

# **ACTA SCIENTIARUM POLONORUM**

Czasopismo naukowe założone w 2001 roku przez polskie uczelnie rolnicze

## **Geodesia et Descriptio Terrarum**

Geodezja i Kartografia

6(4) 2007



Bydgoszcz Kraków Lublin Olsztyn  
Poznań Siedlce Szczecin Warszawa Wrocław

**Rada Programowa *Acta Scientiarum Polonorum***

Kazimierz Banasik (Warszawa), Janusz Falkowski (Olsztyn),  
Florian Gambuś (Kraków), Franciszek Kluza (Lublin), Edward Niedźwiecki (Szczecin),  
Janusz Prusiński (Bydgoszcz), Jerzy Sobota (Wrocław) – przewodniczący,  
Stanisław Socha (Siedlce), Waldemar Uchman (Poznań)

**Rada Naukowa serii *Geodesia et Descriptio Terrarum***

Bernard Kontny (Wrocław) – sekretarz, Hieronim Olenderek (Warszawa),  
Andrzej Świątkiewicz (Wrocław) – przewodniczący, Alojzy Wasilewski (Olsztyn),  
Josef Weigel (Brno), Mirosław Żak (Kraków)

Korekta:

Janina Szydłowska  
Elżbieta Winiarska-Grabosz

Łamanie

Halina Sebzda

Projekt okładki

Daniel Morzyński

ISSN 1644–0668

*Wydanie publikacji dofinansowane ze środków Uniwersytetu Przyrodniczego  
we Wrocławiu*

© Copyright by Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu,  
Wrocław 2006

Redaktor naczelny – prof. dr hab. Andrzej Kotecki  
ul. Sopocka 23, 50–344 Wrocław, tel./fax (071) 328–12–77  
e-mail: [wyd@ozi.ar.wroc.pl](mailto:wyd@ozi.ar.wroc.pl) <http://www.up.wroc.pl>

Nakład 300 + 16 egz. Ark. druk. 5,5

Drukarnia: „MarMar”

## **ZASTOSOWANIE TECHNOLOGII SATELITARNYCH W NOWOCZESNYM ROLNICTWIE ORAZ WALIDACJA I CERTYFIKACJA SPRZĘTU POMIAROWEGO GNSS I OBSERWATORÓW W SYSTEMIE IACS**

Adam Ciećko, Stanisław Oszczak

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

**Streszczenie.** Pozycjonowanie i nawigacja satelitarna są coraz częściej wykorzystywane w inteligentnym rolnictwie, aby dostarczyć producentowi rolnemu i innym osobom związanym z rolnictwem dokładnej i aktualnej informacji o miejscu oraz czasie zdarzeń i zjawisk zachodzących w gospodarstwie rolnym. W artykule zaprezentowano główne cele projektu FieldFact realizowanego w ramach 6 Programu Ramowego Komisji Unii Europejskiej. Projekt FieldFact ma za zadanie jak najszersze wykorzystanie systemów satelitarnego pozycjonowania i nawigacji w aplikacjach związanych z rolnictwem oraz zapoznanie producentów rolnych z europejskimi satelitarnymi systemami pozycjonowania i nawigacji – EGNOS i Galileo oraz możliwościami ich implementacji i wykorzystania w sektorze rolniczym.

Druga część artykułu została poświęcona problemowi walidacji i certyfikacji zarówno urządzeń pomiarowych, jak i obserwatorów w systemie IACS (*Integrated Administration and Control System*). Jak wiadomo, system IACS funkcjonuje w Polsce już czwarty rok i jest ściśle związany z systemem dopłat bezpośrednich dla rolników. Co roku w kampanii kontroli na miejscu w ramach płatności bezpośrednich i ONW (*Obszary o Niekorzystnych Warunkach*) mierzone są setki tysięcy hektarów upraw zgłoszonych do dopłat. Pomiar najczęściej wykonywany jest odbiornikami GPS. Do tej pory nie ma określonych minimalnych wymogów ani parametrów technicznych, które musi spełniać odbiornik biorący udział w kontroli, nie ma też szczególnych wymagań w stosunku do inspektorów terenowych w zakresie opanowania satelitarnej techniki pomiarowej. W artykule zaprezentowano proponowany schemat walidacji odbiornika GNSS (*Global Satellite Navigation System*) oraz podano zagadnienia i tematykę kursu teoretycznego oraz szkolenia praktycznego dla inspektorów terenowych.

**Słowa kluczowe:** GNSS, IACS, rolnictwo, certyfikacja

## WSTĘP

Jeszcze do niedawna technologia satelitarna GNSS dostępna była tylko dla wąskiej grupy specjalistów, naukowców i badaczy, dziś jedna z najnowocześniejszych technologii zesłała dosłownie „pod strzechy”. Ogólny rozwój technologiczny, znaczny spadek cen odbiorników GPS i dostępność spowodowały gwałtowny wzrost liczby użytkowników oraz rozwój niezliczonej liczby aplikacji związanych z pozycjonowaniem satelitarnym w różnych dziedzinach życia. Jedną z grup użytkowników, która zaczęła dość wcześnie wykorzystywać masowo system GPS, jest sektor rolniczy. W roku 2004 kiedy to wprowadzano w Polsce system dopłat bezpośrednich, bardzo szybko okazało się, że odbiorniki GPS są niezastąpione w szybkim i tanim pozyskiwaniu danych dotyczących pola powierzchni zasiewu. Jednocześnie użytkownicy „oswojeni” już z nową techniką szukają dla niej nowych zastosowań, które ułatwiłyby im wykonywanie codziennej pracy. Obecnie pozycjonowanie i nawigacja satelitarna są coraz częściej wykorzystywane w inteligentnym rolnictwie, aby dostarczyć producentowi rolnemu i innym osobom związanym z rolnictwem dokładnej i aktualnej informacji o miejscu oraz czasie zdarzeń i zjawisk zachodzących w gospodarstwie rolnym. Powszechnie wykorzystywanym dziś systemem jest amerykański GPS, duże możliwości niosą ze sobą europejskie satelitarne systemy pozycjonowania i nawigacji – EGNOS i Galileo, które w niedalekiej przyszłości będą wykorzystywane na równi z GPS, oferując lepszą jakość usług.

## EGNOS I GALILEO

EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) jest europejskim systemem satelitarnym opartym obecnie na sygnałach GPS i GLONASS, zapewniającym poprawę dokładności, dostępności i jakości sygnałów emitowanych przez obydwa istniejące systemy nawigacji satelitarnej. EGNOS umożliwia wyznaczanie pozycji z dokładnością lepszą niż 3 m, dostarcza informacji uzupełniających sygnały z GPS i GLONASS, korzystając z konstelacji satelitów tych systemów i transmitując dane poprzez swoje satelity geostacjonarne. EGNOS działający obecnie w fazie „początkowej operacyjności” jest pierwszym etapem rozwoju europejskich, cywilnych systemów satelitarnych.

Jedną z głównych europejskich inicjatyw kosmicznych jest obecnie utworzenie Globalnego Systemu Nawigacji Satelitarnej o nazwie Galileo, który będzie operacyjny po 2010 roku. Galileo jest wspólnym projektem Europejskiej Agencji Kosmicznej i Unii Europejskiej polegającym na stworzeniu własnego, niezależnego i zaawansowanego technologicznie systemu służącego do precyzyjnego określania położenia punktów oraz nawigacji i monitorowania przemieszczających się ludzi, zwierząt czy przedmiotów w dowolnym miejscu na powierzchni Ziemi, niezależnie od pogody oraz pory dnia i nocy. System ten będzie docelowo składać się z 30 satelitów krążących po orbitach na wysokości ok. 24 kilometrów i pokrywających zasięgiem całą powierzchnię naszej planety. Galileo jest odpowiedzią Europy na amerykański system GPS (Global Positioning System) i rosyjski GLONASS (Global Orbiting Navigation Satellite System). Dwa ostatnie systemy służą przede wszystkim celom militarnym, w drugiej dopiero kolejności – zastosowaniom cywilnym, natomiast Galileo jest z założenia systemem cywilnym i międzynarodowym. Ma to zapewnić nie tylko większą gwarancję ciągłości pracy, lecz również jakości i dokładności przekazywanych danych. Galileo będzie mieć lepszą

dokładność i dostępność oraz większą stabilność i wiarygodność niż obecny amerykański system GPS oraz rosyjski GLONASS, co pozwoli na bardziej precyzyjne ustalanie położenia obiektów i szersze zastosowanie technologii satelitarnej. Oprócz nieocenionej pomocy w nawigacji i transporcie samochodowym, morskim, lotniczym, kolejowym, a nawet pieszym, system pozwoli na nowe zastosowania m.in. w geodezji, rolnictwie, rybołówstwie, ratownictwie, finansach i bankowości, poszukiwaniu złóż minerałów, zarządzaniu środowiskiem etc.

## **PROJEKT FIELDFACT**

Projekt FieldFact promuje możliwości zastosowania systemów satelitarnych GNSS w rolnictwie oraz płynące z tego tytułu korzyści. Projekt ma na celu poszerzenie świadomości sektora rolniczego w kierunku potencjału możliwości systemów Galileo i EGNOS oraz promowanie systemów i związanych z nimi usług dla rolnictwa. Projekt ma za zadanie jak najszersze wykorzystanie systemów satelitarnego pozycjonowania i nawigacji w aplikacjach związanych z rolnictwem, takich jak: pomiary działek rolnych, uaktualnianie LPIS, systemy zarządzania gospodarstwem rolnym, kontrole obszarowe w celu realizacji dopłat dla rolników w systemie IACS, tworzenie map glebowych, scalenia gruntów, precyzyjne nawożenie, ochrona roślin oraz precyzyjne zbiory, ochrona środowiska, monitorowanie transportu produktów rolno-spożywczych oraz w innych aplikacjach wspomagających rolnictwo. Szerokie wykorzystanie europejskich systemów satelitarnych – EGNOS i Galileo przez producentów rolnych przyczyni się do wzrostu efektywności, konkurencyjności i wydajności europejskiego rolnictwa. Projekt FieldFact jest przedsięwzięciem międzynarodowym, partnerami realizującymi projekt są: Alterra b.v. (Holandia) – lider konsorcjum, Joint Research Centre of the European Commission (Włochy), Vexcel Netherlands (Holandia), Praktijkonderzoek Plant & Omgeving (Holandia), Ekotoxa Opava (Czechy) oraz Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie (Polska). Realizacja projektu rozpoczęła się w końcu 2006 roku i będzie trwała 24 miesiące.

Projekt zakłada dotarcie do jak największej liczby producentów rolnych w Europie poprzez prezentacje na targach rolnych, w czasopismach rolniczych, a także poprzez przeprowadzenie kilku demonstracji prezentujących nowe możliwości satelitarnych systemów zarówno podstawowych, ogólnodostępnych (np. pomiar pola) – low-end, jak i kosztownych, profesjonalnych rozwiązań – high-end. Jedną z takich prezentacji odbędzie się również w Polsce. Planowane jest również przeprowadzenie szeregu szkoleń dotyczących technologii satelitarnej, a w szczególności nowych aplikacji, możliwości ich implementacji i wykorzystania w sektorze rolniczym oraz korzyści płynących z wdrażania europejskich systemów EGNOS i Galileo.

## **CERTYFIKACJA SPRZĘTU POMIAROWEGO GNSS**

Obszar dopłat bezpośrednich dla sektora rolniczego w 25 krajach członkowskich Unii Europejskiej wynosi prawie 128 milionów hektarów. Zgodnie z zaleceniami Unii część złożonych wniosków podlega kontroli, aby wyeliminować wszelkiego rodzaju nadużycia ze strony producentów rolnych. Kontrole są wykonywane przy wykorzystaniu technik fotogrametrycznych, jak również przy użyciu satelitarnych odbiorników GNSS. Wykorzystanie autonomicznego pozycjonowania GPS stało się możliwe po

zniesieniu, przez Prezydenta USA Bila Clintona, celowego zakłócenia sygnału SA (Selective Availability) w maju 2000 roku. Od tego czasu odbiorniki GPS są coraz powszechniej wykorzystywane podczas kontroli obszarowych, dając coraz to lepsze wyniki. Pomiarowi podlega powierzchnia oraz obwód działki niezbędny do wyliczenia tolerancji technicznej pomiaru. Obecnie dostępny jest na rynku szeroki wybór odbiorników GNSS, także ceny odbiorników są znacznie zróżnicowane i zależą głównie od dokładności oraz jakości oprogramowania dostarczanego wraz z odbiornikiem. Najprostsze odbiorniki GPS można obecnie kupić za kilkaset złotych, jednak wykorzystanie ich do pomiarów w systemie IACS nie gwarantuje uzyskania wymaganych przez Komisję Europejską dokładności.

