ACTA SCIENTIARUM POLONORUM

Czasopismo naukowe założone w 2001 roku przez polskie uczelnie rolnicze

Geodesia et Descriptio Terrarum

Geodezja i Kartografia

Geodesy and Cartography

10 (3) 2011

Bydgoszcz Kraków Lublin Olsztyn
Poznań Siedlce Szczecin Warszawa Wrocław

Executive Board of *Acta Scientiarum Polonorum*

Jerzy Sobota (Wrocław) – chairman

Wiesław Nagórko (Warszawa), Janusz Falkowski (Olsztyn), Florian Gambuś (Kraków), Franciszek Kluza (Lublin), Janusz Prusiński (Bydgoszcz), Stanisław Socha (Siedlce), Waldemar Uchman (Poznań), Bogdan Lasota (Szczecin)

Scientific Board of *Geodesia et Descriptio Terrarum*

Andrzej Borkowski (Wrocław University of Environmental and Life Sciences, Poland) – chairman, e-mail: andrzej.borkowski@up.wroc.pl

Aleksandra Bujakiewicz (Warsaw University of Technology, Poland), Roman Galas (Berlin University of Technology, Germany), Wolfgang Keller (University of Stuttgart, Germany), Andrzej Krankowski (University of Warmia and Mazury, Olsztyn, Poland), Josef Weigel (Brno University of Technology, Czech Republic)

Wojciech Dach (Wrocław University of Environmental and Life Sciences, Poland) – secretary e-mail: wojciech.dach@up.wroc.pl

Covered by: Agro, Ulrich's Database, Copernicus Index, EBSCOhost

ISSN 1644–0668 (print) ISSN 2083–8662 (on-line)

Print edition is an original (reference) edition

Cover design
Daniel Morzyński

Text editor
Ewa Jaworska, e-mail: ewa.jaworska@up.wroc.pl

© Copyright by Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
Sopocka 23, 50–344 Wrocław, Poland
e-mail: wyd@up.wroc.pl http://www.up.wroc.pl

Printed: 100 + 16 copies Publishing sheets: 2,6 Printing sheets: 3,0

Szanowni Państwo,

Przekazujemy Państwu kolejny zeszyt ACTA SCIENTIARUM POLONORUM Geodesia et Descriptio Terrarum*, czasopisma naukowego wydawanego przez wszystkie polskie uczelnie rolnicze i przyrodnicze w 14 seriach. Seria Geodesia et Descriptio Terrarum ukazuje się nakładem Wydawnictwa Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu.*

Czasopismo nasze publikuje oryginalne prace z zakresu szeroko rozumianej geodezji i kartografii oraz pokrewnych obszarów wiedzy, z naciskiem na aspekty praktyczne. Publikowane są zarówno oryginalne prace badawcze, jak i artykuły o charakterze monograficznym, w języku polskim lub angielskim, ze streszczeniami w obydwu językach, także wszystkie opisy rysunków i tabel są dwujęzyczne. Prace są recenzowane przez najlepszych specjalistów z danej dziedziny. Również w bieżącym numerze dominują prace o charakterze aplikacyjnym.

Od roku 2007 czasopismo wydawane jest jako kwartalnik. Szczegóły dotyczące przygotowania artykułu oraz wymogi redakcyjne można znaleźć na stronie www.acta.media.pl.

Zespół Redakcyjny

Dear Readers,

It is a great pleasure to introduce you the next issue of ACTA SCIENTIARUM POLONORUM Geodesia Terrarum et Descriptio*, a scientific journal published by all polish universities of environmental sciences. The series of Geodesia et Descriptio Terrarum is released by publishing house of Wrocław University of Environmental and Life Sciences.*

The journal publishes original papers of broadly understood surveying, mapping and related topics, with emphasis on practical aspects. There are published both original research articles and monographs, in Polish or English, with abstracts in both languages, as well all figures' and tables' captions are bilingual. The papers are reviewed by the best specialists in the field. This issue is also dominated by the application problems.

Since 2007 the journal has been published as a quarterly. Details concerning the instruction for authors and editorial requirements can be found at www.media.pl.

Editorial Team

ACTA SCIENTIARUM POLONORUM
Acta Sci. Pol.,
Geodesia et Descriptio Terrarum 10(3) 2011, 5-18
ISSN 1644–0668 (print) ISSN 2083–8662 (on-line)

WYKRYWANIE SYGNAŁÓW SKOKOWYCH W SZEREGACH CZASOWYCH ZMIAN WSPÓŁRZĘDNYCH GPS

Bernard Kontny

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Streszczenie. W pracy zaprezentowano zmodyfikowaną metodę różnicową wykrywania zmian skokowych w dyskretnych sygnałach pomiarowych (np. szeregach czasowych zmian współrzędnych punktów GPS) w obecności zakłóceń sygnału przypadkowym szumem pomiarowym (white noise) oraz obserwacji odstających (outliers). Metoda polega na zastąpieniu średniej ruchomej w klasycznym algorytmie metody różnicowej poprzez medianę, przez co w znacznym stopniu ogranicza się wpływ obserwacji odstających. Metodę przetestowano na symulowanych sygnałach pomiarowych. Jak wykazały obliczenia testowe, metoda jest skuteczna nawet dla stosunkowo wąskiego okna po stronie obserwacji następujących po testowanej i-tej epoce pomiarowej. Pozwala to na stosunkowo szybkie alarmowanie o zaistnieniu zmiany skokowej o amplitudzie nawet na granicy szumu pomiarowego (3 sigma). Metoda może znaleźć zastosowanie w automatycznych systemach kontrolno-pomiarowych do monitorowania przemieszczeń obiektów inżynierskich wykorzystujących satelitarny system GPS, w szczególności do monitorowania deformacji obiektów hydrotechnicznych, przemysłowych i górniczych.

Słowa kluczowe: szeregi czasowe współrzędnych, sygnały skokowe, obserwacje odstające, medianowa metoda różnicowa

WSTĘP

System ASG/EUPOS ma zapewnić dokładność pozycjonowania w czasie rzeczywistym na poziomie 3–5 cm. Dokładność taka jest wystarczająca dla większości zastosowań geodezyjnych i nawigacyjnych, zdecydowanie jednak niewystarczająca dla precyzyjnych prac realizacyjnych (tyczeniowych) oraz monitorowania i kontroli deformacji obiektów inżynierskich. Ten asortyment prac geodezyjnych wymaga często dokładności pojedynczych milimetrów. Konieczność monitorowania zachowania się niektórych obiektów w czasie rzeczywistym wynika przede wszystkim ze względów bezpieczeństwa,

© Copyright by Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Adres do korespondencji – Corresponding author: Bernard Kontny, Instytut Geodezji i Geoinformatyki, Wydział Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, ul. Grunwaldzka 53, 50-357 Wrocław, e-mail: bernard.kontny@up.wroc.pl

np. monitorowanie dachu hali wystawienniczo-targowej w Katowicach mogłoby zapobiec tragedii, jaka się tam wydarzyła. Duże obiekty inżynieryjno-przemysłowe, typu: zapory wodne, kopalnie odkrywkowe itp., wyposażane są w stacjonarne, ostatnio coraz częściej automatyczne, systemy kontrolno-pomiarowe. Względy ekonomiczne nie pozwalają na instalowanie takich systemów na obiektach wymagających tylko czasowej, epizodycznej kontroli, np. w warunkach zagrożenia powodziowego, pożarowego czy chwilowego obciążenia krytycznego. Zagęszczenie stacji referencyjnych systemu ASG/EUPOS (odległość pomiędzy stacjami ok. 70 km) nie zaspokoi tego typu potrzeb. Dla takich zastosowań można by zatem zaproponować system precyzyjnego wyznaczania pozycji względnej i zmian pozycji w czasie rzeczywistym, który nie tylko mógłby zapewnić możliwość monitorowania obiektów inżynierskich z dokładnością pojedynczych milimetrów, ale byłby też systemem mobilnym, prostym, możliwym do szybkiego zainstalowania na obiekcie w nagłej potrzebie i szybkiego przeniesienia na inny obiekt. Koncepcja tego systemu opiera się na wykorzystaniu mobilnych, precyzyjnych odbiorników GPS, przenośnych stacji referencyjnych, lokalnego centrum obliczeniowego oraz bezprzewodowej transmisji danych pomiarowych opartej na systemach pakietowej transmisji cyfrowej oraz Internecie. Podstawowym założeniem systemu, umożliwiającym osiąganie wysokich dokładności wyznaczania pozycji względnej, jest skrócenie odległości pomiędzy mobilnym odbiornikiem pomiarowym a przenośną stacją referencyjną do kilkudziesięciu, co najwyżej kilkuset metrów. Dane z obu tych odbiorników, przesyłane łączami teletransmisyjnymi do lokalnego centrum obliczeniowego, byłyby obliczane on-line, tworząc szeregi czasowe pozycji względnej, podlegające filtracji i analizie sygnału w czasie „prawie" rzeczywistym. Wyniki mogłyby być przesyłane do centrum decyzyjnego lub na badany obiekt. Wdrożenie koncepcji systemu wymagać bedzie rozwiązania szeregu problemów naukowych, m.in. dotyczących opracowania algorytmów precyzyjnego wyznaczania pozycji względnej z obserwacji GPS w czasie „prawie" rzeczywistym (tzw. rozwiązań pojedynczych epok – "epoch by epoch"), metod przetwarzania sygnałów cyfrowych pozwalających na filtrację szumów i detekcję sygnału o zmianie pozycji punktu pomiarowego, metod kontroli wyników oraz zapewnienia niezawodnej teletransmisji danych. W przedstawionej pracy podjęto tematykę wykrywania zmian skokowych w szeregach czasowych współrzędnych GPS w obecności zakłóceń sygnału przypadkowym szumem pomiarowym (white noise) oraz obserwacjami odstającymi (outliers).

SFORMUŁOWANIE PROBLEMU NAUKOWEGO

Idea zastosowania automatycznych systemów pomiarowych do monitorowania deformacji obiektów hydrotechnicznych (głównie zapory), przemysłowych i górniczych, wykorzystujących satelitarny system GPS, znalazła już wiele zastosowań praktycznych [Bond 2004, Duffy et al. 2001, Günther et al. 2008, Kälber et al. 2000, Pretorius et al. 2001, Szostak-Chrzanowski et al. 2008, Zhou et al. 2005]. W większości opisanych w literaturze przypadków system taki jest wielopunktowy, wielosensoryczny, zainstalowany na stałe na obiektach wymagających ciągłego monitoringu (zapory wodne, kopalnie odkrywkowe itp.). System taki jest bardzo kosztowny, koszt jego wdrożenia w warunkach polskich przeważnie przekracza milion złotych. W literaturze przedmiotowej niewiele jest opisów małych, prostych i niezbyt kosztownych systemów przenośnych, działają-

cych w czasie rzeczywistym [Borre et al. 2001, 2002, Kim and Langley 2003, Larocca and Schaal 2005, Roberts et al. 2006]. W kraju dotąd brak jest takich rozwiązań. Zastosowanie „klasycznej" technologii RTK z własną stacją bazową nie zapewnia wymaganych dokładności i funkcjonalności takiego systemu. Główną zaletą proponowanej przez autora koncepcji systemu pomiarowego jest jego mobilność, prostota i relatywnie niewielki koszt instalacji przy zachowaniu wysokiej precyzji, przez co możliwe będzie jego wykorzystanie w bardzo różnych zastosowaniach. System będzie mógł być pomocny wszędzie tam, gdzie konieczna jest natychmiastowa informacja o zmianach pozycji względnej (przemieszczeniach) wybranych punktów na kontrolowanych obiektach położonych na otwartej przestrzeni, a wymagana wysoka dokładność wyznaczania zmian nie pozwala na użycie ogólnodostępnych serwisów pozycyjnych, np. ASG-EUPOS [Bosy i in. 2008]. Najważniejszym obszarem zastosowań systemu może być kontrolowanie obiektów inżynieryjno-technicznych, takich jak mosty, wiadukty, hale przemysłowe, wysokie budowle, dźwigi budowlane, zabezpieczenia głębokich wykopów, obiekty hydrotechniczne itp., w warunkach zagrożenia (powodzie, pożary, wichury, ekstremalne obciążenia itp.) Jednym z możliwych zastosowań może być kontrolowanie stanu geometrycznego obiektów budowlanych w czasie trwania imprez masowych (koncerty, wystawy, targi, imprezy sportowe itp.). System mógłby być również wykorzystany w pracach tyczeniowych, montażowych i budowlanych wymagających wysokiej precyzji (np. nasuwanie przęseł mostowych).

Założeniem proponowanego projektu jest opracowanie technologii pomiarowej, opartej na technice satelitarnej GNSS, umożliwiającej pomiar zmian pozycji względnej (przemieszczeń) w czasie prawie rzeczywistym (z opóźnieniem co najwyżej kilkusekundowym) z dokładnością poniżej 10 mm na poziomie ufności 95%. Opracowanie szczegółowej koncepcji oraz wdrożenie projektu w praktyce wymaga rozwiązania wielu problemów naukowych, w tym m.in.:

- opracowania algorytmów i programów komputerowych wyznaczenia krótkich wektorów GPS w czasie „prawie" rzeczywistym na podstawie pojedynczych rekordów danych ("epoch-by-epoch") lub bardzo krótkich szeregów danych [np. Bock et al. 2001, Greenfeld 2003, Rzepecka 2004];
- zastosowania odpowiednich metod filtracji szumów i wpływów zewnętrznych (atmosfera, odbicia sygnału) z szeregów czasowych współrzędnych [np. Szpunar 2006];
- wyboru i aplikacji odpowiednich metod detekcji zmian ciągłych i skokowych sygnału pomiarowego [np. Li and Kuhlmann 2008].

Szeregi czasowe współrzędnych, oprócz użytecznego sygnału pomiarowego, zawierają wpływy systematyczne (szum „kolorowy") oraz przypadkowy szum pomiarowy (szum „biały"). Jedną z metod przetwarzania takich danych w czasie rzeczywistym jest zastosowanie filtracji Kalmana [Ince and Sahin 2000, Iyiade 2006, Li and Kuhlmann 2008], analizy falkowej [Ogaja et al. 2001] lub innych metod filtracji cyfrowej [Szpunar 2006]. Do rozwiązania pozostaje również problem identyfikacji (detekcji) niewielkich, epizodycznych zmian skokowych. W przedstawionej pracy podjęto tematykę wykrywania zmian skokowych w szeregach czasowych współrzędnych GPS w obecności zakłóceń sygnału przypadkowym szumem pomiarowym (white noise) oraz obserwacjami odstającymi (outliers).

METODY DETEKCJI ZMIAN SKOKOWYCH

Wykrywanie zmian skokowych w szeregach i sygnałach czasowych jest od dawna przedmiotem badań w analizie szeregów czasowych i przetwarzaniu sygnałów (robotyka, telekomunikacja, przetwarzanie obrazów, statystyka finansowa itp.). Wśród bardzo szerokiego spektrum metod stosowanych do tego celu wyróżnić można m.in. [Rodionow 2005]:

- metody parametryczne, takie jak klasyczny test-t; metody wymagają założenia co do rozkładu prawdopodobieństwa danych;
- metody nieparametryczne, takie jak U-test Mann–Whitney, test Wilcoxona sumy szeregu; metody te nie wymagają założenia co do rozkładu prawdopodobieństwa danych;
- metody dopasowania krzywej;
- metody oparte na analizie Bayesowskiej;
- metody regresji;
- metody sumowania kumulacyjnego (np. metoda CUMSUM);
- metody sekwencyjne, wśród których można wymienić metody będące modyfikacjami i kombinacjami ww. metod (np. ARMA, ARIMA, Filtr Kalmana itp.).

