

Beata Hejmanowska*

METODYKA KALIBRACJI POMIARU POWIERZCHNI DZIAŁKI ROLNEJ NA ORTOFOTOMAPIE**

1. Wstęp

W artykule zaprezentowano wybrane wyniki z projektu UE *Validation of methods for measurement of land parcel areas* zleconego przez JRC w Isprze (Włochy), a realizowanego i koordynowanego w AGH w Krakowie w roku 2005 [3, 4]. W ramach tego projektu przeprowadzono trzy eksperymenty pomiarowe: dwa teledetekcyjne w Zakładzie Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej AGH i jeden z wykorzystaniem GPS w Katedrze Geodezji Satelitarnej i Nawigacji Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie. Analizę statystyczną przeprowadzono w Instytucie Statystyki i Informatyki w Gembloux (Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux) w Belgii.

Opracowanie metodyki kalibracji pomiaru działek rolnych ma znaczenie dla katastru i systemu dopłat bezpośrednich do rolnictwa IACS. Obowiązujące obecnie przepisy w obu tych dziedzinach są nieadekwatne zarówno do metodyki pomiarowej, jak i mierzonego obiektu, jakim jest działka rolna z niesygnalizowanymi granicami.

Zgodnie z [8] dopuszczalna odchyłka powierzchni działki ewidencyjnej dla pomiaru kontrolnego P jest obliczana z następującego wzoru

$$\Delta P = 0,001P + 0,2\sqrt{P}.$$

Przykładowo dla działki 0,1 ha dopuszczalna odchyłka wynosi 7,3 m². Oznacza to, że pomiar należałoby przeprowadzić w taki sposób, żeby błąd położenia punktu wynosił maksymalnie $\pm 0,1$ m [2]. W przypadku braku graniczników uzyskanie takiej dokładności jest niemożliwe. Poza tym empiryczny wzór (1) nie jest powiązany z techniką pomiaru powierzchni działki ani z jej kształtem.

Z kolei w systemie IACS powszechną metodą określania dokładności pomiaru powierzchni działki jest tzw. metoda buforowa. Dla każdej mierzonej działki wyznacza się obwód, mnoży się go przez parametr charakteryzujący dokładność pomiaru, uzyskując po-

* Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska

** Niniejszy artykuł powstał w ramach prac statutowych AGH nr 11.11.150.459

wierzchnię bufora, określającą dopuszczalną tolerancję pomiaru powierzchni. Metoda buforowa uwzględnia kształt działki, ale nie jest również powiązana z technologią pomiaru.

W pierwszym przypadku wielkość odchyłki, zgodnie ze wzorem (1), zależy jedynie od powierzchni działki. Nie jest to zatem wartość charakteryzująca pomiar, a wartość progowa dla różnicy pomiędzy powierzchnią ewidencyjną a uzyskaną w wyniku pomiaru kontrolnego. Dla pomiaru geodezyjnego, za pomocą np. *total station*, działki o sygnalizowanych narożnikach dokładność pomiaru jest wysoka i błąd pomiaru właściwie może być zaniedbywany podczas porównania powierzchni ewidencyjnej i pomierzonej.

W drugim przypadku, w trakcie pomiaru kontrolnego w systemie IACS bierze się pod uwagę dokładność metodyki pomiarowej, przyjmując różne wartości szerokości bufora [6]. Szerokość bufora dla ciągłego pomiaru ręcznym GPS-em przyjmuje się 1,25 m, a dla pomiaru geodezyjnego (*total station*) 0,35 m (tab. 1 i 2). Szerokość bufora nie może przekroczyć wartości 1,5 m.

Inną wielkością charakteryzującą pomiary kontrolne w systemie IACS jest odchyłka względna, czyli maksymalna, dopuszczalna względna różnica powierzchni. Dla pomiaru geodezyjnego wynosi ona 2%, a dla ortofotomapy o rozdzielczości 1 m – 5% (co stanowi jednocześnie maksymalną wartość tej odchyłki) (tab. 1 i 2).

Tabela 1. Tolerancja pomiaru na mapie oraz ortofotomapie

Skala mapy	Wielkość piksela [m]	Tolerancja [%]	Tolerancja [m]
1: 10 000	1	5	1,5
1: 5 000	0,5	2,5	0,75
1: 2 500	0,25	1,25	0,4

Tabela 2. Tolerancja pomiaru bezpośredniego

Narzędzie pomiarowe	Tolerancja [%]	Tolerancja [m]
GPS ręczny, pomiar ciągły	–	1,25
Pomiar geodezyjny	2	0,35
Pomiar taśmą	2 (do 50 m) lub 5	0,4

Brak powiązania pomiędzy technologią pomiaru a dopuszczalną odchyłką powierzchni stanowi utrudnienie w prognozowaniu parametru charakteryzującego dokładność tego pomiaru.