Zgodnie z Unijną Dyrektywą 2004/22/EC Parlamentu i Rady Europejskiej z 31 marca 2004 roku dotyczącą urządzeń pomiarowych używanych między innymi w zastosowaniach dotyczących interesu publicznego, ochrony środowiska oraz mających wpływ na wielkość podatków i innych opłat – urządzenia takie powinny bezwzględnie spełniać normy zawarte w unijnych normach. Jak wiadomo, satelitarna metoda pomiarowa zależy nie tylko od samego systemu GPS, ale przede wszystkim od sprzętu pomiarowego. W przypadku norm i wymagań odnośnie odbiorników GNSS biorących udział w kampaniach kontrolnych na miejscu (on-the-spot checks) instytucją odpowiedzialną jest Joint Research Centre (JRC) Komisji Europejskiej. Obecnie jest pilna potrzeba stworzenia standardu pozwalającego na sprawdzenie dokładności oraz poprawności działania odbiorników GNSS, tzw. validation protocol.

Opierając się na doświadczeniach zebranych w poprzednich latach, m.in. testy i certyfikacja dla Agencji Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa (2004) oraz walidacja metod pomiarowych działek rolnych dla JRC (2005), opracowano wzór standardu, który pozwoli na sprawdzenie odbiorników GNSS pod względem wymagań stawianych przez Komisję Europejską i Agencję Płatnicze.

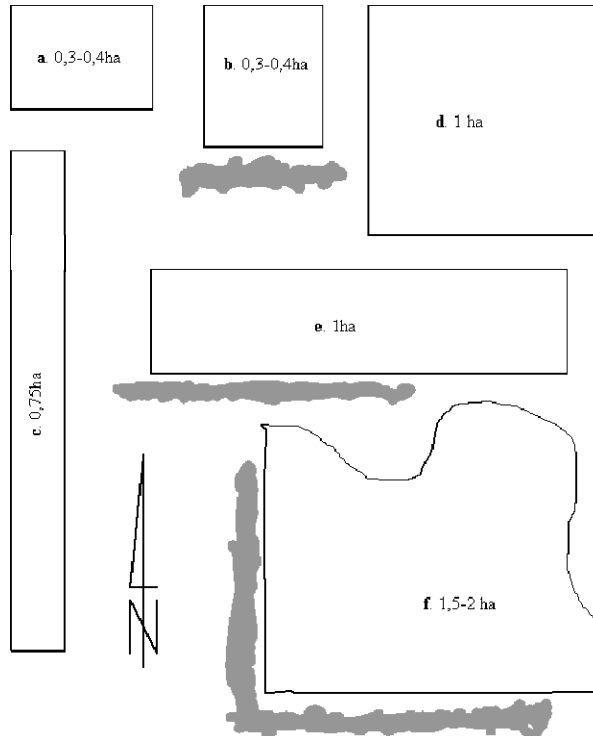
## **DZIAŁKI TESTOWE**

Procedura walidacji musi uwzględniać pomiary działek o różnej wielkości, różnych kształtach oraz różne warunki pomiarowe. Poligon testowy powinien składać się z minimum 6 działek o zróżnicowanej wielkości, kształcie i zasłonach sfery niebieskiej. Przykładowy schemat działek, który można wykorzystać w procedurze testowania, zaprezentowano na rysunku 1. Proponuje się, aby działki biorące udział w testach były zamarkowane w terenie palikami drewnianymi o długości 1 metra w narożnikach oraz dodatkowo przetyczone wzdłuż granic działek co 15–20 metrów palikami drewnianymi o długości 35 cm. Każda z działek powinna mieć swój kolor palików, aby uniknąć nieporozumień podczas pomiarów. Po zastabilizowaniu działek w terenie należy dokonać ich precyzyjnego pomiaru, najlepiej tachimetrem elektronicznym oraz dowiązania pola testowego do układu ETRF'89.

## **TESTY POLOWE**

Testy polowe powinny trwać przez minimum 6 dni, zaleca się, aby godziny pomiarowe w kolejnych dniach były jednakowe. W każdym dniu pomiarowym każda z działek powinna być przynajmniej 4 razy. Przed przystąpieniem do właściwych pomiarów polowych operator powinien dokładnie zapoznać się z testowanym odbiornikiem, jego

możliwościami i opcjami. Niezwykle istotna jest także znajomość działek zastabilizowanych w terenie. Posiadając jeden odbiornik i korzystając z wcześniej zaprezentowanego schematu poligonu testowego, proponuje się wykorzystać kolejność pomiarów zaprezentowaną w tabeli 1. Przy tak zaplanowanym pomiarze dzień pomiarowy będzie trwał około 4 godzin. Wszystkie zebrane dane pomiarowe powinny być zapisane i przechowywane w formacie GIS do dalszych obliczeń i analiz.



Rys. 1. Sugerowany schemat poligonu testowego

Fig. 1. Suggested land parcels schema for the testing procedure

Tabela 1. Sugerowana kolejność pomiarów dla pojedynczego odbiornika

Table 1. Proposed measurement schedule for single receiver testing

Kolejność pomiarów Measurement schedule	Dzień 1, Dzień 4 Day 1, Day 4				Dzień 2, Dzień 5 Day 2, Day 5				Dzień 3, Dzień 6 Day 3, Day 6			
	rano morning		po południu afternoon		rano morning		po południu afternoon		rano morning		po południu afternoon	
	a	b	a	b	c	d	c	d	e	f	e	f
b	c	b	c	d	e	d	e	f	a	f	a	
c	d	c	d	e	f	e	f	a	b	a	b	
d	e	d	e	f	a	f	a	b	c	b	c	
e	f	e	f	a	b	a	b	c	d	c	d	
f	a	f	a	b	c	b	c	d	e	d	e	

## OPRACOWANIE STATYSTYCZNE

Po zakończeniu prac polowych niezbędne jest opracowanie statystyczne zebranych wyników. Analizy statystyczne należy przeprowadzić zgodnie z normą ISO 5725-2 – „Dokładność (poprawność i precyzja) metod pomiarowych i wyników pomiarów – Część 2: Podstawowa metoda określania powtarzalności i odtwarzalności standardowej metody pomiarowej”. W pierwszym etapie procesu analiz statystycznych należy zidentyfikować obserwacje odstające (outliers). W przypadku obserwacji GPS tzw. „pooling factor”, czyli współczynnikiem, od którego spodziewana jest największa zależność otrzymanych wyników, jest dzień obserwacji. W celu wykrycia obserwacji odstających stosowane są następujące testy:

- Statystyki  $h$  oraz  $k$  **Mandel’a**, wyliczone dla każdego dnia pomiarowego. Wartości krytyczne brane pod uwagę to poziom 1% (outlier) oraz 5% (straggler) rozkładu  $\chi^2$ .
- Test **Cochran’a** sprawdza, czy różnice pomiędzy pomiarami poszczególnych działek są jednakowe dla każdego z dni pomiarowych. Jeśli wynik statystyk przekracza 1% wartości krytycznej, pomiar jest uznany za odstający i zostaje usunięty z dalszych obliczeń. Wartość krytyczna przyjęta z rozkładu  $\chi^2$ .
- Test **Grubbs’a** analizuje pomiary odstające dla poszczególnych dni obserwacyjnych. Liczony jest współczynnik  $G$ , którego wartościami krytycznymi są: 1% (outlier) oraz 5% (straggler) rozkładu  $\chi^2$ .

Po przeprowadzeniu testów dotyczących eliminacji obserwacji odstających można przystąpić do wyliczenia szeregu parametrów statystycznych takich jak: błąd średni pomiaru pola, odchylenie standardowe, błąd systematyczny instrumentu (bias), wielkość bufora i inne. Tak przeprowadzone statystyki kończą proces certyfikacji i dają jasną odpowiedź, czy dany instrument spełnia stawiane przez Komisję Europejską wymagania.

Oprócz szczegółowej procedury walidacji i certyfikacji odbiorników GNSS nie można zapominać, że pomiar w bardzo dużej mierze zależy od osoby wykonującej pomiar. Obserwator powinien mieć odpowiednie kwalifikacje, a inspektor terenowy bezwzględnie powinien przejść odpowiednie szkolenie teoretyczne i praktyczne potwierdzone stosownym certyfikatem.

## SZKOLENIE OBSERWATORÓW

Jak wspomniano już wcześniej, prawidłowe szkolenie obserwatorów, a w szczególności inspektorów terenowych, jest nie mniej ważne od procesu certyfikacji odbiornika GNSS. Operator musi mieć odpowiednią wiedzę teoretyczną, aby sprawnie i poprawnie wykonać pomiar oraz podjąć odpowiednie kroki w razie problemów. Szkolenie teoretyczne powinno obejmować następującą tematykę:

**Podstawowe definicje:** powierzchnie odniesienia: elipsoida GRS80, płaszczyzna odniesienia; systemy współrzędnych: geograficzny WGS’84, kartezyjański 3D; odwzorowania kartograficzne na płaszczyznę; układy współrzędnych: lokalne, państwowe, globalne; transformacje pomiędzy różnymi układami współrzędnych; podstawy pozycjonowania satelitarnego.

**Planowanie pomiaru:** wybór odpowiednich metod pomiarowych: klasyczne – taśma, tachimetr elektroniczny, inne; satelitarnych – autonomiczny GPS, EGNOS, DGPS, RTK; technologie fotogrametryczne.



**Pozycjonowanie GPS/EGNOS:** architektura systemu, sygnały, pomiary, odbiorniki; różnicowy GPS (DGPS/RTK): systemy lokalne – naziemne, systemy satelitarne EGNOS/WAAS; źródła błędów, ocena dokładności pozycjonowania.

**Satelitarny pomiar powierzchni działki rolnej:** metoda punktowa, metoda ciągła (kinematyczna), metoda kombinowana – klasyczna + satelitarna; ocena dokładności; obliczenie dopuszczalnego bufora błędu.

**Opracowanie danych pomiarowych:** zgranie obserwacji; oprogramowanie do obróbki pomiarów polowych; wizualizacja pomiarów; transformacje; kontrola jakości; archiwizacja danych.

**Ocena dokładności i wiarygodności otrzymanych wyników:** dokładność = precyzja + błędy systematyczne; estymacja dokładności metodą najmniejszych kwadratów; współczynniki DOP; błędy systematyczne i ich redukcje; niezależna kontrola pomiarów GNSS.

Oprócz zagadnień teoretycznych przedstawionych powyżej każdy uczestnik szkolenia powinien także zapoznać się praktycznie z pomiarami polowymi ich opracowaniem oraz wypełnianiem protokołów z kontroli na miejscu.

## PODSUMOWANIE

Zgodnie z Art. 23 of R.796/2004 kontrole na miejscu powinny być wykonane w taki sposób, aby zapewnić efektywną weryfikację zgodności warunków przyznania dopłat bezpośrednich. Obecnie przy pomiarach GNSS obowiązuje tolerancja techniczna obwodowa, wynosząca: obwód działki pomnożony przez 1.25 m. Obecnie Komisja Europejska zaleca przeprowadzanie testów mających na celu walidację i certyfikację sprzętu GNSS wykorzystywanego w pomiarach kontrolnych wniosków o dopłaty, w niedalekiej przyszłości należy się spodziewać, że wymóg przeprowadzenia testów będzie obowiązkowy. Tematyką walidacji i certyfikacji odbiorników oraz szkoleniami i certyfikacją obserwatorów zajmuje się także projekt FieldFact, którego głównym zadaniem jest promowanie i wdrażanie europejskich systemów satelitarnych w rolnictwie.

## PIŚMIENNICTWO

- Bogaert P., Delincé J., Kay S., 2005. Assessing the error of polygonal area measurements: a general formulation with applications to agriculture, *Meas. Sci. Technol.* 16 (2005) 1170–1178.
- Ciecko A., Oszczak S., 2005. *Validation of Methods for Measurement of Land Parcel Areas: GPS Results*, Presentation at the GPS Workshop, Wageningen, Netherlands, 5–6 October 2005 [http://agrifish.jrc.it/marspac/LPIS/meetings/GPSWorkshop2005/Ciecko\\_Oszczak\\_JRC\\_Workshop.pdf](http://agrifish.jrc.it/marspac/LPIS/meetings/GPSWorkshop2005/Ciecko_Oszczak_JRC_Workshop.pdf)
- Ciecko A., Oszczak S., 2005. *Validation of GPS Methods and Equipment for IACS Parcel Area Checks in Poland*, Workshop on EGNOS Performance and Applications Gdynia, 27-28. 10. 2005, CD ROM Proceedings.
- DIRECTIVE 2004/22/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 31 March 2004 on measuring instruments, *Official Journal of the European Union*, L 135/1, 30.4.2004.
- Hejmanowska B. et al., 2005. Validation of methods for measurement of land parcel areas. Final report. [http://agrifish.jrc.it/Documents/lpis/ValidationMethodFinalVer2\\_2.pdf](http://agrifish.jrc.it/Documents/lpis/ValidationMethodFinalVer2_2.pdf)

- Kay S., 2005. *Field Area Checks Using GPS*, GIM International, July 2005, Volume 19, Issue 7, [http://www.gim-international.com/issues/articles/id502-Field\\_Area\\_Checks\\_Using\\_GPS.html](http://www.gim-international.com/issues/articles/id502-Field_Area_Checks_Using_GPS.html)
- Kay S., 2006a. *Field Area Checks Using GPS (2)*, GIM International, January 2006, Volume 20, Issue 1, [http://www.gim-international.com/issues/articles/id602-Field\\_Area\\_Checks\\_Using\\_GPS.html](http://www.gim-international.com/issues/articles/id602-Field_Area_Checks_Using_GPS.html)
- Kay S., 2006b. *Technical tolerances for On the Spot checks v2.1*. Technical Information Document <http://agrifish.jrc.it/documents/control/recommendations/5834.pdf>
- Oszczak S. et al., 2004. Assessment and development of selection criteria for GPS measurement methods and equipment to ensure required accuracy and reliability of area-based subsidies control in IACS. Report for ARMA, Poland.
- Oszczak S., Ciećko A., 2006. Analiza dokładności pomiaru działek rolnych techniką GPS dla celów kontroli obszarowych w systemie IACS; Geodezja, tom 12, zeszyt 2/1, 2006.
- Oszczak S., Ciećko A., 2006. *Proposed Procedure of Validation and Certification of GNSS Instruments and Observers*, 12th MARS-PAC Conference „Geographical information in support of the CAP”, Toulouse (France), 27-29 Nov 2006, JRC Scientific and Technical Reports – EUR 22160 EN – 2007, pp. 13-15.