Do wykrywania zmian skokowych w sygnałach pomiarowych w czasie rzeczywistym (on-line) wykorzystywane są przede wszystkim metody sekwencyjne, wśród których do najbardziej popularnych zaliczyć można [Paavola et al. 2005]:

- metody różnicowe;
- metody probabilistyczne (testowanie parametryczne lub nieparametryczne);
- metody modelowania i predykcji sygnału (np. regresji i autoregresji liniowej lub nieliniowej).

Do najprostszych, ale jednocześnie bardzo skutecznych metod należą metody różnicowe [Paavola et al. 2005]. Metody te bazują na testowaniu różnicy wartości aktualnej i poprzedniej (przeszłej) wybranego parametru (np. średniej) szeregu czasowego:

$$\left|\Delta_i\right| = \left|\overline{x}_{i+n} - \overline{x}_{i-k}\right| \le d_{i,kryt} \tag{1}$$

gdzie $d_{i,kryt}$ oznacza dopuszczalną wartość progową (krytyczną) różnicy parametru. Przekroczenie wartości progowej oznacza wystąpienie istotnej zmiany parametru. Wartości $\overline{x}_{i-k}$ oraz $\overline{x}_{i+n}$ analizowanego parametru obliczane są zazwyczaj dla ruchomych (sekwencyjnych) przedziałów k obserwacji poprzedzających obserwację i-tą oraz n obserwacji następujących po obserwacji i. Z tego też względu metoda „działa" z pewnym opóźnieniem czasowym, równym n obserwacji. Zastosowanie średniej jako analizowanego parametru wymaga wcześniejszego usunięcia trendu badanego sygnału (szeregu czasowego). Jak wykazano w pracy Paavola et al. [2005], metoda różnicowa cechuje się wysoką efektywnością detekcji sygnałów skokowych (wg przeprowadzonego w ww. pracy testu znacznie wyższą niż metody probabilistyczne oraz metody modelowania i predykcji sygnału), a także łatwością implementacji.

MODYFIKACJA SEKWENCYJNEJ METODY RÓŻNICOWEJ

W „klasycznej" metodzie różnicowej, opartej na testowaniu różnicy średniej ruchomej, obliczanej sekwencyjnie dla przedziału k obserwacji poprzedzających analizowaną obserwację i, oraz n obserwacji następujących, kryterium istotności zmiany parametru (średniej ruchomej) można sformułować następująco:

$$|\Delta_i| > d_{i,kryt} = c \cdot \hat{\sigma}_{x,i-k} \tag{2}$$

gdzie:

$$\Delta_i = \bar{x}_{i+n} - \bar{x}_{i-k} = avg(x_i : x_{i+n-1}) - avg(x_{i-k} : x_{i-1}) \tag{3}$$

a wartość $d_{i,kryt}$ obliczana jest dla przedziału k wartości poprzedzających, zaś:

$$\hat{\sigma}_{x,i-k} = std(x_{i-k} : x_{i-1}) = \sqrt{\frac{\sum_{j=i-k}^{i-1} \left(x_j - \bar{x}_{i-k}\right)^2}{k-1}} \tag{4}$$

natomiast wartość c oznacza przyjęty arbitralnie (doświadczalnie lub probabilistycznie) współczynnik.

Szeregi czasowe współrzędnych GPS wyznaczane w czasie rzeczywistym (prawie rzeczywistym) charakteryzują się obecnością obserwacji odstających (outliers). W takich sytuacjach zarówno średnia ruchoma, jak i estymator odchylenia standardowego są znacznie obciążone obserwacjami odstającymi. Bardziej „odporne" na wpływ obserwacji odstających są estymatory oparte na medianie. Zatem, zastępując średnią przez medianę, otrzymamy zmodyfikowaną, „odporną" wersję metody różnicowej:

$$\Delta_i = \bar{x}_{i+n} - \bar{x}_{i-k} = med(x_i : x_{i+n-1}) - med(x_{i-k} : x_{i-1}) \tag{5}$$

$$\acute{o}_{x,i-k} = 1{,}4825 \cdot med(abs(x_i - med(x_{i-k} : x_{i-1})) \tag{6}$$

gdzie „odporny" estymator odchylenia standardowego $\acute{o}_{x,i-k}$ obliczany jest metodą MAD [Huber, Ronchetti 2009], a współczynnik 1,4825 doprowadza estymator MAD do zgodności z rozkładem normalnym. Zmienną testową można sformułować następująco:

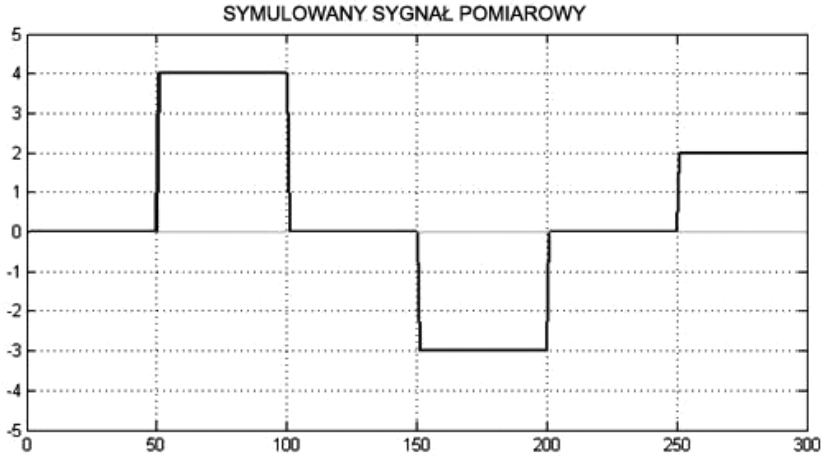
$$T_i = \frac{|\Delta_i|}{\hat{\sigma}_{x,i-k}} \tag{7}$$

Przedziały, dla których $T_i > c$, są przedziałami istotnej, skokowej zmiany wartości uśrednionej (mediany) badanego szeregu czasowego, zaś środek tego przedziału jest przyjmowany za najbardziej prawdopodobny moment skoku sygnału pomiarowego.

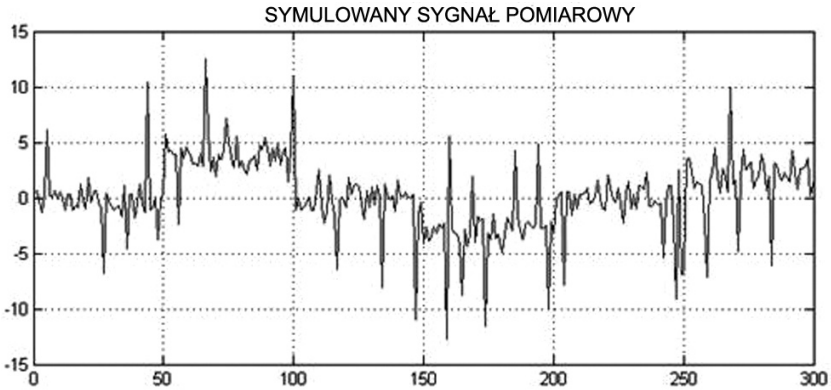
OBLICZENIA TESTOWE

Testowanie skuteczności zmodyfikowanej metody różnicowej przeprowadzono na symulowanym szeregu 300 kolejnych obserwacji (np. współrzędnych chwilowych punktu GPS). Symulowany sygnał obserwacyjny uzyskano przez nałożenie przypadkowego

szumu białego (wartości losowe rozkładu normalnego o zerowej wartości oczekiwanej i jednostkowej wariancji) na sygnał przedziałowo stały, o wartościach równych kolejno: 0, +4, 0, -3, 0, +2 w stałych przedziałach 50 kolejnych obserwacji (rys. 1). Dodatkowo, sygnał zaburzono przypadkowo rozmieszczonymi obserwacjami odstającymi o amplitudzie przypadkowej z zakresu (-10 : +10). Wynikowy sygnał pomiarowy przedstawiono na rysunku 2.

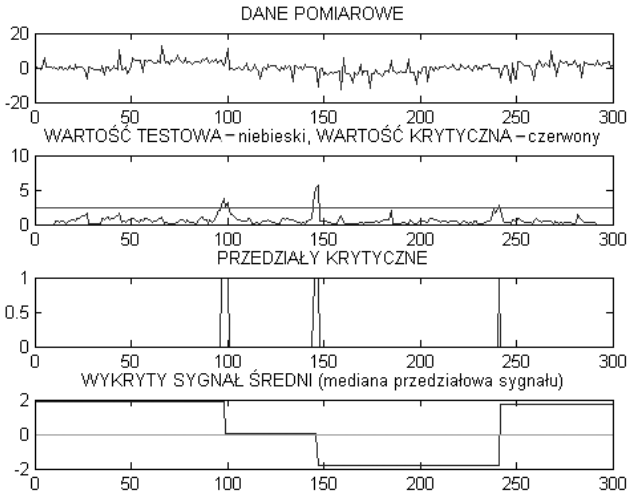


Rys. 1. Symulowany sygnał wyjściowy, przedziałowo stały
Fig. 1. Simulated output signal, constant with ranges

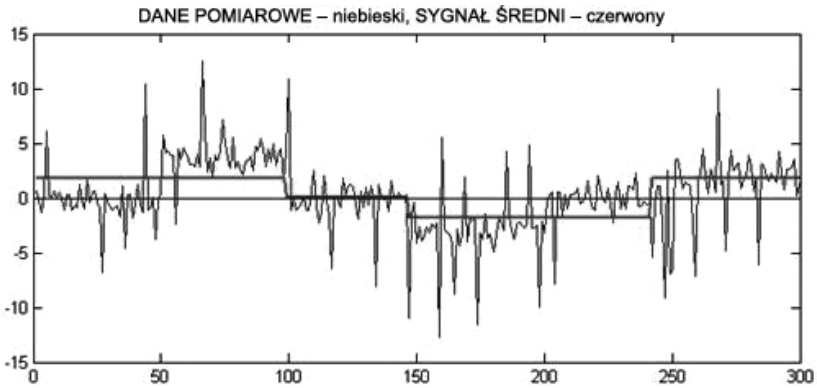


Rys. 2. Sygnał symulowany zakłócony szumem białym i obserwacjami odstającymi
Fig. 2. Simulated signal disturbed with the random white noise and outliers

W pierwszej kolejności detekcję zmian skokowych wykonano „klasyczną" metodą różnicową, opartą na średniej ruchomej. Początkową wielkość okna uśredniania obserwacji poprzedzających *i*-tą obserwację badaną, i następujących po niej, ustalono na 10 obserwacji ($k = n = 10$). Kryterium istotności zmiany skokowej (współczynnik c) przyjęto na poziomie $c = 2.5$, co odpowiada, w przybliżeniu poziomowi ufności $\beta = 1 - \alpha = 0.98$ (dla rozkładu t-Studenta). Wynik testowania pokazano na rysunku 3. Wykryte zostały jedynie trzy zmiany skokowe (spośród pięciu), a odtworzony sygnał przedziałowo uśredniony daleko odbiega od sygnału wyjściowego (rys. 4).

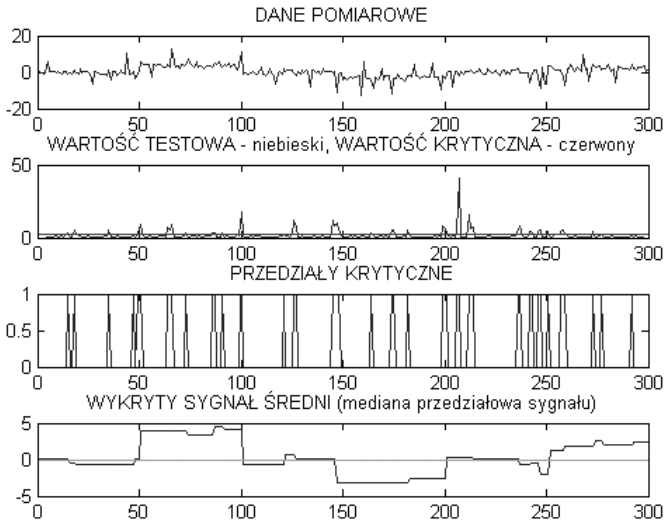


Rys. 3. Detekcja zmian skokowych – test *T* oparty na średniej ruchomej
Fig. 3. Detection of jumping changes – test *T* based on the moving average

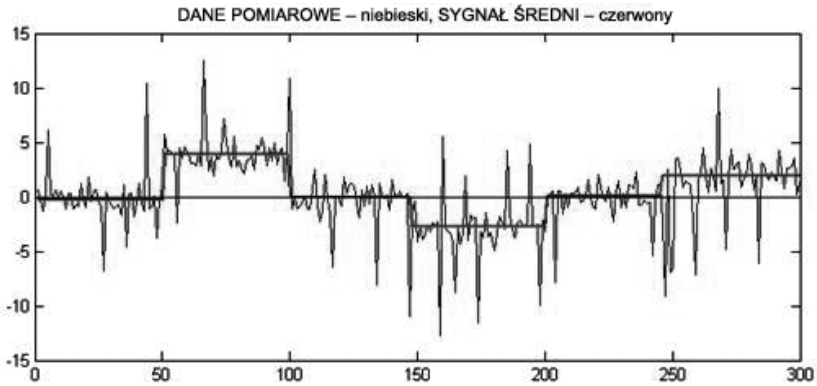


Rys. 4. Wyznaczony sygnał średni (średnia przedziałowa)
Fig. 4. Determined average signal (average with ranges)

Wyniki zastosowania zmodyfikowanej metody różnicowej dla tego samego, symulowanego sygnału pomiarowego, przedstawiono na rysunkach 5 i 6. Za pomocą testu (7) wykryto wszystkie zmiany skokowe, a odtworzony sygnał uśredniony przedziałowo (mediana przedziałowa) jest zgodny z symulowanym sygnałem wyjściowym.