W związku z tym podjęto prace nad inną metodyką określania dokładności powierzchni działki rolnej z uwzględnieniem błędów pomiarowych (błędu pomiaru położenia punktu – m_{pkt}) [1–5]. Błąd położenia punktu wydaje się najbardziej odpowiedni dla pomiarów z wykorzystaniem ortofotomapy i GPS. Przekształcając wzór Gaussa na pole powierzchni poligonu, można otrzymać następujący wzór na błąd pola m_p

$$m_p = m_{pkt} \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(y_{i+1} - y_{i-1})^2 + (x_{i+1} - x_{i-1})^2}{8}},$$

gdzie: x, y – współrzędne narożników poligonu.

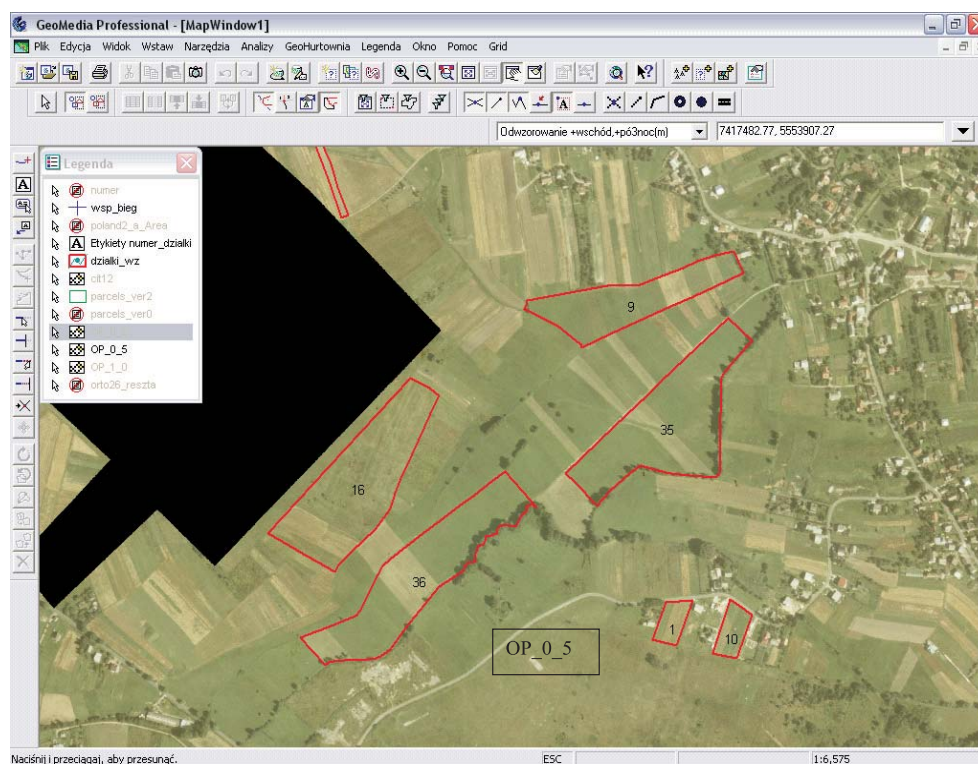
Znając błąd położenia punktu charakteryzujący daną ortofotomapę lub instrument GPS, można dla każdej działki obliczyć błąd powierzchni.

Kalibracja metodyki pomiaru powierzchni polegałaby na wyznaczeniu błędu położenia punktu m_{pkt} dla danej techniki pomiarowej. Jest to możliwe po wykonaniu wielokrotnego pomiaru powierzchni określonego zestawu działek, czyli empirycznym wyznaczeniu m_{pr} a następnie wyliczeniu ze wzoru (2) błędu położenia punktu m_{pkt} .

W niniejszej publikacji zawarto wyniki z eksperymentów teledetekcyjnych [3, 4].

2. Metodyka

Eksperyment pomiarowy obejmował zestaw 36 działek różniących się powierzchnią (0,3÷4 ha), kształtem (3 stopnie wydłużenia) i charakterem granicy (łatwo i trudno identyfikowalna). Działki zostały zaprojektowane w oparciu o mapę ewidencyjną tak, żeby działka ewidencyjna pokrywała się z działką rolną. Powierzchnia z mapy ewidencyjnej została wykorzystana jako referencyjna w analizach statystycznych. W niektórych przypadkach jako działkę referencyjną przyjmowano więcej niż jedną działkę ewidencyjną (rys. 1).