## **SATELLITE TECHNOLOGY IN MODERN AGRICULTURE, PROCEDURE OF VALIDATION AND CERTIFICATION OF GNSS INSTRUMENTS AND OBSERVERS FOR IACS SYSTEM**

**Abstract.** The paper presents main goals of FieldFact project performed in the frame of 6<sup>th</sup> Framework Programme of European Commission. The project promotes and demonstrates use of European satellite systems EGNOS and Galileo in modern agriculture. Second part of the paper gives some proposals for procedure of validation of GPS equipment to ensure the required level of accuracy and reliability for parcel area measurements during on-the-spot control for IACS and for precise farming. The proposed procedure and programme of training of observers for certification of proficiency to confirm the minimum required professional skill is also discussed.

**Key words:** GNSS, IACS, agriculture, certification

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 18.12.2007



## **ANALIZA DOKŁADNOŚCI INTERPOLACYJNYCH MODELI POWIERZCHNI TYPU GRID**

Dariusz Gościewski

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

**Streszczenie.** Za pomocą większości systemów oprogramowania z grupy GIS można wygenerować numeryczny model powierzchni na podstawie regularnej siatki kwadratów typu GRID. Do utworzenia takiej siatki wykorzystuje się algorytmy interpolacyjne pozwalające na obliczenie wartości w punktach węzłowych na podstawie wybranych punktów pomiarowych. Dokładność tworzonych modeli powierzchni zależy w głównej mierze od doboru algorytmów interpolacji oraz ich parametrów obliczeniowych. Istotnym zagadnieniem staje się porównanie jakości i dokładności modeli powierzchni tworzonych za pomocą różnych algorytmów. W tym celu wykorzystać można współczynniki statystyczne. W artykule wykorzystano wybrane współczynniki statystyczne do porównania dokładności modeli interpolacyjnych utworzonych przez różne algorytmy.

**Słowa kluczowe:** numeryczny model terenu, algorytmy interpolacyjne, współczynniki statystyczne, analiza dokładności

### **1. WSTĘP**

Numeryczny model terenu (DTM) wykorzystywany jest jako jedna z podstawowych warstw informacyjnych w systemach informacji przestrzennej (SIT, GIS) [Marble D.F. 1990, Walker T.C., Miller R.K. 1990]. Do utworzenia takiego modelu wykorzystywane są często dane pochodzące z pomiarów bezpośrednich. Współczesne techniki pomiarowe pozwalają na pozyskanie dużej ilości danych w stosunkowo krótkim czasie. Wymienić tu należy zwłaszcza dane pochodzące z pomiarów echosondą wielowiązkową czy laserowego skaningu lotniczego [Obermeyer N.J., Pinto J.K. 1994, Walker T.C., Miller R.K. 1990]. Danych takiego rodzaju, ze względu na ich ilość oraz nieuporządkowaną strukturą zapisu informacji, nie wykorzystuje się bezpośrednio w systemach informacji przestrzennej [Douglas D.M., Peucker T.K. 1973, Gościewski D. 2005]. Dąży się do takiego uporządkowania struktury zapisu informacji, aby ograniczyć jej ilość i redundancję przy jednoczesnym zachowaniu dokładności opisu tworzonej powierzchni. Dane wykorzystywane do utworzenia numerycznego modelu terenu mogą być zorganizowane w postaci nieregularnej siatki trójkątów (TIN) lub regularnej siatki

kwadratów (GRID) [Douglas D.M., Peucker T.K. 1973, Gościowski D. 2005, Lue Y., Novak K. 1991]. Model GRID, dzięki redukcji ilości przechowywanej informacji, pozwala na znaczne przyspieszenie procesu jej przetwarzania. Ma on również szczególne zastosowanie w przypadku analiz prowadzonych na tych samych obiektach w czasie [Lue Y., Novak K. 1991, Obermeyer N.J., Pinto J.K. 1994]. W procesie tworzenia siatki GRID mogą brać udział różne algorytmy interpolacyjne. Pozwalają one na wygenerowanie modelu powierzchni z różną dokładnością. Zależy ona od rodzaju użytego algorytmu, jego parametrów interpolacji oraz lokalizacji punktów pomiarowych wokół tworzonego węzła [Gościowski D. 2005, Gościowski D. 2006]. Istotne jest zatem przeanalizowanie sposobów umożliwiających porównanie dokładności modeli interpolacyjnych utworzonych przez różne algorytmy.

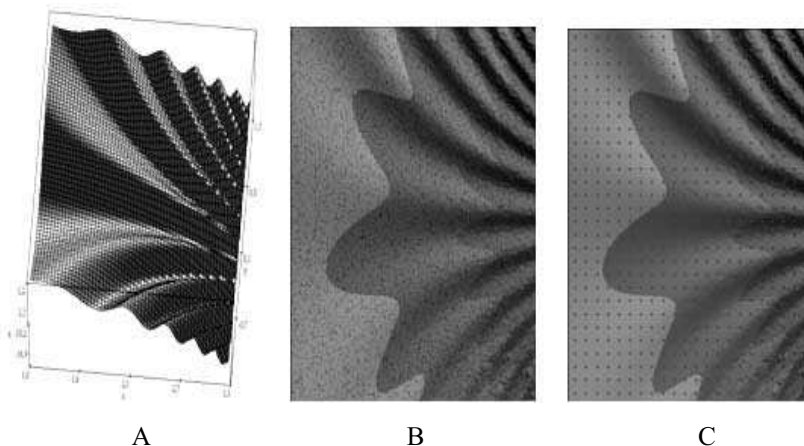
## 2. ZAŁOŻENIA MODELU TESTOWEGO

Analizy mające na celu porównanie dokładności poszczególnych algorytmów interpolacyjnych powinny zakładać wykorzystanie tej samej bazy punktów pomiarowych do interpolacji powierzchni różnymi metodami. W celu wygenerowania takiej bazy opracowany został teoretyczny model powierzchni. Wykorzystana została do tego funkcja dwóch zmiennych (1) umożliwiająca utworzenie wzorcowej powierzchni matematycznej (rys. 1A).

$$f(x, y) = 2(\text{SIN}(e^x y) + (y^2 - x^2)) \quad (1)$$

$$x \in < 1.0 ; 3.3 > \quad , \quad y \in < -1.4 ; 1.5 >$$

Na jej podstawie, w podanym przedziale współrzędnych  $x, y$  (1), wygenerowano w sposób losowy 10000 punktów pseudopomiarowych ( $pp$ ). Powierzchnia utworzona przez te punkty została następnie przeskalowana i przesunięta w taki sposób, aby powstały model DTM utworzył prostokąt o wymiarach 230 m X 290 m i zawierał wyłącznie punkty o dodatnich wartościach współrzędnych  $x, y, z$  (rys.1B). Na tak utworzonym modelu została założona siatka węzłów GRID o kwadracie bazowym 10 m X 10 m (rys. 1C).



Rys. 1. Konstrukcja modelu testowego  
Fig. 1. Test model design

Zagęszczenie punktów pseudopomiarowych, przypadające na kwadrat bazowy, wyniosło 15 pp/100 m<sup>2</sup>. Wielkość kwadratu bazowego oraz zagęszczenie punktów pp zostało dostosowane do cech morfologicznych powierzchni w taki sposób, aby umożliwić dokładną interpolację w różnych miejscach modelu DTM. Ponadto węzły brzegowe zostały tak zlokalizowane, aby zapewnić dostateczną ilość punktów pp do ich interpolacji. Następnie, w oparciu o punkty pp, wykorzystując kolejno pięć różnych algorytmów interpolacyjnych, dokonano wyznaczenia wysokości na każdym węźle siatki GRID. Powstało w ten sposób pięć modeli interpolacyjnych zbudowanych z węzłów praktycznych, obliczonych w oparciu o tę samą bazę punktów pseudopomiarowych. Następnie, przy wykorzystaniu funkcji (1), wygenerowane zostały teoretyczne punkty węzłowe siatki GRID, posiadające taką samą lokalizację jak węzły wyinterpolowane za pomocą algorytmów. Pozwoliło to na obliczenie dla każdego algorytmu różnic wysokości pomiędzy wartością praktyczną (interpolacyjną) a wartością teoretyczną na każdym punkcie węzłowym.

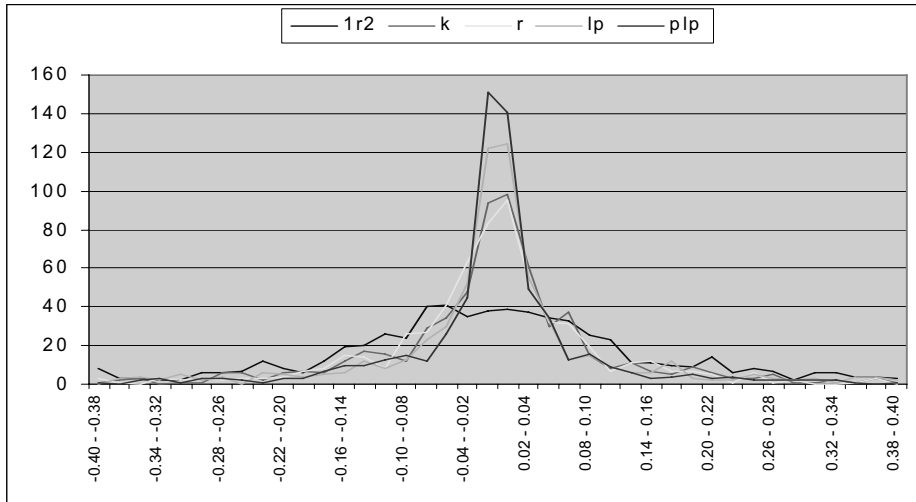
### 3. ALGORYTMY INTERPOLACYJNE

Do przeprowadzenia obliczeń wykorzystano pięć algorytmów interpolacyjnych. Pierwszy algorytm (*lr2*) obliczał wysokość na punkcie węzłowym na podstawie średniej wysokości  $n$  punktów pseudopomiarowych zrównoważonych odwrotnością kwadratu ich odległości od węzła. Drugi algorytm (*k*) – kriging – zakładał obliczenie wartości w węźle na podstawie semiwariogramu liniowego dopasowanego do rozkładu wysokości punktów pomiarowych wokół węzła. Trzeci algorytm (*r*) do interpolacji wysokości w punkcie węzłowym wykorzystywał multikwadratowe funkcje radialne. Czwarty algorytm (*lp*) do obliczeń wykorzystywał funkcję wielomianu lokalnego pierwszego stopnia. Za pomocą piątego algorytmu (*plp*) wysokość w węźle była wyznaczana jako wynik rozwiązania układu równań: płaszczyzny przechodzącej przez trzy najbliższe punkty pomiarowe i prostej przechodzącej przez węzeł, prostopadłej do płaszczyzny poziomej. Wszystkie algorytmy bazowały na punktach położonych najbliżej węzła i zlokalizowanych w czterech sektorach poszukiwań. Kąt linii tworzącej pierwszego sektora ustalono na 0°. Promień poszukiwań punktów wokół węzła nie został ograniczony i był jednakowy we wszystkich kierunkach. [Akai T.J. 1994, Cressie N. 1991, Douglas D.M. 1973, Gościewski D. 2005, Pitas I. 200].

### 4. WIELOBOK LICZEBNOŚCI

W celu przeprowadzenia analiz statystycznych wybrano skończoną zbiorowość generalną składającą się z 610 elementów (węzłów). Jako cechy statystyczne obrano obliczone błędy prawdziwe (różnice wysokości pomiędzy wartością praktyczną (interpolacyjną) a wartością teoretyczną) na każdym punkcie węzłowym. Wykonano badanie pełne obejmujące wszystkie mierzalne cechy statystyczne danej skończonej zbiorowości generalnej. Następnie pogrupowano liczebności obliczonych cech statystycznych (wartości bezwzględne błędów prawdziwych interpolacji na poszczególnych węzłach) w dwadzieścia przedziałów klasowych (od 0 m do 0,40 m) domkniętych prawostronnie. Pogrupowania dokonano również dla wartości rzeczywistej błędów, tworząc czterdzieści przedziałów klasowych (od -0,40 m do +0,40 m). Rozpiętości przedziałów w obu przypadkach ustalono na 0,02 m. Rysunek 2 przedstawia wielobok liczebności, czyli

wykresy liczebności błędów prawdziwych w poszczególnych przedziałach klasowych dla kolejnych algorytmów interpolacji. Na osi poziomej przedstawiono poszczególne przedziały, a na osi pionowej liczebności błędów występujące w tych przedziałach.