Rys. 5. Detekcja zmian skokowych – test *T* oparty na medianie ruchomej
Fig. 5. Detection of jumping changes – test *T* based on the moving median



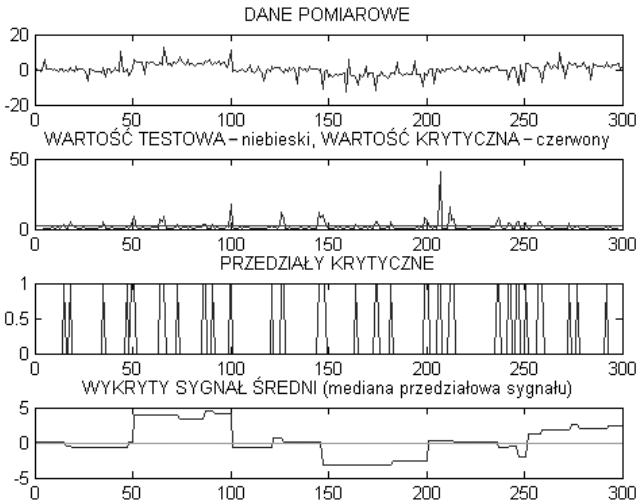
Rys. 6. Wyznaczony sygnał średni (mediana przedziałowa)
Fig. 6. Determined average signal (median with ranges)

W celu sprawdzenia skuteczności metody różnicowej wykonano obliczenia testowe dla siedmiu serii, po 100 prób każda, symulowanych sygnałów pomiarowych z losowo generowanymi zakłóceniami przypadkowymi (szum biały) i obserwacjami odstającymi. Każda seria różniła się szerokością okna poprzedzającego i następującego, branego pod uwagę do obliczenia wartości testu (7). Dla każdej pojedynczej próby odnotowywano skuteczność wykrywania skoków sygnału na poziomie odpowiednio cztero-, trzy- i dwukrotnej wartości założonego odchylenia standardowego składowej losowej sygnału (szumu). Wyniki symulacji przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Wyniki testu skuteczności wykrywania skoków sygnału pomiarowego
Table 1. Test results of the effectiveness of the jumps detection of the measuring signal

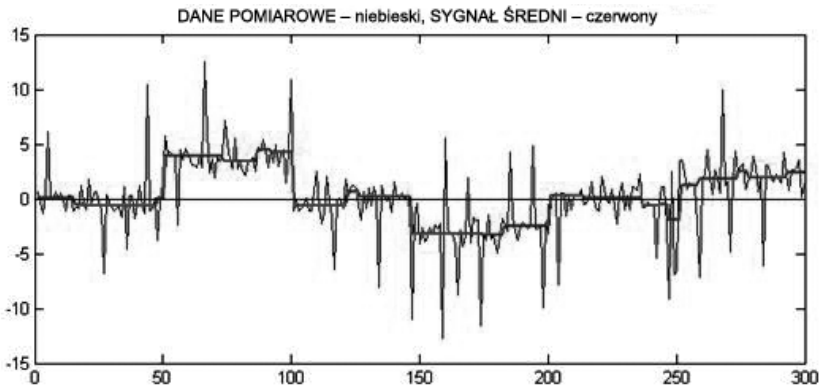
Wynik testu (100 prób): Test results (100 attempts):	Wartość symulowanego skoku – Value of the simulated jump		
	4σ	3σ	2σ
	k=10, n=10		
Wykryto skok symulowany A simulated jump was detected	98	84	57
Nie wykryto skoku A jump wasn't detected	2	16	43
Wykryto skok nieistniejący A non-existent jump was detected	10	8	14
	k=10, n=8		
Wykryto skok symulowany A simulated jump was detected	98	78	65
Nie wykryto skoku A jump wasn't detected	2	22	35
Wykryto skok nieistniejący A non-existent jump was detected	10	25	10
	k=10, n=6		
Wykryto skok symulowany A simulated jump was detected	95	85	50
Nie wykryto skoku A jump wasn't detected	5	15	50
Wykryto skok nieistniejący A non-existent jump was detected	21	20	15
	k=10, n=4		
Wykryto skok symulowany A simulated jump was detected	92	85	54
Nie wykryto skoku A jump wasn't detected	8	15	46
Wykryto skok nieistniejący A non-existent jump was detected	40	41	32
	k=8, n=8		
Wykryto skok symulowany A simulated jump was detected	98	84	65
Nie wykryto skoku A jump wasn't detected	2	16	35
Wykryto skok nieistniejący A non-existent jump was detected	20	30	23
	k=6, n=6		
Wykryto skok symulowany A simulated jump was detected	98	80	57
Nie wykryto skoku A jump wasn't detected	2	20	43
Wykryto skok nieistniejący A non-existent jump was detected	62	82	58
	k=4, n=4		
Wykryto skok symulowany A simulated jump was detected	92	86	36
Nie wykryto skoku A jump wasn't detected	8	14	64
Wykryto skok nieistniejący A non-existent jump was detected	252	306	230

Jak wynika z tabeli 1, skuteczność wykrywania sygnałów skokowych na poziomie 4σ jest wysoka nawet dla bardzo wąskiego okna testu (7). Skok sygnału na poziomie 3σ (a więc na granicy szumu) wykrywany jest prawidłowo w około 80–85 procentach, również bez względu na zastosowaną szerokość okna. Skuteczność wykrywania słabych skoków sygnału (na poziomie 2σ) jest już niższa i wynosi ok. 50–60 procent, spada poniżej 40 procent dla bardzo wąskiego okna. Zawężanie okna testu, zwłaszcza okna poprzedzającego („przeszłego"), powoduje znaczny wzrost liczby tzw. fałszywych alarmów, co niemal całkowicie eliminuje praktyczne zastosowanie takiego testu. Dla okna $k = 10$ i $n = 10$ fałszywy alarm zdarzał się średnio raz na 3 próby (symulacje), podczas gdy dla okna $k = 6$ i $n = 6$ zdarzał się średnio 2 razy dla każdej próby, a dla okna $k = 4$ i $n = 4$ zdarzał się już średnio prawie 8 razy dla każdej próby. Przyjmując częstotliwość pomiaru 1 Hz, fałszywy alarm więc mógłby się zdarzać średnio co 38 sekund. Wynik testowania sygnału pokazanego na rysunkach 1 i 2 dla okna $k = 4$ i $n = 4$ zaprezentowano na rysunkach 7 i 8.



Rys. 7. Detekcja zmian skokowych – test T oparty na medianie ruchomej dla okna $k = 4$ i $n = 4$

Fig. 7. Detection of jumping changes – test T based on the moving median for the window $k = 4$ and $n = 4$



Rys. 8. Wyznaczony sygnał średni (mediana przedziałowa) dla okna $k = 4$ i $n = 4$

Fig. 8. Determined average signal (median with ranges) for the window $k = 4$ and $n = 4$

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Zaproponowana modyfikacja metody różnicowej detekcji zmian skokowych w szeregach czasowych (dyskretnych sygnałach pomiarowych), polegająca na zastąpieniu średniej ruchomej medianą ruchomą w konstrukcji funkcji testowej, powoduje znaczne podniesienie skuteczności metody dla sygnałów zakłóconych obserwacjami odstającymi. Jak wykazały obliczenia testowe, metoda jest skuteczna nawet dla stosunkowo wąskiego okna po stronie obserwacji następujących po testowanej epoce. Pozwala to na stosunkowo szybkie alarmowanie o zaistnieniu zmiany skokowej, nawet na granicy szumu pomiarowego (3 sigma). Biorąc pod uwagę, że współczesne, precyzyjne odbiorniki GPS, stosowane w automatycznych systemach kontrolnych pozwalają na wyznaczenie chwilowej pozycji względnej z dokładnością kilku milimetrów, z częstotliwością nawet do 10–20 Hz, zastosowanie zmodyfikowanej metody różnicowej pozwala na wykrycie zmian skokowych o amplitudzie pojedynczego centymetra już po jednej sekundzie.

Zaprezentowane testy zostały przeprowadzone każdorazowo na 100 przykładach symulowanych, co zdaniem autora nie daje podstaw do wyciągania daleko idących wniosków. Korzystne byłyby zastosowanie metody Monte Carlo, dla liczebności prób przekraczających co najmniej kilka tysięcy symulacji. Ponadto, rzeczywiste warunki pomiaru znacznie odbiegają od warunków symulowanych, obserwacje obarczone są wpływem czynników zakłócających o systematycznym charakterze, przez co szum pomiarowy bardziej przypomina szum kolorowy niż szum biały. Dalsze badania będą przeprowadzone dla przypadku bardziej ogólnego, kiedy sygnał pomiarowy obarczony jest zarówno zmiennym trendem nieliniowym, jak i zmiennym w czasie szumem kolorowym.

PIŚMIENNICTWO

Bock Y., de Jonge P.J., Honcik D., Bevis M., Bock L., Wilson S., 2001. Epoch-By-Epoch Positioning applied to dam deformation monitoring at Diamond Valley Lake, Southern California, Proceedings of 10th FIG International Symposium on Deformation Measurements, 19–22 March 2001 Orange, California, USA.

Bond J., 2004. An Investigation on the Use of GPS for Deformation Monitoring in Open Pit Mines. M.Sc.E. Thesis, Department of Geodesy and Geomatics Engineering Technical Report No. 222, University of New Brunswick, Fredericton, New Brunswick, Canada, 140 pp.

Bosy J., Graszka W., Leończyk M., 2008. Aktywna Sieć Geodezyjna EUPOS jako element składowy państwowego systemu odniesień przestrzennych, Przegląd Geodezyjny, Nr 12/2008, 10–16.

Borre K., de Jong K., Pichot C., 2001. Subsidence monitoring system using real-time GPS sensors, In: Proc. ION-GPS, Salt Lake City, 2001.

Borre K., de Jong K., Pichot C, 2002. GPS Deformation Analysis with Millimeter Precision in Real-Time, GNSS, Seoul Korea.

Duffy M., Hill C., Whitaker C., Chrzanowsk A., Lutes J., Bastin G., 2001. An automated and integrated monitoring scheme for Diamond Valley Lake in California. Proceedings of the 10th FIG International Symposium on Deformation Measurements, Orange, California, March 19–22, USA.

Greenfeld J.S., 2003. How long must we wait? The duration of GPS observations for short baseline measurements, Surveying and Land Information Science, Jun 2003.

Günther J., Heunecke O., Pink S. Schuhbäck S., 2008. Developments towards a low-cost GNSS based sensor network for the monitoring of landslides, 13th FIG Symposium on Deformation Measurement and Analysis, LNEC, Lisbon, Portugal, 2008, May 12–15.

Huber P. J., Ronchetti E.M., 2009. Robust statistics, John Wiley and Sons Inc., Hoboken, New Jersey, 354 p.

Ince C.D., Sahin M., 2000. Real-time deformation monitoring with GPS and Kalman Filter, Earth Planets Space, 52, 837–840.

Iyiade A., 2006. GPS Time Series Land Slide Monitoring using a Weighted Extended Kalman Filtering with a DIA Procedure, Shaping the Change, XXIII FIG Congress, Munich, Germany, October 8–13, 2006

Kälber S., Jäger R., Schwäble R., Heimberg F., Kast K., 2000. GPS-based Online Control and Alarm System (GOCA). Proceedings of the 20. ICOLD-Congress, 2000, Peking, Report No. Q. 78 -R.14. International Commission on Large Dams, Paris, 189–209.

Kim D., Langley R.B., 2003. On ultrahighprecision GPS positioning and navigation, Navigation: Journal of the Institute of Navigation, Vol. 50, No. 2, Summer 2003, 103–116.

Kim D., Langley R., Bond J., Chrzanowski A., 2003. Local deformation monitoring using GPS in an open pit mine:initial study, Proceedings of IUGG Congress 2003 in Sapporo, Japan, July 2003.

Larocca A.P.C., Schaal R.E., 2005. Millimeters in Motion, Dynamic Response Precisely Measured, GPS World, Jan 1, 2005.

Li L., Kuhlmann H., 2008. Detection of deformations and outliers in real-time GPS measurments by Kalman Filter model with shaping filter, 13th FIG Symposium on Deformation Measurement and Analysis, LNEC, Lisbon, Portugal, 2008, May 12–15.

Ogaja C., Rizos C., Wang J., James Brownjohn J., 2001. Toward the implementation of on-line structural monitoring using RTK-GPS and analysis of results using the wavelet transform, The 10th FIG International Symposium on Deformation Measurements, 19–22 March 2001 Orange, California, USA.

Paavola M., Ruusunen M., Pirttimaa M., 2005. Some change detection and time-series forecasting algorithms for an electronics manufacturing process, University of Oulu, Control Engineering Laboratory, Report A No 26, March 2005.

Pretorius C.J., Schmidt W.F., van Staden C.S., Egger K., 2001. The extensive geodetic system used for the monitoring of a 185 metre high arch dam in Southern Africa, Proceedings of 10th FIG International Symposium on Deformation Measurements, 19–22 March 2001 Orange, California, USA.

Roberts G.W., Brown C., Meng X., 2006. Bridge Deflection Monitoring – Tracking Millimeters across the Firth of Forth, GPS World, Feb 1, 2006.

Rodionov S.N., 2005. "A Brief Overview of the Regime Shift Detection Methods", [in:] Large-Scale Disturbances (Regime Shifts) and Recovery in Aquatic Ecosystems: Challenges for Management Toward Sustainability, V. Velikova and N. Chipev (Eds.), UNESCO-ROSTE/BAS Workshop on Regime Shifts, 14–16 June 2005, Varna, Bulgaria, 17–24.

Rzepecka Z., 2004. Mopdification of Algorithms for Determination of Short Kinemtic Vectors from GPS Data, Wydawnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego, Rozprawy i Monografie 86, Olsztyn, 2004.

Szostak-Chrzanowski A., Chrzanowski A., Deng N., Bazanowski M., 2008, Design and analysis of multi-sensor deformation detection systems, 13th FIG Symposium on Deformation Measurement and Analysis, LNEC, Lisbon, Portugal, 2008, May 12–15.

Szpunar R., 2006, Satelitarne monitorowanie przemieszczeń w czasie quasi-rzeczywistym, Rozprawa doktorska, Wydział Geodezji i Kartografii, Politechnika Warszawska,

Wilkins R., Bastin G., Chrzanowski A., 2003. ALERT: A fully automated real time monitoring system, Proceedings 11th FIG Symposium on Deformation Measurement, May 25–28, 2003, Santorini, Greece.

Zhou P., Zhou B., Guo J., Li D., Ding Z., Feng Y., 2005. A Demonstrative GPS-aided Automatic Landslide Monitoring System in Sichuan Province, Journal of Global Positioning Systems (2005), Vol. 4, No. 1–2, 184–191.

JUMPING SIGNAL DETECTION IN GPS COORDINATE TIME SERIES

Abstract. A modified differencing method of the detection of irregular jumping changes in discrete measuring signals (e.g. time series of changes of coordinate points GPS) in the presence of disruptions of the signal with random measuring noise (white noise) and of accidental diverging observations (outliers) was shown at the work. The method consists in replacing the moving average in the classic algorithm of the differencing method through the median, what to a considerable degree the influence of diverging observation is being limited by. The method was tested on simulated measuring signals. How the test calculations demonstrated, the method is effective even for relatively narrow window on the side of following observations after tested measuring epoch. It allows on relatively fast alarming because of becoming known the irregular change about the amplitude even on the border of measuring noise (3 sigma). The method can find application in automatic control-measuring systems using the satellite system GPS for displacement monitoring of engineering objects, in particular for monitoring of hydro technical, industrial and mining objects' deformations.

Key words: coordinate time series, jumping signals, outliers, median difference method

Accepted for print – Zaakceptowano do druku: 30.09.2011

For citation – Do cytowania: Kontny B., 2011. Wykrywanie sygnałów skokowych w szeregach czasowych zmian współrzędnych GPS. Acta Sci. Pol. Geod. Descr. Terr. 10(3), 5–18.

ACTA SCIENTIARUM POLONORUM
Acta Sci. Pol.,
Geodesia et Descriptio Terrarum 10(3) 2011, 19-28
ISSN 1644–0668 (print) ISSN 2083–8662 (on-line)

WSKAŹNIK GĘSTOŚCI WYSTĘPOWANIA ZJAWISK PUNKTOWYCH JAKO MODERATOR SKALI MIEJSKICH MAP TEMATYCZNYCH

Adam Michalski, Przemysław Tymków

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Streszczenie. Miejskie mapy tematyczne mogę być słabo czytelne w miejscach o dużym zagęszczeniu informacji punktowej. Jednym ze sposobów przezwyciężania tego problemu jest wykonanie anamorfoz zwiększających lokalną skalę obszaru o dużym zagęszczeniu informacji. Anamorficzne przekształcenia zmiennoskalowe wykonywane mogą być metodą izotropową, opierając się na zmianie skali mapy z zastosowaniem np. reprezentacji logarytmicznej lub przez utworzenie niejednorodnego, anizotropowego przekształcenia poprzedzanego lokalną analizą rozkładu danych punktowych na odwzorowanym obszarze. W artykule podjęta została próba zastosowania wskaźnika przestrzennej gęstości zjawisk punktowych do tworzenia zmiennoskalowych anamorfoz obszarów miejskich na przykładzie mapy miasta Wrocławia. Przedstawiona procedura konstrukcji tego typu map tematycznych opracowana i przetestowana została, z wykorzystaniem wektorowej bazy danych, w środowisku GIS.

