocol for reference field-measurement – DG JRC – ISPRA, IPSC-MARS, Int. ref: PSP/P/1108/02, z dnia 02/12/2002
- [10] Technical tolerances for On the Spot Checks, MARS - PAC Technical Information Document, DG JRC - ISPRA, IPSC-MARS, Technical support to DG AGRI, JRC IPSC/G03/P/SKA/ska D(2003)(1576), z dnia 14/01/2003
- [11] Wykonanie analiz i opracowanie kryteriów wyboru metod oraz urządzeń pomiarowych GPS w celu zapewnienia wymaganej dokładności i wiarygodności kontroli płatności obszarowych w systemie IACS (*Assessment and development of selection criteria for GPS measurement methods and equipment to ensure required accuracy and reliability of area-based subsidies control in IACS system*). Opracowanie zespołowe, zlecone przez ARiMR – Warszawa, pod kierunkiem prof. dr. hab. inż. Stanisława Oszczaka, Olsztyn, luty 2004