Rys. 2. Wykresy liczebności błędów dla poszczególnych algorytmów  
Fig. 2. Graphs of the number of errors for individual algorithms

We wszystkich przypadkach najwięcej błędów występuje w przedziałach bliskich zeru. Analizując wykresy można porównać rozkłady błędów dla poszczególnych algorytmów. Najkorzystniejszy rozkład błędów wystąpił w przypadku interpolacji algorytmem *plp*, gdzie stosunkowo najwięcej węzłów zostało wyinterpolowanych z najmniejszym błędem. Mniej korzystny rozkład błędów posiadał algorytm *lp*. Z kolei algorytmy *k* i *r* wykazały podobne charakterystyki rozkładu błędów. Najgorsze wyniki dała interpolacja algorytmem *1r2*, gdzie ilość węzłów obliczonych z małym błędem jest najmniejsza.

## 5. MIARY ZRÓŻNICOWANIA

Analizę dokładności modeli interpolacyjnych osiągniętą przez poszczególne algorytmy można przeprowadzić stosując wybrane współczynniki statystyczne [Akai T.J. 1994, Cressie N. 1991, Pitas I. 2000]. W omawianym przykładzie wykorzystanych dyspersję (zróźnicowanie) wartości cechy. Na podstawie danych przedstawiono w postaci szeregu rozdzielczego obliczono wartości środków przedziałów klasowych (2) oraz odpowiadającą im średnią arytmetyczną ważoną liczebnościami w przedziale (3). W celu obliczenia miar zróźnicowania absolutnego wykorzystano wariancję (4) i odchylenie standardowe (5).

$$x_i = (x_{0i} + x_{1i}) / 2 \quad (2)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k x_i n_i \quad (3)$$

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^k x_i^2 n_i - n \bar{x}^2 \quad (4)$$

$$s = \sqrt{s^2} \quad (5)$$

gdzie:

$x_{0i}, x_{1i}$  – dolna i górna granica przedziału ( $i=1,2,\dots,k$ ),

$k$  – ilość przedziałów,

$n_i$  – liczebność cech w przedziale  $x_{0i} - x_{1i}$ ,

$n$  – liczebność zbiorowości,

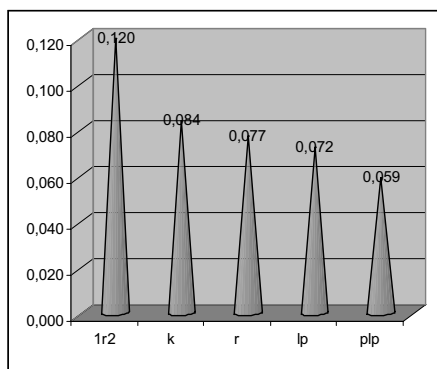
$x_{0i}, x_{1i}$  – lower and upper range limit ( $i=1,2,\dots,k$ ),

$k$  – number of ranges,

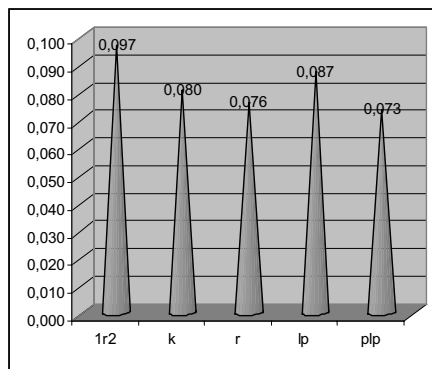
$n_i$  – number of characteristics within the range  $x_{0i} - x_{1i}$ ,

$n$  – population size.

Im większe jest absolutne zróżnicowanie cechy w zbiorze, tym większe są odchylenia wartości cechy od średniej arytmetycznej i większa jest wariancja oraz odchylenie standardowe. Porównanie odchylenia standardowego dla poszczególnych modeli interpolacyjnych pokazane zostało na rysunku 3. Najmniejszym absolutnym zróżnicowaniem cechy w zbiorze charakteryzuje się algorytm *plp*, gdzie ponad 50% błędów mieści się w jednym przedziale ( $\pm 0,02m$ ). Największe absolutne zróżnicowanie wartości błędów występuje w przypadku algorytmu *1r2*, gdzie błędy rozrzucone są po różnych przedziałach.



Rys. 3. Odchylenie standardowe  
Fig. 3. Standard deviation



Rys. 4. Rozstęp ćwiartkowy  
Fig. 4. Interquartile range

Do porównania dokładności algorytmów można posłużyć się również rozstępem. Stanowi on bardzo ogólną miarę stopnia zróżnicowania wartości cechy i jest wyznaczany jako różnica między maksymalną i minimalną wartością cechy w zbiorze. W omawianych przykładach jest on jednakowy dla wszystkich algorytmów i jest mniejszy niż 0,40 m. Trzeba zaznaczyć, że rozstęp uwzględnia wyłącznie skrajne wartości cechy,



kótre mogą ulegać dużym przypadkowym wahaniom. W celu wyeliminowania wartości skrajnych można posłużyć się rozstępem ćwiartkowym. Wymaga on wyznaczenia miar położenia rozkładu – kwartyli (6). Rozstęp ćwiartkowy jest definiowany jako różnica między trzecim ( $Q_3$ ,  $p=0,75$ ) i pierwszym ( $Q_1$ ,  $p=0,25$ ) kwartylem ( $Q_3 - Q_1$ ). Obejmuje on środkowe 50% obserwacji i oparty jest na centralnych wartościach cechy.

$$Q_p = x_{0p} + [p - F_n(x_{0p})] \frac{h_p}{w_p} \quad (6)$$

gdzie:

- $p$  – rząd kwartyła,
- $x_{0p}$  – dolna granica przedziału, w którym znajduje się wartość kwartyła rzędu  $p$ ,
- $F_n(x_{0p})$  – dystrybuanta empiryczna dla dolnej granicy przedziału kwartyła rzędu  $p$ ,
- $h_p$  – rozpiętość przedziału kwartyła rzędu  $p$ ,
- $w_p$  – częstość przedziału kwartyła rzędu  $p$ ,
- $p$  – quartile order,
- $x_{0p}$  – lower limit of the range within which the order quartile value  $p$  is situated,
- $F_n(x_{0p})$  – empirical distribution for the lower order  $p$  quartile range limit,
- $h_p$  – spread of order  $p$  quartile limit,
- $w_p$  – frequency of order  $p$  quartile range.

Na rysunku 4 pokazano porównanie wartości rozstępu ćwiartkowego dla poszczególnych algorytmów interpolacyjnych. Im większy jest przedział rozstępu ćwiartkowego, tym większe jest zróżnicowanie cechy w rozkładzie. Największym zróżnicowaniem wartości błędów w środkowej części rozkładu charakteryzuje się algorytm *lr2*, natomiast najmniejsze zróżnicowanie cechy w tym przedziale wykazuje algorytm *plp*. Wyniki te pokrywają się z analizą odchylenia standardowego (rys. 3). Wyjątek stanowi algorytm *lp*, gdzie odchylenie standardowe jest przesunięte w kierunku większej wartości cechy, co wskazuje na większe zróżnicowanie wartości w zbiorze.

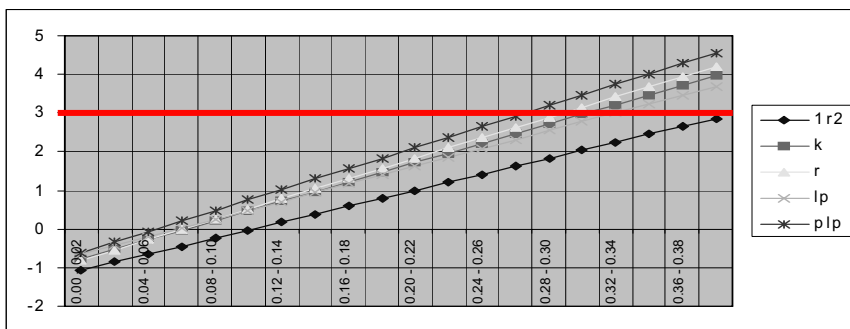
Wykorzystując średnią arytmetyczną i odchylenie standardowe, można przekształcić cechy do postaci standaryzowanej wykorzystując wzór (7). Pozwala to na określenie, o ile odchylen standardowych różnią się wartości cechy od średniej arytmetycznej.

$$u_i = \left( \frac{x_i - \bar{x}}{s} \right) \quad (i=1,2,\dots,k) \quad (7)$$

gdzie:

- $x_i$  – środek przedziału klasowego,
- $\bar{x}$  – średnia arytmetyczna ważona liczebnościami w przedziale,
- $s$  – odchylenie standardowe,
- $k$  – ilość przedziałów,
- $x_i$  – class range center,
- $\bar{x}$  – arithmetic weighted average of range population,
- $s$  – standard deviation,
- $k$  – number of ranges.

Na rysunku 5 przedstawione zostały standaryzowane wartości cechy dla poszczególnych przedziałów szeregu rozdzielczego. Analizując wykresy można zauważyć wyraźne przesunięcie większych wartości standaryzowanych cechy w kierunku przedziałów o większych wartościach błędów. Wartości zerowe (pokrywające się ze średnią) dla wartości standaryzowanych mieszczą się w przedziałach 0,04 m – 0,06 m dla algorytmu *plp*, 0,06 m – 0,08 m dla algorytmów *k*, *r* i *lp* oraz 0,10 m – 0,12 m dla algorytmu *lr2*. Wartości standaryzowane różniące się od średniej o więcej niż o trzy odchylenia standardowe ( $|u| > 3$ ) można uznać za wartości nietypowe (izolowane) (rys. 5). Jedyń w przypadku algorytmu *lr2* wartości standaryzowane nie przekraczają tej granicy. Pozwala to stwierdzić, że algorytm ten jest najmniej dokładny, ponieważ wartości błędów w żadnym z przedziałów nie są izolowane. Oznacza to, że wszystkie przedziały błędów (również dużych) są typowe dla tego algorytmu.



Rys. 5. Porównanie wartości standaryzowanych  
Fig. 5. Comparison of standardized values

Spowodowane jest to stosunkowo dużą ilością błędów występujących w przedziałach o większych wartościach i przesunięciem średniej arytmetycznej w tym kierunku. Dla pozostałych czterech algorytmów za wartości nietypowe można przyjąć błędy większe niż 0,28 m w przypadku *plp*, 0,30 m w przypadku *r* oraz 0,32 m w przypadkach *k* i *lp*. Takie zestawienie pozwala porównać dokładności poszczególnych algorytmów. Najdokładniejszym algorytmem okazał się *plp*, ponieważ już od przedziału 0,28 m błędy różniły się od średniej arytmetycznej o więcej niż trzy odchylenia standardowe. Wartościami typowymi dla tego algorytmu były błędy mniejsze niż 0,28 m. Analogicznie można przeanalizować pozostałe przypadki. W przypadku algorytmu *r* błędy typowe są mniejsze niż 0,30 m, a w przypadku *k* i *lp* mniejsze niż 0,32 m.

## 6. MIARY ASYMETRII

Wykorzystując współczynniki będące miarami asymetrii można określić, w jakim kierunku przesunięte są błędy o większej liczebności w stosunku do średniej arytmetycznej. Parametrami rozkładu empirycznego, które wskazują na asymetrię, są: trzeci moment centralny (8), pozycyjny współczynnik asymetrii (10) oraz współczynnik skośności (12).

$$M_3 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^k \left( x_i - \bar{x} \right)^3 n_i \quad (8)$$

gdzie:

$n_i$  – liczebność cech w przedziale,

$n$  – liczebność zbiorowości,

$x_i$  – środek przedziału klasowego,

$\bar{x}$  – średnia arytmetyczna ważona liczebnościami w przedziale,

$k$  – ilość przedziałów,

$n_i$  – number of characteristics within the range,

$n$  – population size

$x_i$  – class range center,

$\bar{x}$  – arithmetic weighted average of range population,

$k$  – number of ranges.

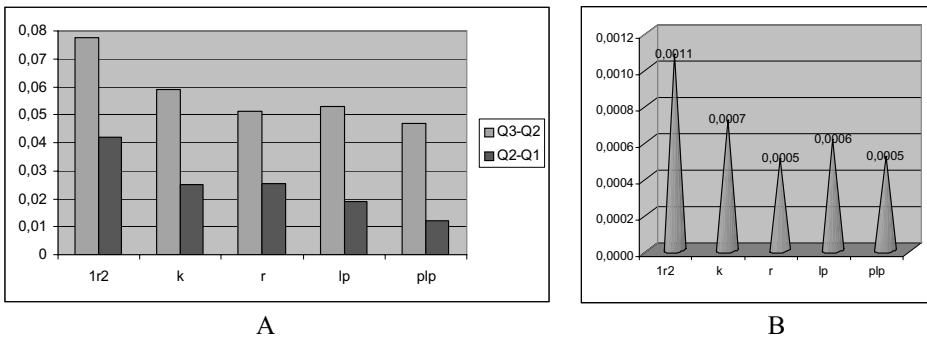
Wyniki obliczeń dla trzeciego momentu centralnego pokazano w tabeli 1.