Słowa kluczowe: mapy anamorficzne zmiennoskalowe, mapy miejskie, automatyzacja konstrukcji map anamorficznych

MAPY ANAMORFICZNE

Zmienność skali długości na każdej tradycyjnej mapie uzyskanej w procesie odwzorowania kartograficznego oznacza, że formalnie wszystkie mapy można by traktować jako anamorfozy [Muller 1982,1983]. W literaturze jako anamorfozy traktuje się jednak wyłącznie mapy będące rezultatem celowej modyfikacji map tradycyjnych, a więc mapy o wyraźnie zaburzonej, w stosunku do euklidesowej, geometrii – ale lepiej dostosowanej do związanych z funkcją mapy potrzeb użytkownika.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2007–2009 jako projekt badawczy

© Copyright by Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Adres do korespondencji – Corresponding author: Adam Michalski, Instytut Geodezji i Geoinformatyki Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, ul. Grunwaldzka 54, 50-357 Wrocław, adam.michalski@up.wroc.pl

Mapy anamorficzne podzielić można na dwie grupy [Krzywicka-Blum, Michalski 2009]:

- mapy (modele) anamorficzne, gdzie powierzchnia lub odległość pełnią zmienioną funkcję operacyjną (następuje zmiana funkcji metryki);
- mapy anamorficzne zmiennoskalowe, gdzie zmiana skali ma na celu powiększenie, uwypuklenie wybranych obszarów.

Dalsza część niniejszego artykułu dotyczy drugiej grupy spośród wyżej wymienionych. W literaturze przedmiotu znaleźć można wiele metod konstrukcji map tego typu. Występują rozwiązania, gdzie zmiana skali następuje izotropowo w stosunku do miejsca centralnego na mapie, jak też takie, w których zmiana taka ma charakter anizotropowy. Różne są też metody wykonywania takich map. Najczęściej są to metody algorytmiczne, ale występują też metody analogowe oparte na operowaniu optyką urządzeń fotogrametrycznych (ich znaczenie ma charakter raczej historyczny). Zobrazowania tego typu były również szeroko dyskutowane w środowiskach zajmujących się wizualizacyjnymi technikami grafiki komputerowej. W pracy [Leung, Apperley 1994] znaleźć można szeroki przegląd stosowanych metod. Ważne z punktu widzenia kartografii własności metryczne wybranych metod budowy map anamorficznych zostały omówione w pracy [Garbarczyk-Walus 2007]. Do anamorfoz tej grupy niektórzy autorzy [Kadmon 1982, Longley i in. 2008] zaliczają też zupełnie schematyczne przedstawienia układów komunikacyjnych. Najczęściej przedstawionym w literaturze przykładem jest mapa metra londyńskiego.

W anamorfozach zmiennoskalowych o charakterze izotropowym wyróżniony jest jeden biegun (ognisko), a zmianę położenia dowolnego punktu mapy uzyskuje się jako funkcję euklidesowej odległości od bieguna. Wśród sposobów praktycznej realizacji szerokie zastosowanie znalazła metoda fotogrametryczna z użyciem kamery dystorsyjnej. Wiele, zwłaszcza europejskich, miast z zabytkowymi śródmieściami i satelitarnie rozmieszczoną zabudową współczesną ma wydane w oficynie Falka anamorficzne plany według koncepcji Kadmona radialnej hiperbolicznej transformacji współrzędnych [Kadmon 1975]. Podobne rozwiązanie – numeryczne, w formie modułu systemu GIS, opracowane zostało dla poprawy czytelności modelu rozmieszczenia sieci tematycznych obiektów punktowych (np. sieć szpitali i aptek) miasta Volos w Grecji [Boutoura 1993, 1994, 1999]. Innym przykładem opracowania takich map jest praca [Fairbairn, Taylor 1995] odwołująca się do publikacji z lat 50. [Hagerstrand 1957].

Anizotropowość w anamorfozach zmiennoskalowych wynika z nierównomierności rozkładu podobszarów o większym niż inne znaczeniu dla użytkowników danej mapy tematycznej. Mogą tu wystąpić dwie sytuacje: gdy usytuowanie jednego ważnego obszaru nie jest centralne, stosuje się anamorfozę jednoogniskową, podczas gdy większa liczba obszarów koniecznych do powiększenia wymaga zastosowania anamorfozy wieloogniskowej. Przykładem pierwszej sytuacji jest mapa wydana na 46 Międzynarodowy Kongres Eucharystyczny (o zmienności skali 1:80000 – 1:20000) [Krzywicka-Blum 1999]. Za udaną można też uznać metodę wielostrefowego montażu z wykorzystaniem fotogrametrycznego przetwornika o możliwości nachylenia obiektywu do 45°, jednak wymaga to dysponowania materiałem źródłowym w formie transparentnej. Drugą sytuację reprezentuje przykład mapy historycznego Wrocławia z 6 ogniskami obwodowymi i 1 centralnym które usytuowane są w szczególnie ważnych miejscach. Rozwiązanie odpowiedniego równania różniczkowego, tak aby skala zmieniała się od wartości 1:1000 w biegunach do 1:2000 w połowie długości każdej osi łączącej ognisko z ogniskiem

obwodowym, pozwoliło określić relacje między odległościami od ogniska na mapie źródłowej i anamorficznej. W sektorach utworzonych przez zbieżny układ osi skala zmienia się liniowo od granicy lewo- do prawostronnej [Krzywicka-Blum 1993, 1999].

Znaną i często stosowaną jest metoda odwzorowania wieloogniskowego (ang. polyfocal projection) [Kadmon 1978,1982] pokazująca sposób budowy mapy o zmiennej skali. Oparta jest na obliczaniu współrzędnych punktów po przekształceniu, na podstawie odległości od wielu ognisk. Jeżeli przyjąć, że skala mapy wyjściowej wyraża się wzorem:

$$S_0 = 1/s_0 \tag{1}$$

oraz oznaczymy:
R – odległość punktu od ogniska na mapie wyjściowej,
f(R) – funkcja odległości (zwana też funkcją tarcia) – opisuje wpływ odległości na intensywność przedstawianego zjawiska w danym punkcie,
skala w nowym odwzorowaniu może być wyrażona zależnością:

$$S = S_0 + S_0 f(R) \tag{2}$$

Autorzy proponują „funkcję tarcia" w postaci:

$$f(R) = \frac{A}{1+CR^2} \tag{3}$$

gdzie:
A – reprezentuje siłę wpływu ogniska (czyli stopień dystorsji), a C – określa radialny współczynnik zasięgu oddziaływania danego ogniska.

Powyższe współczynniki nie zostały formalnie określone i zależą od użytkownika. Podstawiając, otrzymuje się wzór skali w postaci (przy założeniu, że $S_0 = 1$):

$$S = 1 + \frac{A}{1+CR^2} \tag{4}$$

Jeżeli skala zmienia się w sposób ciągły i radialny od ogniska, to odległość punktu po przekształceniu można zapisać jako:

$$r = R + \frac{AR}{1+CR^2} \tag{5}$$

Po przekształceniach otrzymuje się nowe położenie punktu:

$$x' = x + \frac{Adx}{1+CR^2} \qquad y' = y + \frac{Ady}{1+CR^2} \tag{6}$$

przy czym:
x,y – współrzędne pierwotne punktu, a dx,dy – różnice współrzędnych punktu w stosunku do ogniska.

Aby uwzględnić wpływ wielu ognisk, przyjęto, że wartość zmiennej tematycznej w każdym punkcie jest równa sumie wpływów z poszczególnych ognisk:

$$x' = x + \sum_{i=1}^{n} \frac{A_i(x - X_i)}{1 + C_i R_i^2} \qquad (7)$$

$$y' = y + \sum_{i=1}^{n} \frac{A_i(y - Y_i)}{1 + C_i R_i^2}$$

METODA AUTOMATYZACJI LOKALIZACJI PUNKTÓW FOKALNYCH (OGNISKOWYCH) ANAMORFOZ ZMIENNOSKALOWYCH

W przypadku takiego rozmieszczenia sygnatur obiektów punktowych będących indykatorami moderacji skali, które predestynuje do stworzenia anamorfozy, określenie ilości i lokalizacji punktów fokalnych (ognisk) może być przedmiotem automatyzacji. Przyjmując za punkt wyjścia wzór Kadmona (5), zaproponowano metodę polegającą na umieszczeniu regularnych centrów fokalnych, opierając się na siatce kwadratów. Liczba punktów występujących w każdym polu siatki, będąca najprostszym z możliwych współczynników gęstości, pełni ważną rolę w dalszych rozważaniach. Przeprowadzono kilkanaście prób doboru współczynników *A* oraz *C*. Poniżej przedstawiono dwie propozycje rozwiązań. Jedną z pierwszych, opierającą się na prostej funkcji zerojedynkowej i odwrotności liczby punktów w polu siatki, oraz drugą, w której wykorzystano właściwości funkcji arcus tangens. W pierwszej funkcji o tym, czy zostanie wykorzystane dane ognisko w procesie anamorfozy, decyduje parametr *A*, natomiast zasięg jego oddziaływania, czyli wpływ na przesunięcie radialne, moderowany jest za pomocą liczby sygnatur interesujących nas zjawisk punktowych w polu siatki, którego centrum stanowi punkt fokalny, czyli ognisko. Ponieważ próbę przeprowadzono na mapie o współrzędnych rzeczywistych w układzie 1992, dodatkowo wprowadzono parametr skalujący μ (który dla map miejskich opracowywanych na podstawie wektorowej mapy o szczegółowości odpowiadającej 1:50 000 wynosił 0,000001). Parametr dobrany został doświadczalnie. Konieczne są badania nad algorytmizacją jego doboru. Ostatecznie przesunięcie radialne punktów względem pojedynczego centrum po transformacji wyrazić można wzorem:

$$r = R + \frac{AR}{1 + C\mu R^2} \qquad (8)$$

gdzie:

$$A = \begin{cases} 0 - \text{jeśli w polu siatki brak obiektów punktowych danej kategorii} \\ 1 - \text{jeśli w polu siatki znajdują się obiekty punktowe danej kategorii} \end{cases}$$

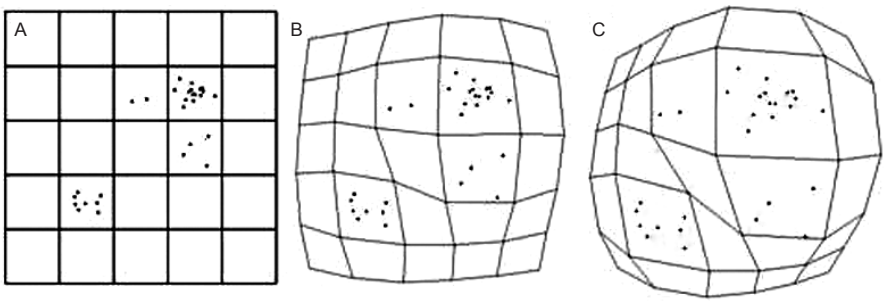
$$C = \begin{cases} 0 - \text{jeśli w polu siatki brak obiektów punktowych danej kategorii} \\ \frac{1}{\mathrm{n}} - \text{gdzie n to liczba obiektów punktowych w danym polu siatki} \end{cases}$$

Dla większości rozkładów punktów w omawianym zbiorze obiektów miasta Wrocławia taka funkcja dawała zadowalające wyniki. Jednakże w przypadkach dużego zagęszczenia punktów rozwiązanie wymagało modyfikacji. Zdecydowanie lepsze wyniki osiągnięto

przy zastosowaniu drugiej propozycji metodycznej, w przypadku której parametr A decyduje o tym, jak silna dystorsja następuje, natomiast parametr C – o zasięgu tej dystorsji. Zastosowanie funkcji arcus tangens powoduje, że nawet duża liczba punktów w jednym polu siatki nie zaburza czytelności mapy. Ponadto ogniskiem nie jest już tu centroid pola siatki, ale jego położenie jest obliczane jako środek ciężkości wizualizowanych obiektów punktowych w polu siatki. Wzory na taki właśnie dobór współczynników A i C są następujące:

$$A = \text{arctg}\ (\text{n})$$

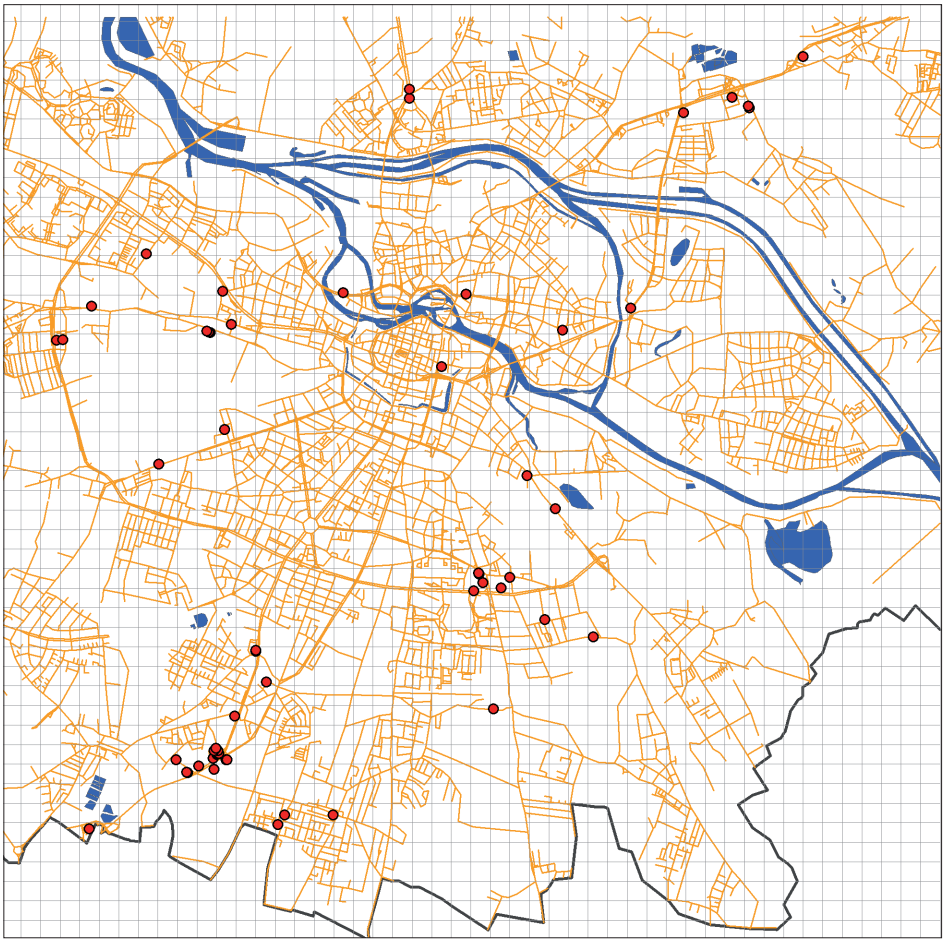
$$C = \begin{cases} 0 - \text{jeśli w polu siatki nie występują obiekty punktowe danej kategorii} \\ \dfrac{1}{\text{arctg}\left(\dfrac{1}{2}\text{n}\right)} - \text{gdzie n to liczba obiektów punktowych w polu siatki} \end{cases}$$



Rys. 1. Porównanie moderacji skali obrazu siatki kwadratów (A) dla współczynnika powiększenia dobieranego za pomocą funkcji zerojedynkowej (B) oraz arctg (C)

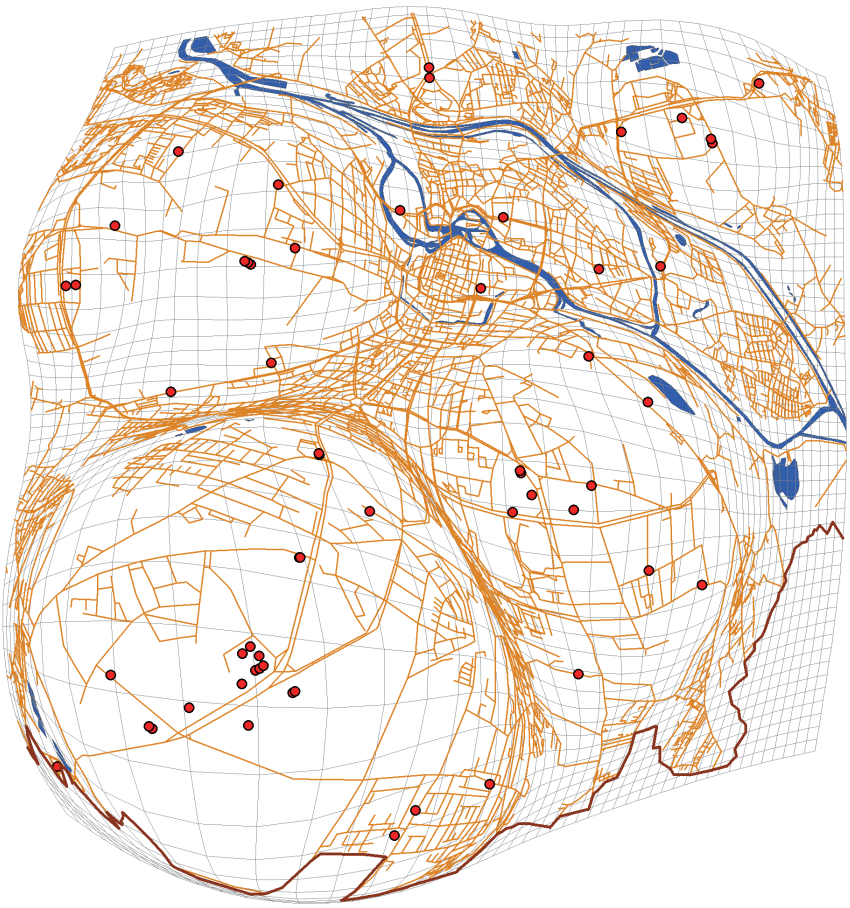
Fig. 1. Comparison of the squares (A) scale changing on the result picture depending on function matching: zero-one function (B) and arctangent (C)

Porównanie wyniku moderacji skali przy zastosowaniu funkcji zerojedynkowej oraz arctg zaprezentowano na rysunku 1. Korzystając z powyższych założeń, przeprowadzono próby przekształcenia postaci graficznej miejskiej mapy części Wrocławia, opierając się na punktach pozyskanych z bazy danych POI (Point of Interest). Uzyskano poprawne wyniki. Na rysunku 2 przedstawiono sygnatury punktów reprezentujących warsztaty mechaniki pojazdowej w wybranej części Wrocławia. Natomiast na rysunku 3 zaprezentowano automatycznie wygenerowaną mapę anamorficzną tych punktów z powiększeniem obszarów o większym ich zagęszczeniu. Opracowany został program komputerowy służący do generowania takich map. Jako środowisko implementacyjne wykorzystano edytor języka VBA w systemie ArcInfo.