Rys. 1. Przykładowa lista działek i ortofotomap, na których mają być one mierzone dla operatora 1, dzień 1

Do pomiaru wykorzystano ortofotomapy wykonane ze:

- zdjęć panchromatycznych 1:13 000 (rozmiar piksela 0,2 m), OP_0_2;
- zdjęć barwnych 1:26 000 (rozmiar piksela 0,75 m), OP_0_5;
- IKONOS-a (rozmiar piksela 1 m), OP_1_0;
- EROS-a (rozmiar piksela 2 m);
- SPOT-a (rozmiar piksela 2,5 m).

Pomiar został przeprowadzony w ramach dwóch eksperymentów. Zespół pomiarowy składał się z 12 operatorów w eksperymencie 1 i 6 w eksperymencie 2. Operatorzy wykonywali pomiar każdej działki na każdej z ortofotomap trzykrotnie.

Pomiar został zaplanowany, przeprowadzony i przeanalizowany zgodnie z ISO 5725. Każdy operator wykonywał w ciągu jednego dnia pomiar określonej sekwencji działek (rys. 1).

W trakcie pomiaru operator dysponował informacją o mierzonej działce, nie miał jednak do dyspozycji mapy ewidencyjnej. Wektoryzacja odbywała się z wykorzystaniem programu Geomedia Professional.

Etap pierwszy opracowania eksperymentu pomiarowego polegał na obliczeniu pola powierzchni wszystkich zwektoryzowanych działek rolnych, pola powierzchni i obwodu działek referencyjnych (ewidencyjnych) oraz dla każdej działki wyrazu pod pierwiastkiem we wzorze (2).

Wyniki pomiarów (pola powierzchni działek) zostały w drugim etapie poddane analizie w celu usunięcia pomiarów odstających, zgodnie z normą ISO 5725 (statystyki h i k , test Cochra i Grubbsa).

Trzeci etap polegał na obliczeniu parametrów statystycznych zgodnie z normą ISO 5725, między innymi: dokładności, precyzji, błędu systematycznego, powtarzalności, odtwarzalności, odchylenia standardowego powtarzalności, odtwarzalności itd.

Ostatecznie, dla dalszych analiz przyjmowano obliczony w oparciu o wariancję odtwarzalności błąd powierzchni m_p dla każdej działki, dla każdej ortofotomapy.

W oparciu o uzyskaną eksperymentalnie wartość m_p oraz obliczony w etapie pierwszym wyraz pod pierwiastkiem we wzorze (2) obliczano z tego wzoru błąd położenia punktu m_{pkt} . Błąd położenia punktu stanowi parametr charakteryzujący technikę pomiarową, w tym przypadku ortofotmapę.

W związku z tym, że każdorazowo nie jest możliwe wykonywanie eksperymentów pomiarowych na taką skalę, przeprowadzono symulacje statystyczne w celu określenia minimalnego zestawu działek, operatorów i liczby powtórzeń dla uzyskania dokładności określenia powierzchni przy przyjęciu zadanej precyzji (np. 10% lub 20%).

3. Wyniki

3.1. Analiza wyników eksperymentów teledetekcyjnych

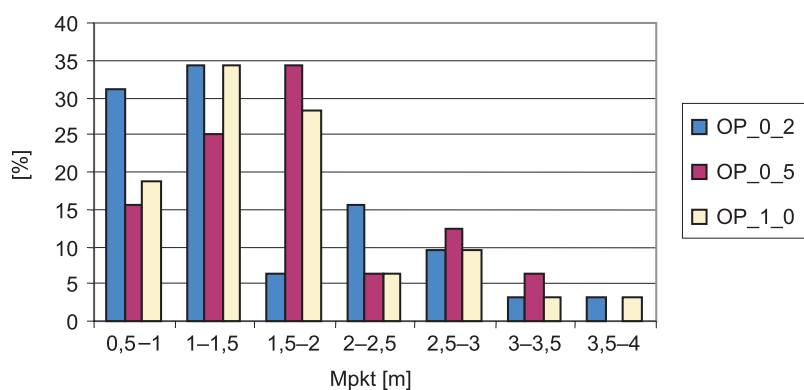
W ramach eksperymentu 1 wykonano 3888 pomiarów, a w trakcie eksperymentu 2 – 1296. Wektoryzowane przez operatorów działki zgromadzono w bazie danych GIS (Geomedia).