Tabela 1. Trzeci moment centralny

Table 1 Third central moment

algorytm	1r2	k	r	lp	plp
M3	0,0010	0,0009	0,0008	0,0013	0,0009

Ponieważ we wszystkich analizowanych przypadkach trzeci moment centralny jest dodatni, można stwierdzić, że wszystkie algorytmy charakteryzują się prawostronną asymetrią, czyli posiadają wydłużone prawe ramię rozkładu, co z kolei wskazuje na większe grupowanie się cech w przedziałach o małej wartości błędu.



Rys. 6. Pozycyjny współczynnik asymetrii

Fig. 6. Positional asymmetry coefficient

Porównania asymetrii rozkładów można również dokonać wykorzystując pozycyjny współczynnik asymetrii (9). Jego obliczenie poprzedza wyznaczenie za pomocą wzoru 6 trzech kwartyli rzędu:  $Q_1$  dla  $p=0,25$ ;  $Q_2$  dla  $p=0,50$  (mediana) i  $Q_3$  dla  $p=0,75$ .

$$P = \frac{(Q_3 - Q_2) - (Q_2 - Q_1)}{Q_3 - Q_1} \quad (9)$$

Analizując wykresy (rys. 6A) można stwierdzić, że w każdym przypadku asymetria rozkładu jest prawostronna, ponieważ wszędzie zachodzi zależność  $Q_3 - Q_2 > Q_2 - Q_1$ , czyli odległość między kwartylem trzecim a kwartylem drugim (mediana) jest większa niż między medianą a kwartylem pierwszym. Porównując wyniki obliczeń przedstawione na wykresach 6A i 6B można dokonać porównania dokładności poszczególnych algorytmów. W omawianym przykładzie największą asymetrię prawostronną posiada algorytm *1r2*, a najmniejszą algorytmy *plp* i *r*. W przypadku algorytmu *1r2* świadczy to o większym rozrzuceniu błędów po przedziałach o wyższej wartości cechy (mniej dokładny algorytm). W drugim przypadku (algorytmy *plp* i *r*) stosunkowo duża ilość błędów znajduje się w przedziałach o mniejszej wartości cechy (algorytmy dokładniejsze). Wykorzystując pozycyjny współczynnik asymetrii można także uchwycić różnicę między dokładnością osiągniętą przez algorytmy *k* i *r*, która podczas analiz, przy użyciu wcześniej opisywanych współczynników, była porównywalna.

Porównując wykresy przedstawione na rysunku 6B z wykresem odchyłeń standardowych (rys. 3) można zauważyć wpływ zróżnicowania cechy w zbiorze na wyniki obliczeń. Aby otrzymać wyniki wolne od wpływu zróżnicowania, przy przeprowadzaniu analizy symetrii rozkładu empirycznego można posłużyć się niemianowanym współczynnikiem skośności (11), który można wykorzystać do porównania asymetrii kilku rozkładów. Jego wyznaczenie należy poprzedzić obliczeniem dominanty (10).

$$D = x_{0d} + \frac{n_d - n_{d-1}}{(n_d - n_{d-1}) + (n_d - n_{d+1})} h_d \quad (10)$$

gdzie:

$x_{0d}$  – dolna granica przedziału dominanty,

$h_d$  – rozpiętość przedziału dominanty,

$n_d, n_{d-1}, n_{d+1}$  – liczebność przedziału dominanty, przedziału poprzedniego i następnego,

$x_{0d}$  – lower dominant range limit,

$h_d$  – dominant range spread,

$n_d, n_{d-1}, n_{d+1}$  – size of dominant range, preceding range and following range.

$$Sk = \frac{\bar{x} - D}{s} \quad (11)$$

gdzie:

$\bar{x}$  – średnia arytmetyczna ważona liczebnościami w przedziale,

$D$  – dominanta,

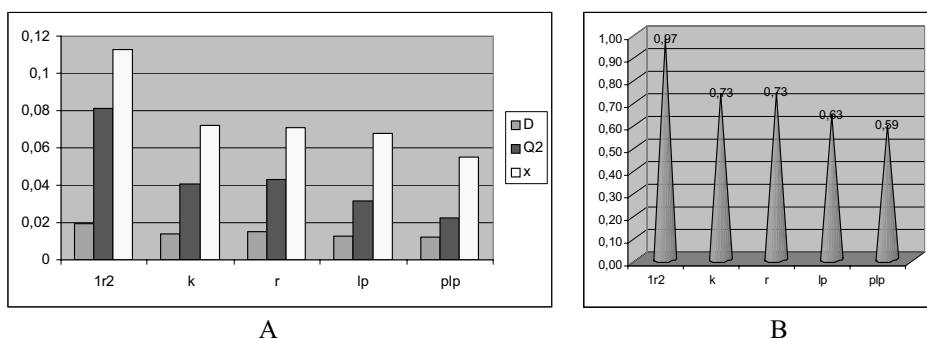
$s$  – odchylenie standardowe,

$\bar{x}$  – arithmetic weighted average of range population,

$D$  – dominant,

$s$  – standard deviation.

Na rysunku 7 przedstawiono zestawienie dominanty, mediany i średniej arytmetycznej (rys.7A) oraz współczynnika skośności (rys.7B) dla poszczególnych algorytmów.



Rys. 7. Współczynnik skośności  
Fig. 7. Sewness coefficient

Również w tym przypadku można stwierdzić, że asymetria rozkładu jest prawostronna, ponieważ wszędzie zachodzi zależność  $D < Q_2 < x$ . Z analizy wykresów (rys. 7) wynika, że we wszystkich przypadkach najczęściej występująca wartość cechy jest niższa niż średnia arytmetyczna. Oznacza to, że najczęściej występująca wielkość błędów interpolacji jest niższa od przeciętnej liczby błędów. Im mniejsza jest różnica pomiędzy średnią arytmetyczną a dominantą, tym więcej błędów występuje w przedziałach o mniejszych wartościach i tym samym dokładniejszy jest algorytm interpolacyjny. W przypadku algorytmu *1r2* (rys. 7B), mimo stosunkowo największej dominanty, średnia arytmetyczna tego algorytmu jest przesunięta w kierunku większego błędu (najmniej dokładny algorytm). Najmniejszą różnicę między średnią arytmetyczną a dominantą wykazał algorytm *plp* (rys. 7B). W przypadku tego algorytmu średnia arytmetyczna, mediana i dominanta cechowały się najmniejszymi wartościami. Z kolei dla algorytmów *k* i *r* porównanie wartości współczynnika skośności dało porównywalne rezultaty (rys. 7B), przy czym algorytm *r* cechuje się większą medianą (rys. 7A).

## 7. WNIOSKI

Pogrupowanie liczebności obliczonych cech statystycznych (błędów prawdziwych interpolacji wartości na poszczególnych węzłach) w dwadzieścia przedziałów klasowych umożliwiło zastosowanie wybranych współczynników statystycznych. Wykorzystanie tych współczynników oraz zastosowanie tej samej bazy punktów pseudopomiarowych pozwoliło dokonać porównania dokładności modeli powierzchni utworzonych przez różne algorytmy interpolacyjne. Za pomocą wszystkich współczynników statystycznych osiągnięto porównywalne rezultaty w ocenie dokładności poszczególnych algorytmów. Pozwoliło to na kompleksową ocenę dokładności modeli interpolacyjnych. Z przeprowadzonych analiz wynika, że najdokładniejszym algorytmem okazał się algorytm *plp*, a najmniej dokładnym algorytm *1r2*. Dokładności osiągnięte przez algorytmy *k* i *r* są porównywalne. Wyniki badań potwierdzone zostały analizami przeprowadzonymi za pomocą tych samych współczynników, przy wykorzystaniu innych modeli powierzchni wzorcowej oraz różnych algorytmów interpolacyjnych. Z przeprowadzonych badań wynika, że zastosowana metoda pozwala w sposób obiektywny porównać różne algorytmy interpolacyjne i określić najdokładniejszy z nich.

## PIŚMIENNICTWO

- Akai T.J., 1994. Applied Numerical Methods for Engineers. John Wiley and Sons, New York.
- Cressie N., 1991. Statistics for Spatial Data. John Wiley and Sons, New York.
- Douglas D.M., Peucker T.K., 1973. Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature. Canadian Cartographer.
- Gościewski D., 2005. Influence of measuring point location on selection of interpolation algorithms. The 6th International Conference: Environmental Engineering, Gediminas Technical University Press, Vilnius.
- Gościewski D., 2006. Influence of measurement points positioning on accuracy of interpolation surfaces. Proceedings of 12th FIG Symposium on Deformation Measurements. Research Group of Engineering Geodesy, Vienna University of Technology, Baden-Austria.
- Lue Y., Novak K., 1991. Recursive Grid-Dynamic Window Matching for Automatic DEM Generation. ACSM-ASPRS Fali Conention Technical Papers.
- Marble D.F., 1990. Geographic Information Systems: Añ Overview, Introductory Readings in Geographic Information Systems. Bristol, Pennsylvania.
- Obermeyer N.J., Pinto J.K., 1994. Managing Geographic Information Systems. Guilford Press, Los Angeles.
- Pitas I., 2000. Digital Image Processing Algorithms and Applications. John Wiley and Sons, New York.
- Walker T.C., Miller R.K., 1990. Geographic Information Systems: An Assessment of Technology, Applications, and Products. Madison, Georgia: SEAI Technical Publications.

## GRID TYPE SURFACE INTERPOLATION MODELS ACCURACY ANALYSIS

**Abstract:** The majority of GIS type software systems allow generating numerical surface models on the basis of GRID type regular network of squares. Interpolation algorithms allowing computation of values at nodal points on the basis of selected measurement points are used for establishment of such a grid. The accuracy of generated surface models depends mainly on the choice of the interpolation algorithms and their computation parameters. Comparison of quality and accuracy of surface models generated by application of different algorithms seems an important issue. Statistical coefficients can be used for that purpose. The paper uses selected statistical coefficients for comparison of accuracy of interpolation models generated by application of different algorithms.

**Key words:** numerical terrain model, interpolation algorithms, statistical coefficients, accuracy analysis

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 18.12.2007



## MODELE POJĘCIOWE NIEKTÓRYCH GEODEZYJNYCH SKŁADNIKÓW INFRASTRUKTURY DANYCH PRZESTRZENNYCH

Wojciech Pachelski, Zenon Parzyński

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski

**Streszczenie.** Przez geodezyjne składniki infrastruktury danych przestrzennych (SDI) rozumiane są te produkty działalności geodezyjnej, których charakterystyki i wymagania metodyczne, technologiczne, techniczne, jakościowe, prawne i inne są wyspecyfikowane w instrukcjach i wytycznych technicznych Głównego Geodety Kraju. W szczególności zaliczyć tu należy takie produkty, dla których instrukcje i wytyczne definiują, na ogół w sposób niesformalizowany w sensie informatycznym, takie systemy informacyjne, jak mapa zasadnicza i topograficzna, kataster, GESUT, osnowy podstawowe i szczegółowe, zasób geodezyjny i kartograficzny i inne. Produkty te stanowią w większości przypadków tzw. dane referencyjne dla lokalizacji obiektów w systemach informacji geograficznej.

Niniejsze opracowanie jest poświęcone niektórym koncepcjom harmonizacji i integracji rozwiązań zawartych w tego typu specyfikacjach technicznych GGK ze znormalizowanymi według norm europejskich zasadami budowy schematów aplikacyjnych dla poszczególnych zakresów tematycznych SDI, w tym z zawartymi w normach schematami pojęciowymi geometrii i topologii, położenia obiektów geograficznych, aspektów czasowych danych, jakości danych oraz metadanych. Harmonizacja taka jest niezbędna dla zapewnienia wewnętrznego współdziałania krajowych infrastruktur danych przestrzennych, jak też ze względu na ich fundamentalny charakter dla europejskiej infrastruktury danych przestrzennych (ESDI), budowanej w ramach projektu INSPIRE.