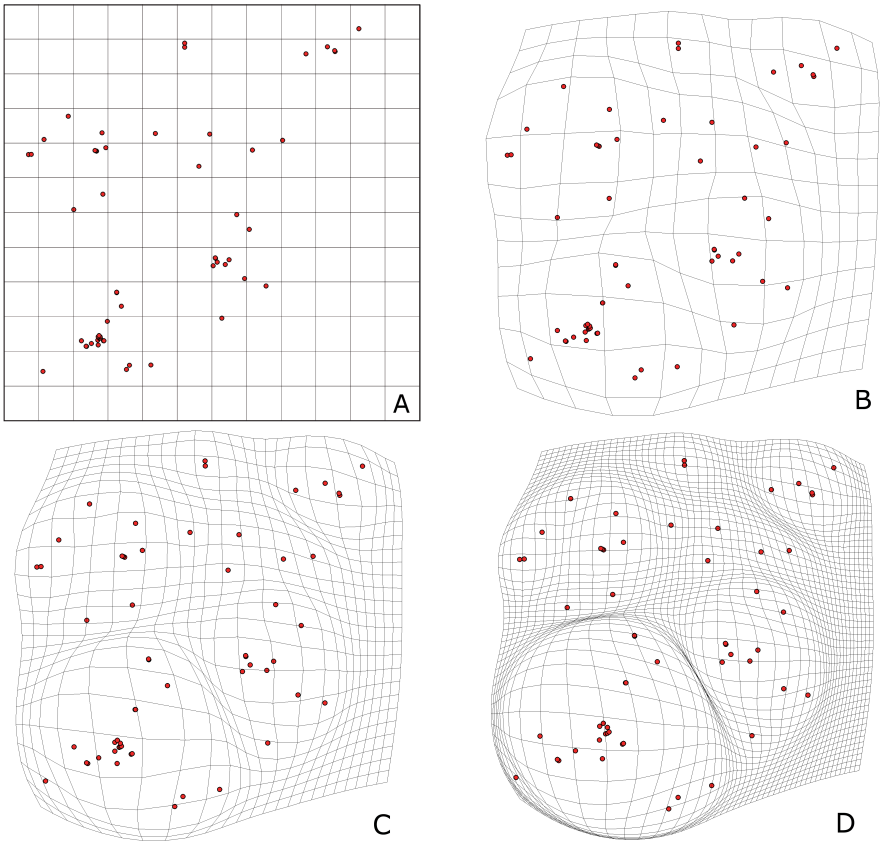
Rys. 2. Warsztaty mechaniki pojazdowej w wybranej części Wrocławia
Fig. 2. Car services in the chosen part of Wrocław

Przy tak zaproponowanym algorytmie duży wpływ na stopień dystorsji ma dobranie rozmiaru siatki, a więc – analizowana liczba punktów w poszczególnych polach. Przykłady efektów zmiany wielkości pól pokazane zostały na rysunku 4. Zauważyć można, że w miarę wzrostu zagęszczenia siatki następuje wzrost dystorsji w miejscach, gdzie zagęszczenie punktów było znaczące. Rysunek 4A przedstawia rozmieszczenie badanych punktów bez zniekształceń. Kolejne mapy są wynikiem zastosowania proponowanego algorytmu przy zastosowaniu siatki o wielkości pola odpowiednio: 1000 m dla rysunku 4B, 500 m dla rysunku 4C oraz 250 m dla rysunku 4D.



Rys. 3. Warsztaty mechaniki pojazdowej w wybranej części Wrocławia w przekształceniu anamorficznym – zastosowana siatka o boku 250 m

Fig. 3. Car services in the chosen part of Wrocław in cartogram transformation – square size 250 m



Rys. 4. Wpływ doboru wielkości pól siatki na wielkość dystorsji w przekształceniu anamorficznym. A – położenie punktów bez zniekształceń, B – siatka z polem o boku 1000 m, C– siatka z polem o boku 500 m, D – siatka z polem o boku 250 m

Fig. 4. Influence of the selection of squares size on the distortion magnitude in anamorphic cartogram transformation, A – the position of points without distortions, B – squares size 1000 m, C – squares size 500 m, squares size 250 m

WNIOSKI

We współczesnej nauce i technice dąży się do automatyzacji wykonywanych zadań. W artykule opisana jest próba opracowania algorytmu umożliwiającego automatyczne generowanie anamorficznych map zmiennoskalowych wieloogniskowych w nawiązaniu do metody Kadmona. Zaproponowana została metoda, w której punkty ogniskowe, czyli takie gdzie następuje dystorsja, wybierane są na podstawie regularnej siatki. Dobrane zostały współczynniki, które w wykonanych na danych testowych próbach okazały się generować zadowalające wyniki. Oczywiście, uzyskane wyniki nie stanowią ogólnego rozwiązania, otwierają jednak możliwości dalszego rozwoju metody w celu polepszenia czytelności opracowywanych map. Można wymienić dwa zagadnienia, które wymagają

dalszych prac. Dla map miejskich mógłby być opracowany algorytm generalizacji eliminujący część spośród gęstej siatki ulic w miejscach, w których po przekształceniu znacząco zmniejszyła się skala. Drugie zagadnienie dotyczy uzależnienia stopnia dystorsji od liczby elementów otaczających wizualizowane punkty. Mapy tego typu pozwalają na uzyskanie czytelnego obrazu wybranych obszarów przy zachowaniu widoku całości mapy. Takie rozwiązanie może znajdować zastosowanie w nawigacji, jak też planowaniu przestrzeni miejskiej.

PIŚMIENNICTWO

Boutoura C., 1993. A treatment of dense thematic symbolism in LIS environment, ELIS'93, Aristotle University of Thessaloniki.

Boutoura C.,1994. Logarithmic urban thematic mapping in MIS environment, Cartographica, vol. 31, no. 1, 41–53.

Boutoura Ch., Livieratos E., Patias P., 1999. Focal photomaps for urban use. Proceedings of 19th International Cartographic Conference, International Cartographic Association, 1489–1496.

Fairbairn D., Taylor G., 1995. Developing a variable-scale map projection for urban areas, Computers and Geosciences, Vol. 21, No. 9, 1053–1064.

Garbarczyk-Walus S., 2007. Własności metryczne wybranych odwzorowań anamorficznych, Roczniki Geomatyki 2007, Tom 5, Zeszyt 3, 57–67.

Hagerstrand T., 1957. Migration and area, Migration in Sweden, Lund Studies in Geography, Ser.B, no 13, 27–158.

Kadmon N., 1975. Data Bank Derived Hyperbolic-Scale Equitemporal Town Maps, International Yearbook of Cartography, Kirchbaum Verlag.

Kadmon N., 1978. A Polyfocal Projection for Statistical Surfaces, The Cartographic Journal, vol.15, no.1, 36–41.

Kadmon N., 1982. Cartograms and topology, Cartographica, vol. 19, no. 3/4, 1–17.

Krzywicka-Blum E., 1993. New types of city maps using operational scales, 16th International Cartographic Conference, Proceedings 2, Cologne, 924–933.

Krzywicka-Blum E., 1999. Thematic maps at changing scales and the exemplary applications Thereof, The Polish Cartography 1999.

Krzywicka-Blum E., Michalski A., 2009. Anamorphic maps – an overview, Geoinformatica Polonica vol. 9, 21–34.

Longley P., Goodchild M., Maguire D., Rhind D., 2008. GIS Teoria i praktyka, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 310–311.

Leung Y.K., Apperley M.D., 1994. A review and taxonomy of distortion-oriented presentation techniques, ACM Transactions on Computer-Human Interaction, Vol. 1, No. 2, 126–160.

Muller J.C., 1982. Non-Euclidean geographic spaces: mapping functional distances, Geographical Analysis, vol. 14, no. 3, 189–203.

Muller J.C., 1983. La cartographie des espaces fonctionnels, L'Espace Geographique, No. 2, 142–153.

THE DENSITY COEFFICIENT POINT SYMBOLS OCCURRENCE AS THE MODERATOR OF SCALE OF URBAN THEMATIC MAPS

Abstract: Thematic maps of cities can be weakly readable in case of high concentration of point information. One of possibilities to cope with this problem is creating cartograms (anamorphic maps), which increase local scale of area with high concentration of point symbols and decrease where this information is rare. Variable-scale cartogram transformations are made on the basis of isotropic scale changing (using eg. logarithmic representation) or heterogeneous anisotropic transformation through local analysis of point data distribution. An attempt of using points data spatial density coefficient to creating cartogram of urban area maps is shown in this paper. A map of Wrocław was chosen as a testing data. Proposed procedure of creating such thematic maps was implemented and tested using vector data in GIS environment.

Key words: variable-scale cartograms, urban maps, cartogram design automation

Accepted for print – Zaakceptowano do druku: 30.09.2011

For citation – Do cytowania: Michalski A., Tymków P., 2011. Wskaźnik gęstości występowania zjawisk punktowych jako moderator skali miejskich map tematycznych. Acta Sci. Pol. Geod. Descr. Terr. 10(1), 19–28.

ACTA SCIENTIARUM POLONORUM
Acta Sci. Pol.,
Geodesia et Descriptio Terrarum 10(3) 2011, 29-44
ISSN 1644–0668 (print) ISSN 2083–8662 (on-line)

DOKŁADNOŚĆ OBLICZANIA POLA POWIERZCHNI ZE WSPÓŁRZĘDNYCH PŁASKICH PROSTOKĄTNYCH

Adam Doskocz

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Streszczenie. Współczesne mapy wielkoskalowe opracowywane są w systemach informacyjnych, jednakże cyfrowa forma opracowania bynajmniej nie zmienia oczekiwań zdefiniowanych niegdyś w przypadku mapy analogowej. W realizacji procesu obsługi inwestycji typowymi informacjami pozyskiwanymi z map wielkoskalowych są odległości i pola powierzchni.
W niniejszej pracy przedstawiono analizę dokładności obliczenia pola powierzchni wieloboków ze współrzędnych (X, Y) wierzchołków z uwzględnieniem błędów średnich (m_X, m_Y) ich wyznaczenia. W wyniku analiz wykazano także wpływ średniego błędu położenia punktów granicznych na dokładność analitycznego wyznaczenia pola powierzchni działki ewidencyjnej. Ponadto, podano nową formułę na dopuszczalną różnicę dwukrotnego analitycznego wyznaczenia pola powierzchni.

Słowa kluczowe: obiekty katastralne, dokładność obliczania pola powierzchni

WSTĘP

Mapy wielkoskalowe zapewniają możliwość obliczania pola powierzchni, co obok wyznaczania długości elementów liniowych stanowi podstawę realizacji typowych zadań gospodarczych. Współcześnie, przy opracowywaniu map w postaci cyfrowej, pola powierzchni obliczane są z zastosowaniem metod analityczno-numerycznych [Kadaj 2001] lub są pozyskiwane bezpośrednio z baz danych. Pole powierzchni jest kluczowym atrybutem obiektów zawartych w ewidencji gruntów i budynków, a ponadto często jest niezbędną informacją do prawidłowej realizacji opracowań planistycznych i obsługi inwestycji.

Praca powstała w ramach badań zleconych przez Główny Urząd Geodezji i Kartografii w Warszawie (KN-2501-04-05), ich rezultaty były prezentowane m.in. na III Ogólnopolskiej Konferencji Naukowo-Technicznej pt. Kartografia numeryczna i informatyka geodezyjna

© Copyright by Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Adres do korespondencji – Corresponding author: Adam Doskocz, Katedra Geodezji Szczegółowej, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, ul. Heweliusza 12, 10-724 Olsztyn, e-mail: adam.doskocz@uwm.edu.pl

Wielkości dotychczas stosowanych w kraju dopuszczalnych odchyłek dwukrotnego obliczenia pola powierzchni wyznacza się ze wzorów, które generalnie uwzględniają tylko wpływ wielkości obliczanego pola powierzchni, a niekiedy dodatkowo współczynnik wydłużenia analizowanej figury geometrycznej. Natomiast wiadomym jest, że dokładność analitycznego obliczenia pola powierzchni dowolnej figury geometrycznej, obok rozmiaru figury i jej kształtu, zależna jest również od błędów wyznaczenia położenia jej punktów wierzchołkowych [Masłow 1955, Pluciński 1966, Wilkowski 1987, Sikorski i Wasilewski 1991, Latoś 2000, Wrona 2001, Bogaert i in. 2005, Doskocz 2005].

Analizując dokładność obliczenia pola powierzchni ze współrzędnych, należy mieć na uwadze współczesne metody ich wyznaczania oraz ich dokładność [Dąbrowski i Doskocz 2005]. Ze względu na wagę zagadnienia obliczania pola powierzchni i jego dokładności niezwykle istotną kwestią jest efektywność ekonomiczna stosowanych – do wyznaczenia położenia (współrzędnych) – technologii pomiarowych [Schnurr 2004]. Duże znaczenie w tym zakresie ma również szybkość pozyskania współrzędnych wyznaczanych punktów [Abdel-Maguid i in. 2005]. W świetle aspektów szybkości i efektywności ekonomicznej pozyskiwania danych terenowych do obliczania pól powierzchni szczególnie atrakcyjne jest zastosowanie wyznaczania pozycji w systemach GNSS (ang. *Global Navigation Satellite Systems*). Już w pierwszych latach cywilnych zastosowań pomiarowych systemu satelitarnego GPS (ang. *Global Positioning System*) zwrócono uwagę na zalety wyznaczania pól powierzchni na podstawie pomiarów GPS. Przykładowo, wykorzystywano pomiary GPS do nadzoru i zarządzania uprawami rolniczymi [Kryński i Oefverberg 1994]. Duże nadzieje z satelitarnym wyznaczaniem pozycji wiązano także w aspekcie szerszych zastosowań gospodarczych, w katastrze nieruchomości i w systemie informacji o terenie [Oszczak 1990, Barnes i Eckl 1996, Wyczałek i Wyczałek 1998].