Zakładano, że błąd położenia punktu, jako parametr określający dokładność ortofotomapy i jednocześnie wykorzystywany do szacowania dokładności powierzchni, powinien być niezależny od pola powierzchni działki. Jednak w wyniku przeprowadzonych pomiarów okazało się, że obliczony błąd położenia punktu nieznacznie rośnie wraz z polem powierzchni działki. Największą korelację uzyskano w przypadku największej rozdzielczości (R^2 dla OP_0_2: 0,84, OP_0_5: 0,01, OP_1_0: 0,09). Mniejszą zależność od pola powierzchni wykazuje wartość bufora.

Ogólnie rzecz biorąc pomiar powierzchni działek rolnych charakteryzuje się dużym rozproszeniem, o czym świadczą wartości błędów średnich i ich odchyłeń standardowych (tab. 3). Średnio, w eksperymencie 1 błąd położenia punktu wynosił: $\pm 2,04$ m, a jego odchylenie standardowe: $\pm 1,63$ m. Rozkład błędów można scharakteryzować za pomocą histogramu, czyli rozkładu ilości działek w zależności o wartości błędu (rys. 2). Ogólnie we wszystkich przypadkach, w eksperymencie 1, błąd położenia punktu najczęściej wynosił od ± 1 do ± 2 m, a w eksperymencie 2 od ± 2 do ± 6 m.

Tabela 3. Błąd średni położenia punktu wraz z odchyleniem standardowym

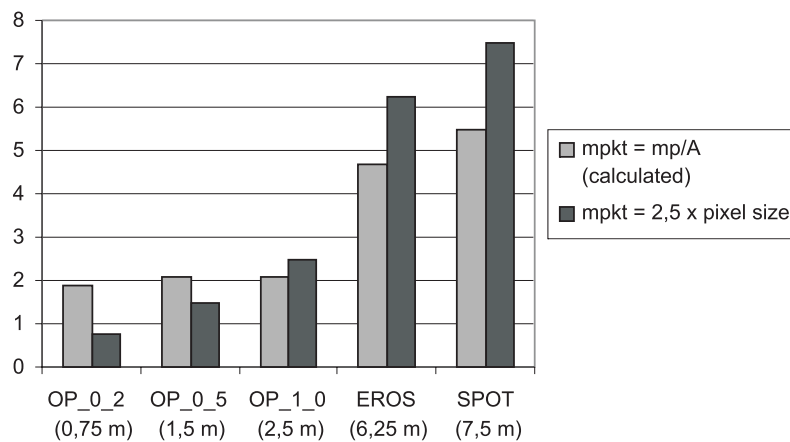
Ortofotomapa	m_{pkt} [m]	Odchylenie standardowe m_{pkt} [m]
OP_0_2	1,86	1,85
OP_0_5	2,14	1,39
OP_1_0	1,89	1,78
średnia	2,04	1,63



Rys. 2. Histogram rozkładu błędów położenia punktu mpkt dla ortofotomap z eksperymentu 1

W eksperymencie 1 błąd położenia punktu tylko nieznacznie zwiększał się wraz ze wzrostem piksela ortofotomapy i wynosił ok. ± 2 m. W związku z tym został przeprowadzony eksperyment 2 z wykorzystaniem ortofotomap o mniejszych rozdzielczościach: 2 m (EROS) i 2,5 m (SPOT). Zgodnie z oczekiwaniami w tym przypadku nastąpiło skokowe zmniejszenie się dokładności położenia punktu (rys. 3) do ok. ± 5 m. Warto ponadto zwrócić uwagę na tym rysunku na porównanie wartości błędu położenia punktu, prognozo-

wanego na podstawie rozdzielczości ortofotomapy jako dwukrotność wielkości piksela, z wartościami uzyskanymi eksperymentalnie. Podsumowując, w przypadku wysokich rozdzielczości (np. OP_0_2) nastąpiło niedoszacowanie błędu, a w przypadku niskich rozdzielczości (EROS i SPOT) jego przeszacowanie. W pierwszym przypadku niewątpliwie było to wynikiem nieuwzględnienia błędu identyfikacji granicy, który powoduje, że błąd położenia punktu jest w rzeczywistości większy, niż wynika to z wielkości piksela. W drugim przypadku być może dokładność zobrazowań jest większa, niż wynikałoby z wielkości piksela. Najlepszą zgodność pomiędzy wartościami błędów prognozowanymi i otrzymanymi eksperymentalnie uzyskano dla IKONOS-a.