**Słowa kluczowe:** model pojęciowy, schemat aplikacyjny, SDI, dane referencyjne, instrukcje techniczne GGK

### 1. WSTĘP

Projekt INSPIRE ustanawia reguły budowy infrastruktury danych przestrzennych (SDI)<sup>1</sup> w Europie, mającej na celu wspieranie szeroko rozumianego monitoringu, przekształcania, zarządzania i innych działań dotyczących środowiska geograficznego Europy [Annoni, Smith, 2005]. Taka infrastruktura ma wynikać z połączenia infrastruktur

---

<sup>1</sup> Spatial Data Infrastructures



krajów członkowskich [m.in. Gaździcki, 2007a i b], co winno zapewnić jej pełną integralność i współdziałanie (*interoperacyjność*) na wszystkich szczeblach. Konsekwencją tej przesłanki jest konieczność budowy infrastruktury krajowych według zasad niesprzecznych z zasadami przyjętymi w INSPIRE, tj. z Dyrektywą INSPIRE (2007) i opracowywanymi na jej podstawie tzw. *regułami implementacyjnymi*, jak też z normami międzynarodowymi serii ISO 19100<sup>2</sup>. W praktyce, od strony metodologicznej i technologicznej, oznacza to wprost warunek budowania infrastruktury krajowych zgodnie z tymi normami. Należy przy tym zauważyć, że poza rolą formalnych przepisów technicznych normy te przedstawiają nowoczesną metodologię geoinformatyczną, stąd ich znaczenie dla budowy SDI w Polsce ma charakter zasadniczy także w skali krajowej.

Immanentnym składnikiem wszelkich infrastruktury danych przestrzennych są tzw. dane referencyjne, które stanowią podstawę dla lokalizacji obiektów geograficznych i powstają w wyniku geodezyjnych procesów projektowych, pomiarowych, obliczeniowych, dokumentacyjnych i innych. Do danych tych zalicza się takie produkty, jak osnowy podstawowe i szczegółowe (G-1, G-2, G-4), mapa zasadnicza i topograficzna ((K-1, K-2), kataster, czyli ewidencja gruntów i budynków (G-5), GESUT<sup>3</sup> (G-7), zasób geodezyjny i kartograficzny (O-3, O-4) i inne, budowane według stosownych specyfikacji technicznych GGK (instrukcji i wytycznych). Specyfikacje te można uznać za niesformalizowane w sensie informatycznym modele systemów informacyjnych, które identyfikują w formie opisowej obiekty oraz ich cechy, związki i ograniczenia. Modele te nie spełniają jednak wymagań co do zgodności ze wspomnianymi normami zarówno co do formalizmu opisu, stosowanej terminologii, jak też merytorycznych koncepcji struktury i treści. Wynika stąd konieczność dostosowania specyfikacji technicznych GGK, zwłaszcza odnoszących się do danych referencyjnych, do norm serii ISO 19100, przy czym w niektórych przypadkach należy się liczyć także z koniecznością opracowania nowych specyfikacji, uwzględniających inne regulacje normatywne (jak np. dla tzw. krajowego profilu metadanych).

## 2. STRATEGIE BUDOWY SDI

Wspomniany na wstępie naczelny cel norm i specyfikacji technicznych, jakim jest budowa SDI w sposób zapewniający ich wszechstronne współdziałanie, jest osiągany, w myśl omawianej metodologii (CEN/TR 15449:2006), za pomocą dwóch odmiennych i wzajemnie uzupełniających się strategii:

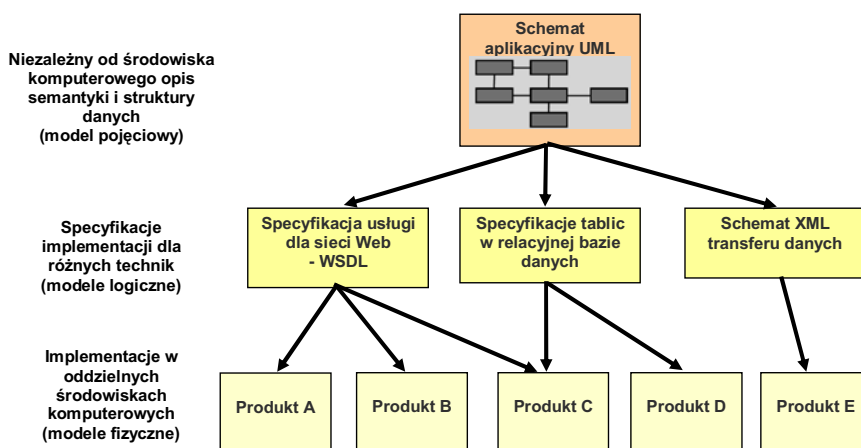
- strategia ukierunkowana na dane (*data-centric view*), polegająca na formułowaniu struktur danych w kategoriach modelowania pojęciowego, tj. jako schematy aplikacyjne i schematy metadanych, oraz
- strategia ukierunkowana na usługi (*service-centric view*), której istotą jest systematyka (taksonomia) usług, koncepcji współdziałania, struktur, katalogów, norm i innych.

Pierwsza strategia opiera się na tzw. koncepcji modelowej danych (*model-driven approach*), opracowanej przez OMG (2003) i przyjętej w normach międzynarodowych i europejskich serii EN-ISO 19100 (CEN/TR 15449:2006), zob. Rys. 1. Według tej

<sup>2</sup> Normy te są sukcesywnie przyjmowane przez Europejski Komitet Normalizacyjny CEN jako normy europejskie (EN) oraz przez Polski Komitet Normalizacyjny jako Polskie Normy (PN)

<sup>3</sup> Geodezyjna Ewidencja Sieci Uzbrojenia Terenu

koncepcji szczegółowa struktura informacji jest opisywana za pomocą ściśle sformalizowanego schematu, niezależnego od środowiska komputerowego. Implementacje tego schematu w różnych środowiskach i za pomocą różnych technik, jak np. poprzez transfer plików XML, usługi w sieci Web czy budowę relacyjnych baz danych, mogą być dokonane poprzez stosowne, ew. zautomatyzowane, przetworzenie takiego schematu, przy czym wszelkie zmiany dotyczące struktur informacyjnych mogą być wprowadzane wyłącznie bezpośrednio do tego schematu, nie zaś bezpośrednio do jego implementacji.



Rys. 1. Strategia budowy SDI oparta na modelu danych<sup>4</sup>

Fig. 1. Strategy of building SDI based on the data model

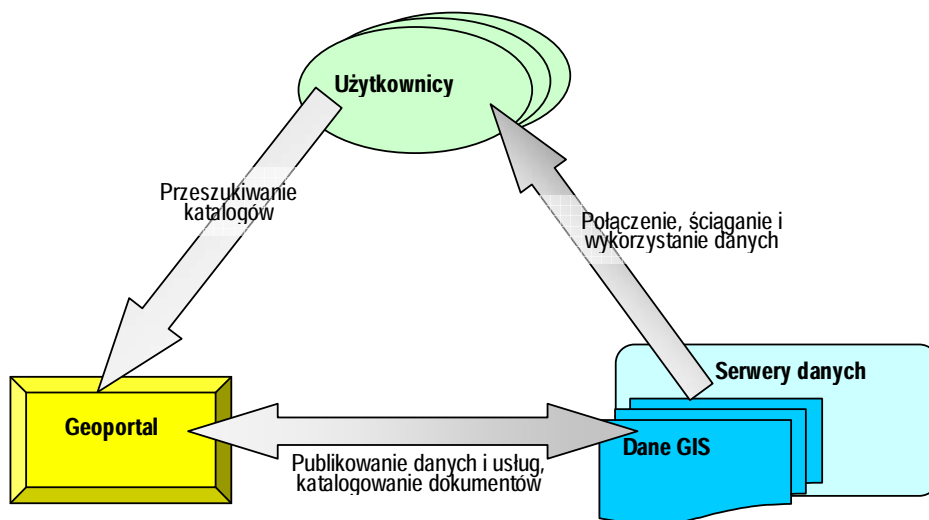
Ta właśnie strategia, w odniesieniu do niektórych elementów wspomnianych produktów geodezyjnych i w aspektach budowy schematu aplikacyjnego, jest przedmiotem niniejszego opracowania. Aspekty te obejmują formalizm i język schematu pojęciowego, reguły budowy schematu aplikacyjnego oraz jego integracji ze schematami znormalizowanymi; są one omówione i zilustrowane przykładami w pp. 0 i 0 poniżej.

W drugim przypadku – strategia usług opiera się na koncepcji tzw. geoportali, z których każdy, będąc sieciowym systemem informacyjnym, stanowi ogniwo pośrednie pomiędzy zbiorem użytkowników – odbiorców usług a zbiorem serwerów dostarczających zarówno określonych danych, jak i samych usług. Te ostatnie są następujących typów: usługi katalogowe (informacja o dostępnych zbiorach danych), usługi obrazowania (reprezentacja kartograficzna danych), usługi przetwarzania (np. przekształcenia współrzędnych, analizy statystyczne, itp.), usługi typu *gazetteer*<sup>5</sup> (wzajemne powiązania identyfikatorów geograficznych i położenia za pomocą współrzędnych), usługi dostępu do danych geograficznych, słowniki źródeł, zapytań i analiz informacji geograficznej. Rola i funkcje geoportalu przedstawione są na Rys. 2.

Szczegóły strategii opartej na usługach nie są przedmiotem niniejszego opracowania.

<sup>4</sup> UML – Unified Modelling Language, XML – eXtensible Markup Language, WSDL – Web Service Description Language

<sup>5</sup> Wykaz nazw geograficznych



Rys. 2. Rola i funkcje geoportalu wg Pichlera [2007]

Fig. 2. The role and meaning of the geoportal [acc to Pichler 2007]

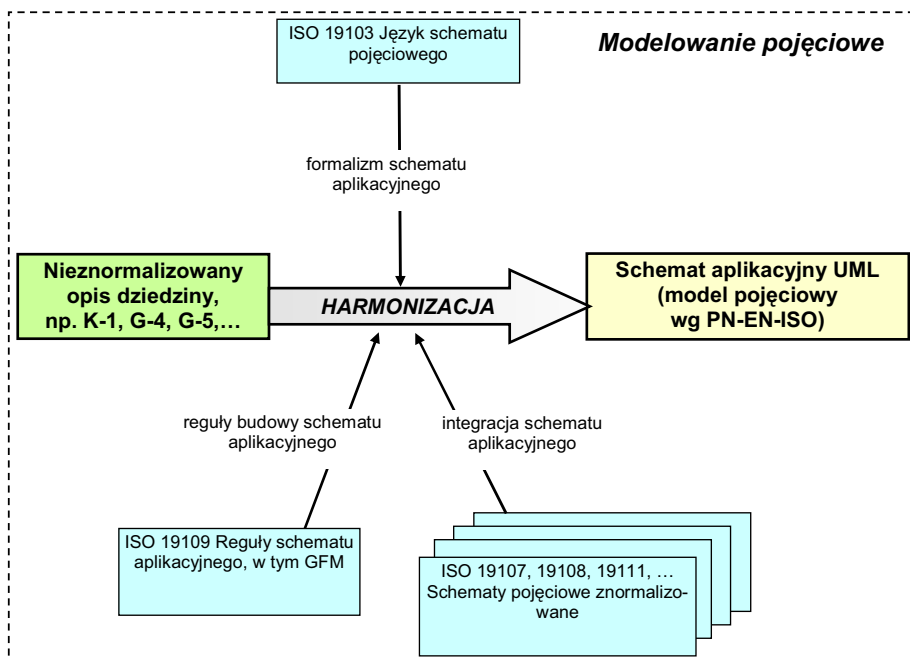
### 3. MODELOWANIE POJĘCIOWE

Obie powyższe strategie wymagają modeli pojęciowych informacji w postaci sformalizowanych, uniwersalnych i niezależnych od środowisk komputerowych schematów aplikacyjnych. Znormalizowana metodologia zaleca stosowanie w tym celu języka UML (ISO 19109:2005, ISO/TS 19103:2005). W obu przypadkach modele takie umożliwiają zarówno poprawne i jednoznaczne rozumienie struktury i zawartości danych w konkretnej dziedzinie tematycznej, jak również stanowią podstawę spójnej, jednoznacznej i zgodnej implementacji takiej struktury w różnych środowiskach i za pomocą odmiennych, także zautomatyzowanych, technik implementacyjnych.

Proces budowy schematu aplikacyjnego składa się według (ISO 19109:2005) z następujących etapów:

- 1) identyfikacja dziedziny tematycznej i przegląd wymagań;
- 2) opracowanie modelu pojęciowego dla danej dziedziny, obejmujące identyfikację typów obiektów, ich właściwości, związków i ograniczeń;
- 3) opisanie tego modelu w przyjętym języku formalnym (tj. jako schemat aplikacyjny UML);
- 4) integracja tak powstałego schematu aplikacyjnego ze schematami znormalizowanymi geometrii i topologii, jakości, opisu położenia i in.

Proces ten, w odniesieniu do dziedzin tematycznych objętych specyfikacjami technicznymi GGK, jest zilustrowany na Rys. 3 poniżej.