Istotnych wniosków w zakresie dokładności obliczania pola powierzchni z wyników pomiarów GPS dostarczyła praca [Bogaert i in. 2005], w której wyznaczano pola uprawne o typowych rozmiarach dla obszaru Unii Europejskiej. W przypadku działek rolnych o powierzchni od 0,5 ha do 5 ha stwierdzono błąd obliczenia rzędu od 1 do 5%. Ponadto, stwierdzono zależność dokładności obliczenia powierzchni od prędkości (częstotliwości) gromadzenia danych terenowych w trybie RTK GPS (wyznaczania współrzędnych punktów na obrysie mierzonego obiektu). Ustalono, że przy pomiarach działek o powierzchni do 4 ha optymalną jest prędkość przenoszonego pieszo odbiornika rzędu 0,5–2 m/s (1,8–7,2 km/h) [Bogaert i in. 2005]. Jak wiadomo, zwiększanie liczby punktów wyznaczanych na obrysie mierzonego obiektu powoduje wzrost dokładności wyznaczenia jego pola powierzchni [Doskocz 2006ab, Hejmanowska i Woźniak 2009].

W kontekście potrzeb nowoczesnego prowadzenia katastru i zadań pokrewnych (np. w Systemie Identyfikacji Działek Rolnych, ang. *Land Parcel Identification System*, LPIS [Ciećko i Oszczak 2006, Zimnoch 2005, Deska 2006]), obok pomiarów bezpośrednich wykonanych tachimetrem elektronicznym [Doskocz 2008] lub techniką RTK GPS [Baryła i in. 2006], wykorzystywane są także technologie fotogrametrii cyfrowej i teledetekcji [Hejmanowska 2006]. Ponadto, obecnie coraz częściej współczesne technologie pomiarowe uzupełniają się i są wykorzystywane łącznie [Onkalo 2006], a w specjalistycznych systemach informacyjnych wspomagają je również aplikacje GIS-owe [Relin i in. 2003].

Współczesne techniki pomiarów terenowych pozwalają na wyznaczanie szczegółów sytuacyjnych z wysoką dokładnością. Należy jednak pamiętać, iż w przypadku oceny

dokładności wyrażanej miarą błędu bezwzględnego, z uwzględnieniem błędności punktów osnowy [Kadaj 2003], kluczowe znaczenie może mieć dokładność położenia punktów osnowy geodezyjnej i poprawność relacji długości boków nawiązania do odległości do mierzonych obiektów [Dąbrowski i Doskocz 2000]. Ocena dokładności analitycznego obliczenia pola powierzchni na podstawie błędu bezwzględnego powinna zatem uwzględniać dokładność osnowy geodezyjnej, podobnie jak w przypadku oceny kartometryczności mapy katastralnej [Sikorski i Wasilewski 1991, Latoś i Maślanka 1998]. Natomiast rozpatrywanie dokładności względnej, liczonej w stosunku do punktów osnowy geodezyjnej, jest jednoznaczne z przyjęciem założenia o bezbłędności punktów osnowy. W ramach pomiarów terenowych może to oznaczać pomiar wykonywany w układzie lokalnym instrumentu lub pomiary dwukrotne z wykorzystaniem identycznych punktów osnowy.

W niniejszej pracy odniesiono się do względnej dokładności (przy założeniu bezbłędności punktów osnowy) obliczenia pola powierzchni figury geometrycznej na podstawie średnich błędów współrzędnych płaskich (*X*, *Y*) jej wierzchołków. W pracy przedstawiono również sposób wyznaczenia wielkości dopuszczalnych odchyłek dwukrotnego obliczenia pola powierzchni, obiektów katastralnych i innych, ze współrzędnych punktów załamania ich granic wyznaczonych na podstawie wyników dwóch jednakowo dokładnych pomiarów.

OCENA DOKŁADNOŚCI ANALITYCZNEGO OBLICZENIA POLA POWIERZCHNI

Znany jest ścisły wzór na błąd pola figury o *n* bokach w zależności od błędów współrzędnych jej wierzchołków [Masłow 1955, Pluciński 1966]:

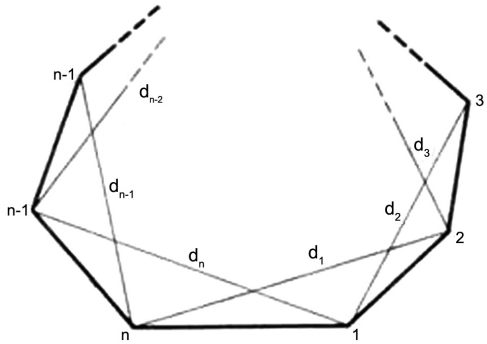
$$m_{Pow} = \pm\sqrt{1/4 \cdot \sum_{i=1}^{n} m_i^2 \cdot (2 \cdot m_{i+1}^2 + d_i^2)} \tag{1}$$

gdzie m_i jest błędem wyznaczenia współrzędnych *i*-tego wierzchołka, a d_i są przekątnymi wieloboku łączącymi wierzchołki o numerach $i-1$ oraz $i+1$ ($i = 1,2,\ldots,n$) – przy czym wierzchołki o numerach $0, n+1$ oznaczają odpowiednio wierzchołki o numerach $n, 1$ (rys. 1).

Powyżej zapisany w formule (1) ścisły wzór po uwzględnieniu, że $2 \cdot m_{i+1}^2 << d_i^2$ – i przy założeniu równej dokładności wyznaczenia współrzędnych (*X*, *Y*) punktów wierzchołkowych obiektu (tzn. $m_1 = m_2 = \ldots = m_n = m$) oraz przy zaniedbaniu wpływu błędności punktów osnowy i przyjęciu braku korelacji pomiędzy współrzędnymi tego samego punktu – można zapisać w uproszczonej postaci (2) podanej w pracy [Masłow 1955, s. 115]:

$$m_{Pow} = m_P \cdot \sqrt{\frac{1}{8} \sum_{i=1}^{n} d_i^2} \tag{2}$$

gdzie m_P jest błędem położenia punktu wierzchołkowego ($m_P = \sqrt{m_x^2 + m_y^2} = \sqrt{2 \cdot m^2}$, a w związku z tym $m = m_P / \sqrt{2}$). W równaniu (2) założono jednakową dokładność położenia (m_p) wszystkich punktów wierzchołkowych.



Rys. 1. Rozmieszczenie przekątnych naprzeciw kolejnych wierzchołków wieloboku [Pluciński 1966, s. 18]
Fig. 1. Location of diagonals opposite to successive vertices of the polygon

Zależność (2) zapewnia praktycznie wystarczającą dokładność wyznaczenia błędu analitycznego obliczenia pola powierzchni [Pluciński 1966, s. 24]. Przy założeniu, że figura, której pole powierzchni obliczamy, jest prostokątem o długości *a* i szerokości *b* (uwzględniając, że współczynnik wydłużenia $k = a/b$ i pole powierzchni $P = a \cdot b$, wówczas $a^2 = P \cdot k$ i $b^2 = P/k$), można ją zapisać w postaci także znanej z literatury przedmiotu [Trautsolt 1985, s. 226]:

$$m_{Pow} = m_P \cdot \sqrt{P} \cdot \sqrt{(1+k^2)/2 \cdot k} \tag{2a}$$

W przypadku obiektów powierzchniowych o kształcie zbliżonym do prostokąta obliczenie współczynnika wydłużenia (*k*) nie nastręcza trudności, albowiem określa go stosunek średniej długości do średniej szerokości. Natomiast w przypadku obiektu o nieregularnym kształcie – dla ustalenia współczynnika jego wydłużenia niezbędna jest znajomość długości obwodu (*O*) wieloboku i jego szerokości (*s*) pomierzonej w najszerszym miejscu. Wówczas wielkość współczynnika wydłużenia można obliczyć z następującej zależności $k = (\frac{O}{2} - s)/s$ [Doskocz 2006b].

WARUNKI ANALITYCZNEGO WYZNACZANIA POLA POWIERZCHNI Z DOKŁADNOŚCIĄ 1 M²

Błąd średni analitycznego wyznaczania pola powierzchni działki ewidencyjnej jest funkcją jej wielkości i kształtu, zależy on także wprost proporcjonalnie od dokładności wyznaczenia położenia punktów granicznych [Doskocz 2005]. W związku z tym, po przekształceniu formuły (2a), oszacowano błąd położenia punktu granicznego, który nie powinien być przekroczony, aby pole działki mogło być obliczone z błędem nie większym niż 1 m^2 (tab. 1).

Podobną analizę, przy innej tolerancji dopuszczalnego błędu wyznaczenia pola powierzchni, wykonano w pracy [Wilkowski 1987, s. 15]. Mianowicie, wyznaczono tam dokładność położenia punktów określających granicę drzewostanu, w systemach pomiarowych inwentaryzacji lasu, przy założonej wielkości względnego błędu pola powierzchni $m_P / P = 1.4\%$ i przyjętych wielkościach obszaru drzewostanu oraz jego kształtu.

Tabela 1. Dopuszczalny błąd położenia punktu granicznego (m_p) przy założeniu błędu obliczenia pola m_{Pow}=1 m^2

Table 1. Permissible error m_p of position of a border point with the assumption of the area determination error m_{Pow}=1 m^2

P [ha]	Błąd położenia punktu granicznego [m] Position error of the border point Współczynnik wydłużenia figury geometrycznej (*k*) Elongation coefficient of a geometric figure									
	1	1,5	2	2,5	3	4	5	7	10	15
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,005	-----	-----	-----	-----	-----	0,0970	0,0877	0,0748	0,0629	0,0515
0,01	0,1000	0,0961	0,0895	0,0831	0,0775	0,0686	0,0620	0,0529	0,0445	0,0364
0,05	0,0447	0,0430	0,0400	0,0371	0,0346	0,0307	0,0277	0,0237	0,0199	0,0163
0,1	0,0316	0,0304	0,0283	0,0263	0,0245	0,0217	0,0196	0,0167	0,0141	0,0115
0,5	0,0141	0,0136	0,0126	0,0117	0,0110	0,0097	0,0088	0,0075	0,0063	0,0052
1	0,0100	0,0096	0,0089	0,0083	0,0077	0,0069	0,0062	0,0053	0,0044	0,0036
3	0,0058	0,0055	0,0052	0,0048	0,0045	0,0040	0,0036	0,0031	0,0026	0,0021
7	0,0038	0,0036	0,0034	0,0031	0,0029	0,0026	0,0023	0,0020	0,0017	0,0014
10	0,0032	0,0030	0,0028	0,0026	0,0024	0,0022	0,0020	0,0017	0,0014	0,0012

Wielkości liczbowe zestawione w tabeli 1 wskazują jednoznacznie, że aby uzyskać dokładność 1 m^2 wyznaczenia powierzchni działek ewidencyjnych (przy wydłużeniu k>3) o polu równym 50 m^2 i polach większych, dokładność wyznaczenia położenia punktów granicznych musi przewyższać obecnie wymaganą minimalną dokładność m_P = 0,10 m. W przypadku działek o powierzchni 0,5 ha położenie punktów granicznych powinno być wyznaczone z dokładnością rzędu 0,01 m, a dla działek większych – teoretycznie z jeszcze wyższą dokładnością. Jednakże w warunkach rzeczywistych pomiarów terenowych jest to absurdalnym postulatem. W związku z tym, należałoby rozważyć możliwość wpisania w obowiązujących standardach technicznych wymogu zwiększenia dokładności wyznaczania położenia punktów granicznych.

Jest to także zgodne ze znanymi opiniami środowiska naukowego, w których podnosi się potrzebę zaostrzenia wymogów dokładnościowych w zakresie poziomych osnów geodezyjnych i szczegółowych pomiarów sytuacyjnych. Mianowicie postuluje się, aby punkty osnowy nie były wyznaczane z błędami położenia większymi od 0,05 m, a położenie szczegółów sytuacyjnych I grupy powinno być wyznaczane z dokładnością nie mniejszą niż 0,03 m względem osnowy [Latoś 2000]. Również tendencje takich zmian widoczne są w innych krajach. Na przykład w USA Państwowe Towarzystwo Geodetów Uprawnionych w przyjętym w 2005 roku dokumencie określającym wytyczne pomiarów wyznaczających prawa własności nieruchomości postuluje, aby dokładność pomiarów sytuacyjnych była nie gorsza niż 0,07 stopy (0,020 m) + 50 ppm [ALTA 2005].

ANALIZA DOKŁADNOŚCI OBLICZANIA POLA POWIERZCHNI ZE WSPÓŁRZĘDNYCH

Szczegółową analizę dokładności obliczania pola powierzchni ze współrzędnych przedstawiono w pracy [Doskocz 2005]. W badaniach zastosowano formułę (2a), uwzględniając średnie błędy współrzędnych wyrażonych łącznie poprzez błąd położenia

punktu o wielkościach charakteryzujących dokładność współczesnych pomiarów terenowych, satelitarnych i fotogrametrycznych lub spełniających wymogi przepisów z zakresu ewidencji gruntów i budynków. Fragment uzyskanych wyników przedstawiono na rysunku 2, przyjmując następujące oznaczenia:

A – $m_P = 0{,}01$ m, maksymalna dokładność terenowej identyfikacji punktów załamania granic działek ewidencyjnych oraz konturu budynków.

B – $m_P = 0{,}03$ m, dokładność wyznaczenia położenia szczegółów sytuacyjnych I grupy techniką satelitarną RTK GPS [Beluch i Krzyżek 2005].

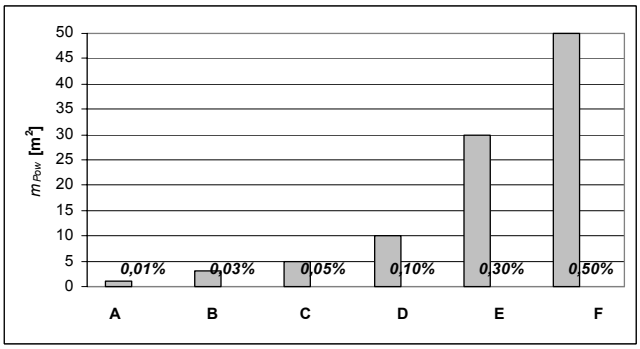
C – $m_P = 0{,}05$ m, przeciętna dokładność wyznaczenia położenia szczegółów sytuacyjnych I grupy za pomocą pomiarów bezpośrednich tachimetrem elektronicznym [Dąbrowski i in. 1998].

D – $m_P = 0{,}10$ m, minimalna dokładność wyznaczenia położenia punktów granicznych i punktów załamania konturu budynków określona w Instrukcji technicznej G-5 [Instrukcja 2003].

E – $m_P = 0{,}30$ m, minimalna dokładność wyznaczenia położenia szczegółów II grupy dokładnościowej (np. punktów załamania kanałów, rowów i innych budowli ziemnych) określona w Instrukcji G-5 [Instrukcja 2003].

F – $m_P = 0{,}50$ m, minimalna dokładność wyznaczenia położenia szczegółów III grupy dokładnościowej (np. punktów załamania użytków gruntowych i klas gleboznawczych) określona w Instrukcji G-5 [Instrukcja 2003].

W analizie rozpatrywano figurę w kształcie prostokąta o powierzchni 1 ha i współczynniku wydłużenia $k = 1$ (optymalnym ze względu na dokładność obliczenia pola), ponadto założono jednakową dokładność wyznaczenia położenia jej punktów wierzchołkowych.