Rys. 3. Zależność błędu położenia punktu od rozdzielczości ortofotomapy obliczonego na podstawie pomiarów i prognozowanego w oparciu o wielkość piksela

3.2. Propozycja metodyki kalibracji pomiarów powierzchni działek rolnych

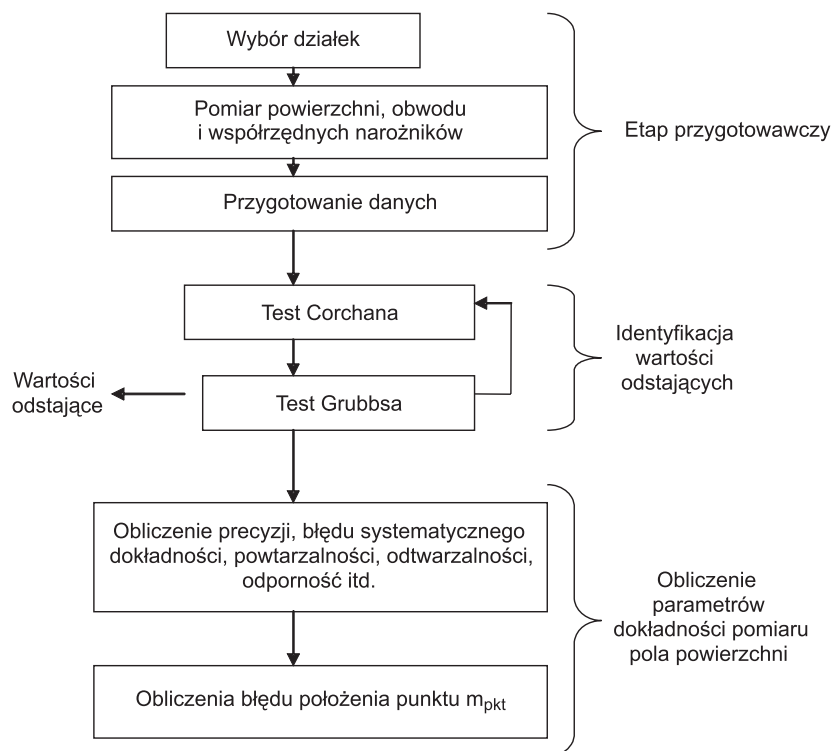
Na podstawie eksperymentów teledetekcyjnych można sformułować generalny wniosek, że pomiary powierzchni działek rolnych charakteryzują się znaczną wariancją.

W trakcie eksperymentów pomiarowych wykonano tysiące pomiarów. Nie jest możliwe, z praktycznego punktu widzenia, wykonywanie takiej dużej liczby pomiarów, za każdym razem, kiedy przeprowadzamy kalibrację. W związku z tym celem przeprowadzonych prac badawczych była również optymalizacja procesu kalibracji. Przeprowadzono wiele wariantowych symulacji statystycznych i ostatecznie można stwierdzić, że zakładając precyzję 20% należałoby pomiar przeprowadzić zgodnie z poniższym zestawem przedstawionym w tabeli 4. Oznacza to, że trzech operatorów wykonywałoby pomiar od 30 do 40 działek przez trzy dni, co daje od 270 do 360 pomiarów.

Tabela 4. Zestaw kalibracyjny

Instrument	Liczba działek	Liczba powtórzeń pomiarów każdej działki	Liczba operatorów	Liczba dni
RS	30÷40	9	3	3

Proces kalibracji schematycznie przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Schematyczny przebieg procesu kalibracji pomiaru powierzchni działki

Literatura

- [1] Bogaert P., Delince J., Kay S.: *Assessing the error of polygonal area measurements: a general formulation with applications to agriculture*. Institute of Physics Publishing, Measurements Science Technology, 16, 2005, 1170–1178
- [2] Hejmanowska B.: *Wpływ jakości danych na ryzyko procesów decyzyjnych wspieranych analizami GIS*. Kraków, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH 2005, ISSN 0867-6631
- [3] Hejmanowska B., Palm R., Oszczak Oszczak., Ciećko A.: *Validation of methods for measurement of land parcel areas – FINAL REPORT*. 2005, publikacja internetowa http://agrifish.jrc.it/Documents/lpis/ValidationMethodFinalVer2_2.pdf
- [4] Hejmanowska B., Palm R.: *Validation of methods for measurement of land parcel areas – near – VHR imagery – supplementary study to the service contract No 22581-2004-12F1SC ISP PL – FINAL REPORT*. Raport niepublikowany 2005
- [5] Kay S., Spruyt P.: *JRC GPS validation scheme* (ref. JRC IPSC/G03/P/SKA/ska D(2002)(1092)) 2002

-
- [6] Kay S.: *JRC Technical Information Document: Technical tolerances for on the Spot checks* (ref. JRC IPSC/G03/P/SKA/ska D(2003)(1576)) 2003
 - [7] ISO standards: ISO 5725 Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results
 - [8] Technical specification G-5. *Cadastral of grounds and buildings* 2003