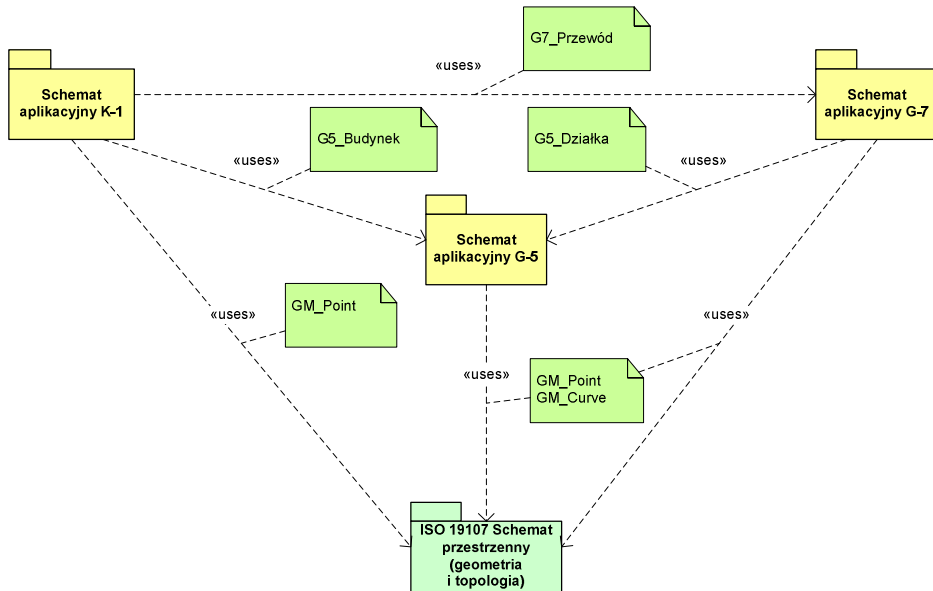


Rys. 3. Proces budowy schematu aplikacyjnego

Fig. 3. Building the application schema

### 3.1. Identyfikacja dziedziny tematycznej

Poszczególne dziedziny tematyczne są zdefiniowane w specyfikacjach GGK zarówno poprzez podanie ich definicji ogólnych (jak np. dziedzina GESUT w §3 w Instrukcji Technicznej G-7), celu i przeznaczenia danego produktu, jak też poprzez szczegółowe i kompletne wyliczenie typów obiektów danej dziedziny wraz z ich właściwościami, ograniczeniami i relacjami w stosunku do innych typów obiektów. Etap identyfikacji dziedziny w modelu pojęciowym polega zatem z jednej strony na opisanu całościowym danej dziedziny za pomocą formalizmu UML (jako diagram pakietów), z drugiej zaś – na wzajemnym zharmonizowaniu tak sformalizowanych definicji poszczególnych dziedzin tematycznych ze sobą (np. pomiędzy G-7 a G-5, K-1, itp.). Przykładowy tryb takiej harmonizacji jest przytoczony na rysunku 4.



Rys. 4. Przykładowy diagram pakietów UML dla harmonizacji schematów aplikacyjnych  
 Fig. 4. Example of UML package diagram for harmonization of the application schema

### 3.2. Model pojęciowy dziedziny

Istotą budowy modelu pojęciowego dla danej dziedziny jest zidentyfikowanie typów obiektów objętych tą dziedziną, typów powiązań pomiędzy obiektami oraz typów właściwości tych obiektów. Norma ISO 19109:2005 podaje szczegółowe reguły definiowania tych koncepcji w formie tzw. **ogólnego modelu obiektów GFM**<sup>6</sup>. GFM jest opisany w ISO 19109:2005 jako diagram klas UML i jest traktowany jako swoisty „metamodel” – ogólny wzorzec dla definiowania typów obiektów oraz budowy schematu pojęciowego. W myśl GFM typ obiektu jest specyfikowany przez zespół następujących właściwości:

- nazwa typu obiektu,
- atrybuty obiektów danego typu,
- role powiązań obiektów, charakterystyczne dla obiektów danego typu,
- określone zachowanie się obiektów danego typu,
- powiązania pomiędzy obiektami tego samego lub różnych typów,
- związki typu generalizacja – specjalizacja względem obiektów innych typów,
- ograniczenia dotyczące typów obiektów.

Opracowanie zgodnych z GFM modeli pojęciowych dla dziedziny odpowiadającej danej specyfikacji technicznej polega na przekształceniu stosownych zapisów tej specyfikacji, różnych co do formy, do jednolitej postaci listy typów obiektów, uwzględniającej wymienione powyżej ich właściwości. Model taki może być przedstawiony w formie tabeli (lub grupy tabel), z odniesieniem do definicji zawartych w instrukcji GGK, jak w przykładach przedstawionych poniżej (zob. tab. 1 i tab. 2).

<sup>6</sup> *General Feature Model*

Tabela 1. Przykładowa lista kilku typów obiektów i atrybutów GESUT w kategoriach GFM  
 Table 1. Examples of some object types and attributes in GFM categories

Typy obiektów Object types Atrybuty Attributes	Rodzaje atrybutów wg GFM Kinds of attributes accord- ing to GFM	Nazwa wg G-7 (kod) i uwagi Name according to the cadastre guidelines G-7 (code) and remarks
<b>BudowlaPodziemna</b>		<b>Budowla podziemna (OBP)</b>
idObiektu	ThematicAttributeType/	identyfikator obiektu ( IDB)
geometriaObiektu	SpatialAttributeType	geometria obiektu – obszar spójny ograni- czony łamaną uogólnioną zamkniętą
nazwaBranzowaObiektu	ThematicAttributeType	nazwa branzowa obiektu ( NAZ)
nrAdresowy	ThematicAttributeType	numer adresowy ( UNR)
nrDziałki	ThematicAttributeType	numer działki ( DNR)
rodzBudowli	ThematicAttributeType	rodzaj budowli podziemnej ( RDZ)
rzednaArmaturyGorna	LocationAttributeType	rzędna armatury górna ( RAG)
rzednaArmaturyDolna	LocationAttributeType	rzędna armatury dolna ( RAD)
zrodloDanychOPolozeniu	ThematicAttributeType	źródło danych o położeniu ( ZRD)
material	ThematicAttributeType	materiał ( MAT)
<b>Budowla Podziemna Projektowana</b>		<b>Budowla podziemna projektowana (OBQ)</b>
idObiektu	ThematicAttributeType	identyfikator obiektu ( IDB)
geometriaObiektu	SpatialAttributeType	geometria obiektu – obszar spójny ograni- czony łamaną uogólnioną zamkniętą
nazwaBranzowaObiektu	ThematicAttributeType	nazwa branzowa obiektu ( NAZ)
nrAdresowy	ThematicAttributeType	numer adresowy ( UNR)
nrDziałki	ThematicAttributeType	numer działki ( DNR)
rodzBudowli	ThematicAttributeType	rodzaj budowli podziemnej ( RDZ)
rzednaArmaturyGorna	LocationAttributeType	rzędna armatury górna ( RAG)
rzednaArmaturyDolna	LocationAttributeType	rzędna armatury dolna ( RAD)
nrProtokoluZUDP	ThematicAttributeType	numer protokołu ZDUP ( ZNR)
<b>Administrator</b>		<b>Administrator (OAD)</b>
identyfikatorObiektu	ThematicAttributeType	identyfikator obiektu ( IDA)
nazwa	ThematicAttributeType	nazwa ( NZA)
nazwisko	ThematicAttributeType	nazwisko ( NOW)
imie	ThematicAttributeType	imię ( IAD)
regon	ThematicAttributeType	REGON ( REG)
pesel	ThematicAttributeType	PESEL ( PES)
kodAdresowy	LocationAttributeType	kod adresowy ( KOD)
miescowosc	LocationAttributeType	miejsowość ( MIA)
nrAdresowy	LocationAttributeType	numer adresowy ( UNR)
nrTelefonu	ThematicAttributeType	numer telefonu ( TEL)
nrTelefaxu	ThematicAttributeType	numer telefaxu ( FAX)
notatka	ThematicAttributeType	notatka ( NTK)
<b>Ulica</b>		<b>Ulica (OUL)</b>
identyfikatorUlicy	ThematicAttributeType	identyfikator ulicy ( IUL)
ObszNieSpLamUog	SpatialAttributeType	obszar niespójny ograniczony łamaną uogólnioną zamkniętą
nazwaUlicy	ThematicAttributeType	nazwa ulicy ( NAZ)
<b>Przewod</b>		<b>Przewód</b>
idPrzewodu	ThematicAttributeType	identyfikator przewodu ( IDP)
nazwaBranzowa	ThematicAttributeType	nazwa branzowa ( NAZ)
funkcjaPrzewodu	ThematicAttributeType	funkcja przewodu ( FUN)
statusPrzewodu	ThematicAttributeType	status przewodu ( STA)
<b>OdcinekPrzewodu</b>		<b>Odcinek przewodu</b>
idOdcinka	ThematicAttributeType	identyfikator odcinka ( IDO)
nazwaBranzowa	ThematicAttributeType	nazwa branzowa ( NAZ)
nrOdcinkaWPrzewodzie	ThematicAttributeType	numer odcinka w przewodzie ( ONR)

<sup>7</sup> Zachowane tutaj oryginalne nazwy typów atrybutów według GFM (ISO 19109:2005) oznaczają: ThematicAttributeType – atrybut tematyczny (opisowy), SpatialAttributeType – atrybut przestrzenny (geometryczny lub topologiczny), LocationAttributeType – atrybut dot. położenia. Pozostałymi ty-  
pami atrybutów, zdefiniowanymi w GFM, są: TemporalAttributeType – atrybut czasowy, Metada-  
taAttributeType – atrybut metadanych oraz QualityAttributeType – atrybut jakościowy

Tabela 2. Przykład relacji między obiektami GESUT  
Table 2. Example of relations between GESUT objects

	Budowla Podziemna Underground- Building	Administrator Manager	Ulica Street	Przewod Channel	OdcinekPrzewodu ChannelSegment
Budowla Podziemna Underground- Building		jest administro- wana przez	jest położona na obszarze		
Administrator Manager	<i>administruje</i>		jest położony na obszarze	<i>administruje</i>	
Ulica Street	<i>zawiera</i>	jest administro- wana przez		<i>zawiera</i>	
Przewod Channel		jest administro- wany przez	jest położony na obszarze		<i>składa się z</i>
Odcinek Przewodu ChannelSegment				wchodzi w skład	

Czcionką prostą zaznaczono relacje w brzmieniu instrukcji G-7, podczas gdy *kursywą* – relacje niewystępujące w instrukcji G-7.

Podobne tabele powinny być sporządzone dla innych właściwości typów obiektów.

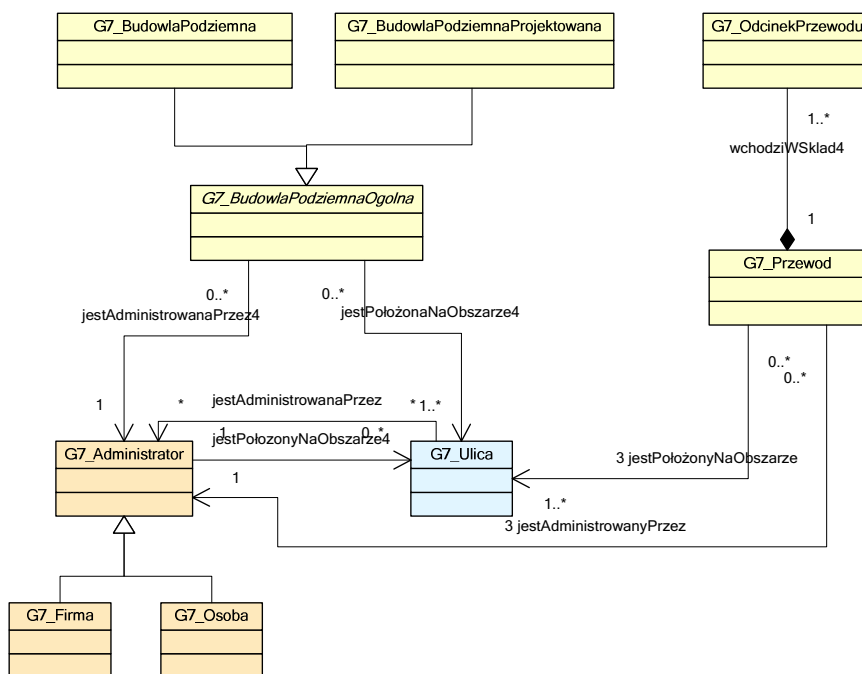
### 3.3. Sformalizowany opis schematu aplikacyjnego

Kolejny etap obejmuje przekształcenie modelu pojęciowego na schemat aplikacyjny w postaci diagramu klas w języku UML. Zapis w tym języku zapewnia jednoznaczność i spójną reprezentację modelu, ułatwiającą jego implementację. Zaleca się stosowanie tzw. profilu (podzbioru) UML, zdefiniowanego w specyfikacji technicznej ISO/TS 19103:2005 i wprowadzającego m.in. następujące główne ograniczenia w stosunku do standardu UML (ISO/IEC 19501-1):

- 1) Diagramy klas winny zawierać kompletne definicje atrybutów, powiązań i operacji, jak również stosowne definicje typów danych.
- 2) Podstawowe typy danych obejmują:
  - typy proste dla reprezentacji wartości, np. CharacterString, Integer, Date itp.;
  - typy implementacyjne i zbiorowe – reprezentacja struktur danych, np. nazwy i rekordy, jak również reprezentacja wielokrotnych wystąpień innych typów danych, np. Bag, Set, Sequence;
  - typy pochodne – typy i jednostki miar, np. Angle, Scale, UomAngle itp.
 Pełna lista podstawowych typów danych zawarta jest w ISO/TS 19103:2005.
- 3) Liczności winny być zdefiniowane na obu końcach powiązań.
- 4) Definiuje się następujące stereotypy dodatkowe:
  - <<CodeList>>: typ wliczeniowy wartości łańcuchowych;
  - <<Leaf>>: pakiet niezawierający podpakietów;
  - <<Union>>: typ zawierający dokładnie jedną spośród wielu możliwości.
- 5) Spośród reguł dotyczących budowania nazw klas, atrybutów, operacji itp. do najważniejszych należą:

- nazwy powinny być precyzyjne i zrozumiałe;
- w nazwach atrybutów, operacji, ról i parametrów każde słowo wchodzące w skład nazwy, z wyjątkiem pierwszego, winno rozpoczynać się dużą literą; w przypadku nazw klas i pakietów również pierwsze słowo winno rozpoczynać się dużą literą; poszczególne słowa powinny następować bezpośrednio po sobie, bez znaków rozdzielających;
- nazwa każdej klasy winna rozpoczynać się od dwuliterowego skrótu nazwy pakietu, zawierającego daną klasę; skrót ten, złożony z dużych liter, winien być oddzielony znakiem podkreślenia od pozostałej części nazwy (np. GM\_Point - klasa w pakiecie geometrii w normie ISO 19107).