Rys. 2. Wpływ m_P na dokładność analitycznego wyznaczenia pola kwadratu o powierzchni 1 ha
Fig. 2. The effect of the m_P value on the accuracy of analytical determination of the area of a square of 1 ha

Z powyższego rysunku 2 wynika, że obliczając pole powierzchni kwadratowej działki o wielkości 1 ha – na podstawie współrzędnych punktów granicznych, których położenie wyznaczono z dokładnością równą 0,10 m – popełnia się błąd obliczenia pola powierzchni wynoszący 10 m^2.

Poniżej w tabeli 2 przedstawiono ocenę dokładności analitycznego obliczenia pola powierzchni figury geometrycznej (w kształcie prostokątnym). Zestawiono wielkości błędu obliczenia pola prostokąta ze współrzędnych punktów wierzchołkowych, których położenie wyznaczono z obowiązującą w Polsce dokładnością pomiarów katastralnych ($m_P = 0{,}10\,m$, względem najbliższych punktów poziomej osnowy geodezyjnej). Uwzględniono figury o powierzchni od 0,01 ha do 5000 ha charakteryzujące się współczynnikiem *k* od 1 do 15.

Tabela 2. Dokładność analitycznego obliczenia pola powierzchni (*P*) ze współrzędnych punktów wierzchołkowych, których położenie wyznaczono z dokładnością m_P = 0,10 m

Table 2. Accuracy of analytical determination of area *P* basing on coordinates of vertices, which position has been determined with the accuracy m_P = 0,10 m

P [ha]	Błąd analitycznego obliczenia pola powierzchni wyznaczony ze wzoru (2a) [m²] Error of analytical determination of area using the formula (2a)									
	Współczynnik wydłużenia figury geometrycznej (*k*) Elongation coefficient *k* of a geometric figure									
	1	1,5	2	2,5	3	4	5	7	10	15
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,01	1,0	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,9	2,2	2,7
0,1	3,2	3,3	3,5	3,8	4,1	4,6	5,1	6,0	7,1	8,7
0,5	7,1	7,4	7,9	8,5	9,1	10,3	11,4	13,4	15,9	19,4
1	10,0	10,4	11,2	12,0	12,9	14,6	16,1	18,9	22,5	27,4
3	17,3	18,0	19,4	20,9	22,4	25,2	27,9	32,7	38,9	47,5
7	26,5	27,5	29,6	31,9	34,2	38,6	42,7	50,0	59,5	72,6
10	31,6	32,9	35,4	38,1	40,8	46,1	51,0	59,8	71,1	86,8
20	44,7	46,5	50,0	53,9	57,7	65,2	72,1	84,5	100,5	122,7
50	70,7	73,6	79,1	85,1	91,3	103,1	114,0	133,6	158,9	194,1
100	100,0	104,1	111,8	120,4	129,1	145,8	161,2	189,0	224,7	274,5
1000	316,2	329,1	353,6	380,8	408,2	461,0	509,9	597,6	710,6	867,9
5000	707,1	736,0	790,6	851,5	912,9	1030,8	1140,2	1336,3	1589,0	1940,8

Wielkości błędu analitycznego obliczenia pola powierzchni wskazują, iż dla działki o polu równym 1 ha dokładność wyznaczenia jej powierzchni (na podstawie współrzędnych punktów granicznych, których położenie wyznaczono z dokładnością równą 0,10 m) w zależności od jej wydłużenia waha się od 10 m² do rzędu 30 m² (dla rozważanych wartości współczynnika *k*). Rezultat ten wydaje się być mało satysfakcjonujący, a zważywszy na treść § 62 obowiązującego rozporządzenia w sprawie ewidencji gruntów i budynków [Rozporządzenie 2001] – w którym czytamy: „Pole powierzchni działki ewidencyjnej oblicza się na podstawie współrzędnych, (…) i określa się w hektarach z dokładnością zapisu do 0,0001." – jest także niepokojący.

Wykazane zależności powinny skutkować przyjęciem odpowiednich kryteriów w zakresie precyzji zapisu (obliczania) pól powierzchni. Podobnie jak ma to miejsce np. w warunkach kanadyjskich [ESS 2008]. Mianowicie w Dodatku E3 do "General Instructions for Surveys of Canada Lands" Earth Sciences Sector of Natural Resources Canada przedstawiono następujące wytyczne w zakresie precyzji zapisu powierzchni działek (tab. 3).

Tabela 3. Precyzja zapisu pola powierzchni działek w Kanadzie [ESS 2008]
Table 3. Precision of notation of parcel areas in Canada

Pole powierzchni działki (*P*) Area *P* of the parcel	Precyzja zapisu Quote to
$P \leq 0{,}1$ ha	1 m^2
0,1 ha $< P \leq 1$ ha	10 m^2
1 ha $< P \leq 10$ ha	100 m^2
10 ha $< P \leq 100$ ha	1000 m^2
$P > 100$ ha	10000 m^2

Jak wiadomo, precyzja zapisu pola powierzchni jest istotna, gdyż na przykład przy ustalaniu wartości nieruchomości gruntowych ich powierzchnia jest kluczowym atrybutem, a cena transakcyjna jest wprost proporcjonalna do areału. Dlatego też w szeroko pojętym interesie społecznym istotnym jest dostarczanie informacji o polu powierzchni nieruchomości z najwyższą realną dokładnością. Zważywszy jednak na podstawy prawne i standardy techniczne obowiązujące w zakresie danych katastralnych w Polsce, rozwiązanie kanadyjskie dotyczące precyzji zapisu pól powierzchni nie może być bezpośrednio zastosowane. Albowiem powierzchnia działek ewidencyjnych jest bilansowana do powierzchni obrębów, które z kolei wyznaczają powierzchnię jednostek ewidencyjnych, a te muszą być zbilansowane do powierzchni całego kraju.

DOPUSZCZALNE RÓŻNICE DWUKROTNEGO OBLICZENIA POLA POWIERZCHNI

Wielkości dotychczas stosowanych w Polsce dopuszczalnych odchyłek dwukrotnego wyznaczenia pola powierzchni obliczane są ze wzorów, które generalnie są tylko funkcją wielkości obliczanego pola powierzchni lub dodatkowo uwzględniają także współczynnik wydłużenia figury.

Zgodnie z wymogami Instrukcji technicznej G-5 maksymalna różnica analitycznie obliczonego pola powierzchni działki ewidencyjnej (stwierdzona w procesie modernizacji ewidencji gruntów) nie powinna przekroczyć wartości obliczonej według poniższego wzoru:

$$dP_{max} = 0{,}001 \cdot P + 0{,}2 \cdot \sqrt{P} \tag{3}$$

W Wytycznych technicznych G-5.4 podano następujący wzór na dopuszczalną różnicę przy porównaniu powierzchni działek objętych pomiarem kontrolnym [Wytyczne 1992]:

$$dP = 0{,}4 \cdot \sqrt{2 \cdot P} \cdot \sqrt{\frac{1+k^2}{2 \cdot k}} \tag{4}$$

W wytycznych G-5.4 zamieszczono również wzór:

$$dP = 2 \cdot (0{,}002 \cdot P + 0{,}2 \cdot \sqrt{P}) \tag{5}$$

który wyznacza dopuszczalne różnice przy porównywaniu pól powierzchni, w przypadku odnawiania i modernizacji ewidencji gruntów w technologii określonej przez Wytyczne techniczne GUGiK z 1 marca 1979 r. (AG-3-580/1/79).

Z kolei, w Instrukcji katastralnej II [Instrukcja 1946] podano następującą formułę na wyznaczenie dopuszczalnej różnicy dla dwóch obliczeń pola powierzchni obiektów, o areale do 15 ha (P w m^2), na podstawie pomiarów jednakowo dokładnych:

$$dP = 0,01 \cdot \sqrt{0,6 \cdot P - 0,000002 \cdot P^2} \tag{6}$$

Instrukcja katastralna II (wprowadzona do stosowania na terenie Polski w roku 1946) może być nadal stosowana w sytuacjach nie uregulowanych skutecznie nowymi przepisami [Mecha 2001].

W procesie tworzenia oraz aktualizacji i modernizacji baz danych ewidencji gruntów i budynków potrzebna jest znajomość dokładności obliczenia pola powierzchni. W przypadku obliczania pól powierzchni obiektów katastralnych z wyników dwóch jednakowo dokładnych pomiarów wielkościom stwierdzonych różnic należy się przyjrzeć pod kątem ich dopuszczalności.

W pracy [Doskocz 2006a] podano formułę na obliczenie wielkości dopuszczalnych różnic dwukrotnego wyznaczenia pola powierzchni obiektów katastralnych ze współrzędnych punktów załamania ich granic (przy założeniu niezależnego, dwukrotnego wyznaczenia współrzędnych z równą dokładnością). W wyprowadzeniu założono, że różnica pola powierzchni (dP) pomiędzy pierwszym ($P_{Pow\text{-}I}$) i drugim ($P_{Pow\text{-}II}$) wyznaczeniem pola powierzchni jest dopuszczalna, gdy obydwa obliczenia wykonano z dokładnością określoną wzorem (2), $dP = P_{Pow-I} - P_{Pow-II}$. Wówczas kwadrat błędu średniego różnicy dwukrotnego obliczenia pola powierzchni wynosi $m_{dP}^2 = m^2{}_{Pow-I} + m^2{}_{Pow-II}$, a przy założeniu równej dokładności wyznaczenia współrzędnych punktów wierzchołkowych (tym samym równej dokładności analitycznego wyznaczenia pola powierzch ni- $m^2{}_{Pow-I} = m^2{}_{Pow-II} = m_{Pow}^2$) błąd średni różnicy wyznaczenia pola powierzchni na podstawie wyników dwóch jednakowo dokładnych pomiarów wyraża równanie $m_{dP} = \sqrt{2} \cdot m_{Pow} = \sqrt{2} \cdot m_P \cdot \sqrt{1 \Big/ 8 \sum_{i=1}^{n} d_i^2}$.

Następnie – uznając, że pole powierzchni jest poprawnie wyznaczone, gdy różnica pomiędzy obydwoma obliczeniami nie przekracza dwukrotnej wielkości błędu średniego pojedynczego wyznaczenia pola powierzchni (wyrażonego wzorem (2)) – ostatecznie uzyskano wzór (7) na wyznaczenie maksymalnej dopuszczalnej odchyłki dwukrotnego wyznaczenia pola powierzchni figury geometrycznej ze współrzędnych punktów załamania jej granic:

$$dP_{max} = 2 \cdot m_{dP} = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot m_P \cdot \sqrt{1 \Big/ 8 \sum_{i=1}^{n} d_i^2} = \sqrt{8} \cdot m_P \cdot \sqrt{1 \Big/ 8 \sum_{i=1}^{n} d_i^2} \tag{7}$$

$$dP_{max} = m_P \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^{n} d_i^2} \tag{7a}$$

Wzór (7a) przy założeniu, że figura, której pole powierzchni obliczamy, jest czworobokiem, można zapisać w następującej postaci:

$$dP_{max} = 2 \cdot m_P \cdot \sqrt{P} \cdot \sqrt{(1 + k^2) \big/ k} \tag{7b}$$

PROPONOWANE WIELKOŚCI DOPUSZCZALNYCH ODCHYŁEK DWUKROTNEGO OBLICZENIA POLA POWIERZCHNI ZE WSPÓŁRZĘDNYCH

W pracy [Doskocz 2006a] ustalono maksymalne wielkości dopuszczalnych różnic dwukrotnego wyznaczenia pól powierzchni czworobocznych obiektów katastralnych obliczone z zastosowaniem formuły (7b). Rozpatrywano dokładność dwukrotnego obliczenia pola powierzchni obiektów katastralnych z uwzględnieniem obowiązujących dokładności wyznaczenia położenia punktów załamania ich granic, a mianowicie: jednostek ewidencyjnych, obrębów ewidencyjnych, działek ewidencyjnych i konturu budynków; konturu kanałów, rowów i innych budowli ziemnych; konturu użytków gruntowych i klas gleboznawczych. W tabeli 4 zestawiono wielkości dopuszczalnych różnic. Należy zaznaczyć, że odnoszą się one do przypadków, w których obliczenia wykonano na podstawie współrzędnych punktów sytuacyjnych wyznaczonych z minimalną dokładnością pomiaru szczegółów I grupy dokładnościowej ($m_P = 0{,}10$ m w stosunku do punktów poziomej osnowy geodezyjnej).

Tabela 4. Maksymalne wielkości dopuszczalnych różnic dwukrotnego wyznaczenia pola powierzchni czworoboków ze współrzędnych punktów wierzchołkowych (przy $m_P = 0{,}10$ m)

Table 4. Maximum values of permissible differences of double determination of areas of quadrilaterals from coordinates of vertices (for $m_P = 0{,}10$ m)

P	Dopuszczalna odchyłka dwukrotnego obliczenia pola powierzchni wyznaczona ze wzoru (7b) [m²] Permissible deviation of double calculation of area, using (7b)									
	Współczynnik wydłużenia obiektu (*k*) Elongation coefficient *k* of an object									
	1	1,5	2	2,5	3	4	5	7	10	15
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,0001 ha	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
0,001 ha	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3
0,01 ha	3	3	3	3	4	4	5	5	6	8
0,02 ha	4	4	5	5	5	6	6	8	9	11
0,05 ha	6	7	7	8	8	9	10	12	14	17
0,07 ha	8	8	8	9	10	11	12	14	17	21
0,10 ha	9	9	10	11	12	13	14	17	20	25
0,15 ha	11	11	12	13	14	16	18	21	25	30
0,20 ha	13	13	14	15	16	18	20	24	28	35
0,30 ha	16	16	17	19	20	23	25	29	35	43
0,40 ha	18	19	20	22	23	26	29	34	40	49
0,50 ha	20	21	22	24	26	29	32	38	45	55
0,60 ha	22	23	25	26	28	32	35	41	49	60
0,70 ha	24	25	27	29	31	35	38	45	53	65
0,80 ha	25	26	28	31	33	37	41	48	57	69
0,90 ha	27	28	30	32	35	39	43	51	60	74
1,0 ha	28	29	32	34	37	41	46	54	64	78
1,5 ha	35	36	39	42	45	51	56	66	78	95
2,0 ha	40	42	45	48	52	58	65	76	90	110
3,0 ha	49	51	55	59	63	71	79	93	110	135

Tabela 4 cd.
Table 4 cont.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
4,0 ha	57	59	63	68	73	83	91	107	127	155
5,0 ha	63	66	71	76	82	92	102	120	142	174
6,0 ha	69	72	78	83	89	101	112	131	156	190
7,0 ha	75	78	84	90	97	109	121	141	168	205
8,0 ha	80	83	89	96	103	117	129	151	180	220
9,0 ha	85	88	95	102	110	124	137	160	191	233
10 ha	89	93	100	108	116	130	144	169	201	246
15 ha	110	114	123	132	141	160	177	207	246	301
20 ha	127	132	141	152	163	184	204	239	284	347
30 ha	155	161	173	187	200	226	250	293	348	425
40 ha	179	186	200	215	231	261	288	338	402	491
50 ha	200	208	224	241	258	292	323	378	449	549
60 ha	219	228	245	264	283	319	353	414	492	601
70 ha	237	246	265	285	306	345	382	447	532	650
80 ha	253	263	283	305	327	369	408	478	569	694
90 ha	268	279	300	323	346	391	433	507	603	737
100 ha	283	294	316	341	365	412	456	535	636	776
150 ha	346	361	387	417	447	505	559	655	779	951
200 ha	400	416	447	482	516	583	645	756	899	1098
300 ha	490	510	548	590	633	714	790	926	1101	1345
400 ha	566	589	633	681	730	825	912	1069	1271	1553
500 ha	633	658	707	762	817	922	1020	1195	1421	1736
600 ha	693	721	775	834	894	1010	1117	1309	1557	1902
700 ha	748	779	837	901	966	1091	1207	1414	1682	2054
800 ha	800	833	894	963	1033	1166	1290	1512	1798	2196
900 ha	849	883	949	1022	1095	1237	1368	1604	1907	2329
1000 ha	894	931	1000	1077	1155	1304	1442	1690	2010	2455
2000 ha	1265	1317	1414	1523	1633	1844	2040	2391	2843	3472
5000 ha	2000	2082	2236	2408	2582	2916	3225	3780	4494	5489
10000 ha	2828	2944	3162	3406	3652	4123	4561	5345	6356	7763

PODSUMOWANIE

Możliwość analitycznego wyznaczenia pola powierzchni obiektów katastralnych (i innych obiektów powierzchniowych) na podstawie współrzędnych płaskich ich wierzchołków, pozyskanych z bazy danych mapy cyfrowej lub za pomocą współczesnych technologii pomiarowych, jest spełnieniem jednej z podstawowych funkcji mapy wielkoskalowej.

Dokładność analitycznego obliczenia pola powierzchni figury geometrycznej zależy od jej wielkości i kształtu oraz od dokładności wyznaczenia położenia jej punktów wierzchołkowych (zależność (2a)). Wzrost wydłużenia obiektu powierzchniowego powoduje obniżenie dokładności obliczenia pola powierzchni (tab. 2).

W przypadku zwiększania liczby punktów wierzchołkowych, zlokalizowanych na konturze obiektu powierzchniowego (przy niezmienionych pozostałych atrybutach

obiektu, tj. polu powierzchni, wydłużeniu i dokładności wyznaczenia położenia jego wierzchołków), błąd średni analitycznego obliczenia pola powierzchni maleje [Doskocz 2006b, rys. 4], [Hejmanowska i Woźniak 2009, rys. 5–7].

Obecnie stosowane w kraju wzory na wyznaczenie dopuszczalnej odchyłki dwukrotnego obliczenia pola powierzchni nie odzwierciedlają występujących w zagadnieniu zależności. Mianowicie, nie uwzględniają wszystkich czynników stanowiących o dokładności obliczenia pola powierzchni – tj. wielkości pola figury i jej kształtu oraz błędów położenia jej punktów wierzchołkowych. Natomiast zaproponowana formuła (7b) w pełni odzwierciedla zależności występujące w omawianym zagadnieniu. Ustalono ją dla czworokątnych obiektów powierzchniowych, w odniesieniu do których należy spodziewać się największych błędów analitycznego obliczenia pola powierzchni [Doskocz 2006b, rys. 3].

Autor niniejszej pracy proponuje zastosowanie wzoru (7b) dla obliczania dopuszczalnych różnic dwukrotnego analitycznego wyznaczenia pola powierzchni. Przy czym, położenie punktów granicznych (wierzchołkowych) winno być wyznaczane z dokładnością rzędu 0,01–0,03 m (tab. 1). Obecnie szczególnie zalecane jest, w przypadku dostatecznej dostępności sfery niebieskiej, wyznaczanie położenia punktów wierzchołkowych techniką RTK GNSS w systemie ASG-EUPOS.

Zdaniem autora jest pożądanym prowadzenie dalszych badań w celu ustalenia procedur wyznaczenia dopuszczalnych różnic dwukrotnego obliczenia pola powierzchni ze współrzędnych w zakresie obiektów powierzchniowych o dowolnym kształcie. W celu zapewnienia obliczania ich pola powierzchni na odpowiednim poziomie ufności, a z drugiej strony niewszczynania nieuzasadnionych zmian w rejestrach katastralnych z tytułu rozbieżności zaistniałych w polach powierzchni (w zakresie dozwolonym, na skutek występowania przypadkowych błędów pomiarowych). Innymi słowy, by sprostać warunkom realizacji podstawowej funkcji katastralnej bazy danych, tj. utrzymywania w ciągłej aktualności i wiarygodności zgromadzonych w niej informacji o nieruchomościach [Goraj i in. 1989].

Wykonane badania wykazały, iż w celu zapisywania pól powierzchni obiektów katastralnych zgodnie z obowiązującymi w Polsce przepisami, z dokładnością do 1 m^2 [Rozporządzenie 2001], należy znacznie zwiększyć dokładność wyznaczania położenia punktów granicznych (tab. 1). Pewną sugestię może stanowić rozwiązanie kanadyjskie, w którym precyzję wyrażenia (zapisu) pola powierzchni uzależniono od wielkości obliczonego pola (tab. 3). Na gruncie legislacji krajowej powyższą kwestię mogłoby uregulować wprowadzenie atrybutu informującego o dokładności wyznaczenia pola powierzchni działek ewidencyjnych i innych obiektów katastralnej bazy danych.

PIŚMIENNICTWO

Abdel-Maguid R.H., El-Manadily Y.S., El-Shazly A.H., 2005. A Rapid and Cost-Effective Technique for Planimetric Mapping of Small Villages in Developing Countries. FIG Working Week and GSDI-8, Cairo, Egypt April 16–21, http://www.fig.net/pub/cairo/papers/ts_22/ts22_02_abdelmaguid_etal.pdf (odczytano: 2006-03-24).

ALTA, 2005. Minimum standard detail requirements for ALTA/ACSM land title surveys as adopted by American Land Title Association and National Society of Professional Surveyors,

Washington, USA, http://www.accesskansas.org/ksbtp/2005_ALTA_Standards.pdf (odczytano: 2010-08-24).

Barnes G., Eckl M., 1996. Pioneering a GPS Methodology for Cadastral Surveying: Experience in Albania and Belize. International Conference on Land Tenure and Administration, Orlando, USA, http://sfrc.ifas.ufl.edu/geomatics/publications/land_conf96/barnes.pdf (odczytano: 2010-08-24).

Baryła R., Bakuła M., Oszczak S., 2006. Zastosowanie metod pozycjonowania GPS do modernizacji ewidencji gruntów i budynków, [w:] Materiały Ogólnopolskiej Konferencji Naukowo--Technicznej pt. Aspekty tworzenia katastru nieruchomości. Wydawnictwo EDUCATERRA Olsztyn, 61–71.

Beluch J., Krzyżek R., 2005. Pozyskiwanie informacji technologią RTK GPS dla opracowania map numerycznych, [w:] Materiały I Ogólnopolskiej Konferencji Naukowo-Technicznej pt. Kartografia numeryczna i informatyka geodezyjna, Rzeszów – Polańczyk, 7–17.

Bogaert P., Delincé J., Kay S., 2005. Assessing the error of polygonal area measurements: a general formulation with applications to agriculture. Measurement Science and Technology, Vol. 16, 1170–1178.

Ciećko A., Oszczak S., 2006. Metody GPS w pomiarach kontrolnych IACS, [w:] Materiały Ogólnopolskiej Konferencji Naukowo-Technicznej pt. Aspekty tworzenia katastru nieruchomości. Wydawnictwo EDUCATERRA Olsztyn, 209–217.

Dąbrowski W., Dąbrowska D., Lewandowicz E., Wierciński T., 1998. Doświadczalne wyznaczenie dokładności mapy numerycznej z pomiarów bezpośrednich, [w:] Materiały VIII Konferencji Naukowo-Technicznej pt. Systemy Informacji Przestrzennej. Wydawnictwo Fundacja „Rozwój SGGW" Warszawa, Tom I, 99–102.

Dąbrowski W., Doskocz A., 2000. Osnowy za mało dokładne – Ocena wpływu błędów średnich punktów osnowy na dokładność wyznaczenia położenia punktu sytuacyjnego, Magazyn Geoinformacyjny GEODETA nr 7(62), 68–69.

Dąbrowski W., Doskocz A., 2005. Dokładność sytuacyjnych danych numerycznych pozyskanych różnymi metodami, [w:] Materiały I Ogólnopolskiej Konferencji Naukowo-Technicznej pt. Kartografia numeryczna i informatyka geodezyjna, Rzeszów – Polańczyk, 29–38.

Deska K., 2006. Analiza dokładności określenia powierzchni działek rolnych na potrzeby systemu IACS. Prz. Geod. 1, 3–9.

Doskocz A., 2005. Analiza dokładności obliczenia pola powierzchni ze współrzędnych, Prz. Geod. nr 4, 3–6.

Doskocz A., 2006a. Ekspertyza w sprawie dokładności obliczania pola powierzchni ze współrzędnych. Biuletyn Informacyjny Głównego Geodety Kraju 2, 10–26.

Doskocz A., 2006b. Estimation of permissible differences of double determination of areas from coordinates. Geodezja i Kartografia, Vol. 55, No 4, 209–230.

Doskocz A., 2008. Analiza dokładności pomiarów sytuacyjnych wykonywanych metodą biegunową oraz domiarów prostokątnych. Acta Sci. Pol. Geod. Descr. Terr. 7(3), 47–70

ESS, 2008. General Instructions for Surveys of Canada Lands, Earth Sciences Sector of Natural Resources Canada, Ottawa, http://clss.nrcan.gc.ca/standards-normes/e3-v2-eng.asp (odczytano: 2008-05-24).

Goraj S., Przybyłowski K., Graliński M., 1989. Problemy odnowienia w katastrze gruntowym w fotogrametrycznych procesach technologicznych opracowania mapy zasadniczej. Zesz. Nauk. AR Wroc., Geodezja i Urządzenia Rolne, VI, 187, 71–77.

Hejmanowska B., 2006. Metodyka kalibracji pomiaru powierzchni działki rolnej na ortofotomapie. Półrocznik Geodezja, Tom 12, Zeszyt 2, 167–174.

Hejmanowska B., Woźniak W., 2009. Influence of the number of measured parcel boundary points on the accuracy of land parcel area calculation. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Vol. 20, 123–133.

Instrukcja, 2003. Instrukcja Techniczna G-5: Ewidencja gruntów i budynków. Główny Geodeta Kraju, Warszawa.

Instrukcja, 1946. Instrukcja Katastralna II: Dla pomiarów uzupełniających obowiązująca na obszarze Województw Zachodnich i na Ziemiach Odzyskanych. Główny Urząd Pomiarów Kraju, Warszawa.

Kadaj R., 2001. Przekształcenia odwzorowawcze map, czyli w warsztatach kartografii numerycznej, [w:] Materiały XI Konferencji Naukowo-Technicznej pt. Systemy Informacji Przestrzennej, Wydawnictwo „Wieś Jutra" Warszawa, 377–378.

Kadaj R., 2003. Wytyczne do przeliczeń osnów poziomych i granic administracyjnych oraz przekształceń map katastralnych do układu „2000". Główny Urząd Geodezji I Kartografii, Warszawa.

Kryński J., Oefverberg T., 1994. Monitoring sugar cane fields with hand-held GPS receivers. South African Journal of Surveying and Mapping, Vol. 22, Part 6, 393–402.

Latoś S., 2000. O potrzebie i kierunkach zmian niektórych przepisów w zakresie poziomych osnów geodezyjnych i szczegółowych pomiarów sytuacyjnych. Prz. Geod. 3, 3–8.

Latoś S., Maślanka J., 1998. Tentative modernization of geometrical basis of ground cadastre. Geodezja i Kartografia, Tom XLVII, Zeszyt 3, 227–236.

Masłow A.W., 1955. Sposoby i tocznost' opredelenija płoszczadej. Izdatielstwo Geodeziczeskoj Literatury GEODEZIZDAT, Moskwa.

Mecha E., 2001. Wprowadzenie do publikacji II Pruskiej Instrukcji Katastralnej w języku polskim. Katowice, http://www.geobid.com.pl/archiwalia/index.html (odczytano: 2002-02-24).

Onkalo P., 2006. Cadastral Survey Methodologies and Techniques in Developing Countries; Case Cambodia and Kosovo. XXIII FIG Congres, Münich, Germany, October 8–13, http://www.fig.net/pub/fig2006/papers/ts61/ts61_02_onkalo_0318.pdf (odczytano: 2006-03-24).

Oszczak S., 1990. Possibilities of implementation of GPS technique to land information system and to large cadastral purposes in Poland. Proceedings of the Geodetic Meeting Poland – Italy, Olsztyn, 125–129.

Pluciński E., 1966. Analiza dokładności wyznaczenia pola powierzchni wieloboku podstawie znajomości współrzędnych jego wierzchołków. Zesz. Nauk. PW Nr 128 Seria: Geodezja nr 18, 17–40.

Relin A., Krause A., Zeug G., 2003. IACS GIS 2005: demands and solutions. 4th Conference of the EFITA, 5–9 July, Debrecen, Hungary, http://www.efita.net/apps/accesbase/bindocload.asp?d=5359&t=0&identobj=RLyEv48z&uid=57305290&sid=57&idk=1 (odczytano: 2010-08-24).

Rozporządzenie, 2001. Rozporządzenie Ministra Rozwoju Regionalnego i Budownictwa z dnia 29 marca 2000 roku w sprawie ewidencji gruntów i budynków, Dz.U. nr 38, poz. 454.

Schnurr D.J., 2004. A Review of Existing Cost Effective Surveying Technologies for Developing Countries. FIG Working Week, Athens, Greece, May 22–27, http://www.fig.net/pub/athens/papers/ts13/TS13_1_Schnurr.pdf (odczytano: 2005-03-24).

Sikorski K., Wasilewski A., 1991. Accuracy problems in analytical methods of plots areas determining. Proceedings of the 2nd Dutch-Polish Symposium on Geodesy, Delft, 145–153.

Trautsolt S., 1985. Geodezyjne urządzanie terenów rolnych, Część I. Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa.

Wilkowski W., 1987. Dokładność i metody określania powierzchni w systemach inwentaryzacji lasu. Wydawnictwo PW, Prace Naukowe seria: Geodezja zeszyt 18, Warszawa.

Wrona T., 2001. Wielkość błędu pól powierzchni jako czynnik limitujący dokładność pomiarów katastralnych. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Vol. 11, 37–40.

Wyczałek I., Wyczałek E., 1998. Pomiary satelitarne dla pozyskiwania danych systemu informacji o terenie, [w:] Materiały VIII Konferencji Naukowo-Technicznej pt. Systemy Informacji Przestrzennej. Wydawnictwo Fundacja „Rozwój SGGW" Warszawa, Tom I, 90–98.

Wytyczne 1992. Wytyczne Techniczne G-5.4: Opracowanie dokumentacji wyjściowej do odnowienia ewidencji gruntów z zastosowaniem technologii fotogrametrycznych. Główny Urząd Geodezji i Kartografii, Warszawa.
Zimnoch W., 2005. O kontroli powierzchni upraw wykazanych we wnioskach rolników o dopłaty. Przegląd Geodezyjny nr 4, 7–11.

ACCURACY OF CALCULATION OF THE AREAS FROM PLANE COORDINATES

Abstract. Nowadays large-scale maps are making in information systems but digital map data are not still free from traditional tasks of analogue map. The typical tasks of large-scale map are distances and areas determining, for example to realize of investment project.
The paper presents analysis of accuracy in calculation of the area of a polygon from coordinates (X, Y) of its vertexes taking their mean errors (m_X, m_Y) under consideration. Results of analysis of influence root mean square error of a position of the boundary points on accuracy analytical determination of the area of a parcel are also given in the paper. Besides, admissible divergence in twice determining areas is calculated with the proposed new formula.

Key words: cadastral objects, accuracy of area calculation

Accepted for print – Zaakceptowano do druku: 30.09.2011

For citation – Do cytowania: A. Doskocz, 2011. Dokładność obliczania pola powierzchni ze współrzędnych płaskich prostokątnych. Acta Sci. Pol. Geod. Descr. Terr. 10(2), 29–44.

SPIS TREŚCI
CONTENTS

Bernard Kontny
Wykrywanie sygnałów skokowych w szeregach czasowych
zmian współrzędnych GPS..... 5
Jumping signal detection in GPS coordinate time series

Adam Michalski, Przemysław Tymków
Wskaźnik gęstości występowania zjawisk punktowych
jako moderator skali miejskich map tematycznych 19
The density coefficient point symbols occurrence
as the moderator of scale of urban thematic maps

Adam Doskocz
Dokładność obliczania pola powierzchni
ze współrzędnych płaskich prostokątnych 29
Accuracy of calculation of the areas from plane coordinates