W myśl powyższych reguł następuje przekształcenie modelu pojęciowego do postaci diagramu (lub diagramów) klas UML wraz z uzupełnieniem o specyfikacje typów danych dla atrybutów i operacji, liczości powiązań, sformułowanie niezbędnych stereotypów, ograniczeń itp. Przykładowy uproszczony diagram klas dla fragmentu modelu GESUT na podstawie Instrukcji Technicznej G-7 podany jest na rysunku 5.



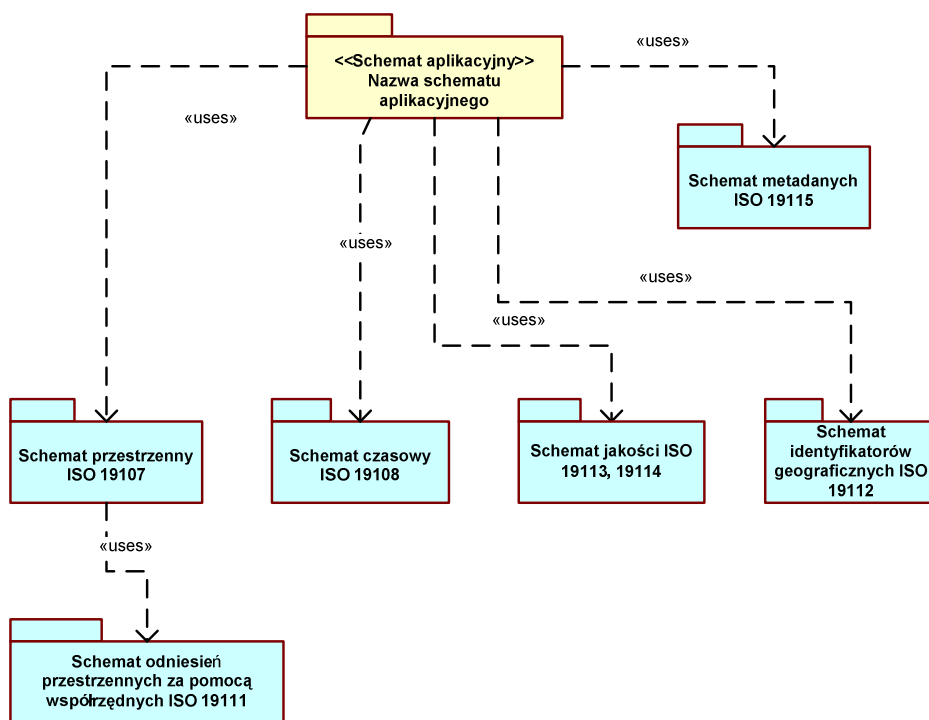
Rys. 5. Uproszczony przykładowy diagram klas dla fragmentu modelu GESUT  
Fig. 5. Simple example of class diagram for the part of the GESUT model

### 3.4. Mechanizmy integracji ze schematami znormalizowanymi

Istota integracji schematu aplikacyjnego ze schematami znormalizowanymi sprowadza się wykorzystania w danym schemacie zawartych w normach schematów pojęciowych (lub ich fragmentów) dla typowych i często stosowanych zagadnień na zasadzie podobnej, jak w programach obliczeniowych wykorzystuje się biblioteki podprogramów



i procedur. Istotę tę ilustruje rysunek 6, na którym za pomocą diagramu pakietów wyrażono wykorzystanie różnych schematów zawartych w normach w budowanym schemacie aplikacyjnym. Należy zauważyć, że pojęciowo i formalnie jest to ten sam mechanizm, który przedstawiono w p. 0 i na Rys. 4 jako tryb wzajemnej harmonizacji różnych schematów użytkownika.



Rys. 6. Przykład integracji schematu aplikacyjnego ze schematami znormalizowanymi

Fig. 6. Example of application schema integration with standard schemas

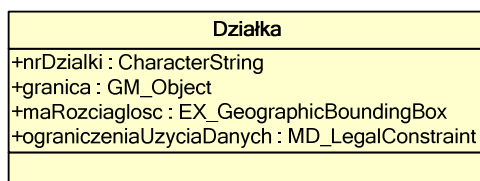
Istnieje kilka metod pozwalających powiązać dany schemat aplikacyjny użytkownika z dowolnym innym schematem, w tym ze schematem znormalizowanym, przy czym przeważnie jest to powiązanie, ukryte lub jawne, odpowiednich klas obu schematów. Do najprostszych spośród tych metod należą:

- 1) Przywołanie klasy ze schematu znormalizowanego w roli typu danych atrybutu w budowanym schemacie zilustrowane na rysunku 7. Typy danych *GM\_Object*<sup>8</sup>, *EX\_GeographicBoundingBox*<sup>9</sup> i *MD\_LegalConstraint*<sup>10</sup> pochodzą odpowiednio z pakietu geometrii w ISO 19107 Schemat przestrzenny oraz z pakietów rozciągłości i metadanych w ISO 19115 Metadane.

<sup>8</sup> Obiekt geometryczny

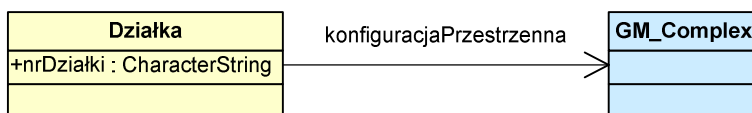
<sup>9</sup> Rozciągłość geograficzna (wschód – zachód, północ – południe)

<sup>10</sup> Ograniczenia prawne



Rys. 7. Przykład przywołania klas ze schematów standardowych w roli typów danych atrybutów  
 Fig. 7. Example of calling classes\_of a standard schema as attribute data\_types

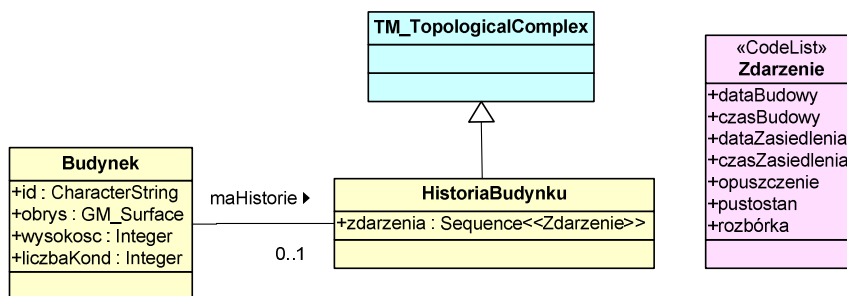
- 2) Połączenie klasy w budowanym schemacie z odpowiednią klasą schematu standardowego za pomocą związku powiązania, agregacji, kompozycji lub zależności, jak na rysunku 8.



Rys. 8. Przykład powiązania klasy w schemacie budowanym z klasą schematu standardowego  
 Fig. 8. Example of association\_between a\_class of user\_schema and a class of standard\_schema

Konfiguracja przestrzenna klasy działka jest opisana za pomocą klasy GM\_Complex w schemacie przestrzennym ISO 19107.

- 3) Wyprecyzowanie klasy w budowanym schemacie jako specjalizacji klasy schematu standardowego z użyciem związku dziedziczenia (generalizacji). Nowa klasa podtypu dziedziczy wszystkie właściwości (atrybuty, operacje, ograniczenia i związki) klasy nadtypu, a ponadto umożliwia wyprecyzowanie własnych właściwości. Jest to zatem integracja rozszerzająca zasób informacji klasy znormalizowanej (Rys. 9).



Rys. 9. Przykład specyfikacji klasy jako specjalizacji klasy standardowej  
 Fig. 9. Example of a\_class in an user schema specified\_as a specialization\_of\_the standard class

Przykład ten opisuje historię budynku HistoriaBudynku w postaci ciągu zdarzeń, zdefiniowanych jako wyliczeniowy typ danych Zdarzenie. Oprócz tego klasa HistoriaBudynku zdefiniowana jest jako specjalizacja („szczególny przypadek”) klasy TM\_TopologicalComplex, pochodzącej z pakietu (modelu) czasowego normy ISO 19108:2002 Schemat czasowy.

- 4) Ograniczenie schematu standardowego poprzez wyspecyfikowanie tzw. profilu jako nowego pakietu zawierającego kopie klas i związków z tego schematu, z pominięciem zbędnych atrybutów i operacji. Profil taki winien przy tym spełniać warunki zgodności podane w normie źródłowej.
- 5) Połączenie powyższych czterech metod integracji.

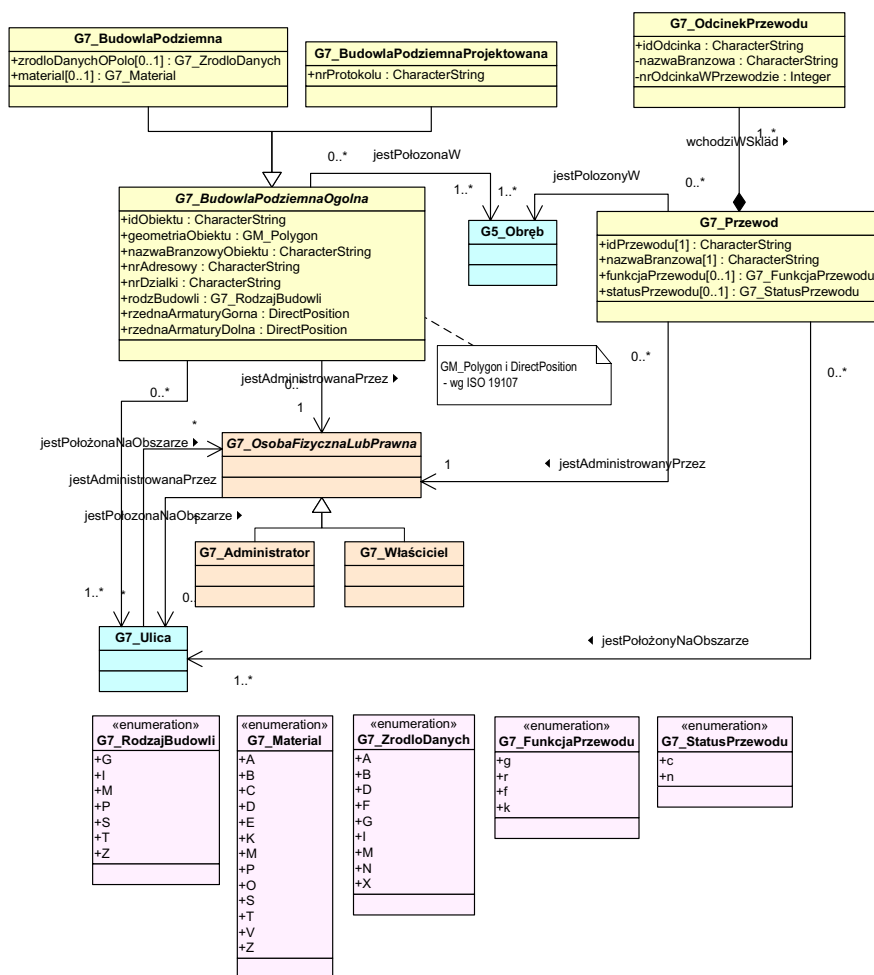
Norma ISO 19109:2005 podaje bardziej szczegółowe reguły integracji schematu aplikacyjnego użytkownika ze schematami metadanych, jakości danych, odniesień czasowych, geometrii i topologii oraz identyfikatorów geograficznych. Należy przy tym zauważyć (zob. Rys. 6), że integracja ze schematem odniesień przestrzennych za pomocą współrzędnych następuje za pośrednictwem schematu przestrzennego (geometria i topologia).

Zastosowanie powyższych metod integracji do modeli informacyjnych, definiowanych w specyfikacjach G GK, zilustrowane jest przykładami w p. 0 poniżej.

#### **4. INTEGRACJA PROSTYCH SCHEMATÓW APLIKACYJNYCH WEDŁUG SPECYFIKACJI G GK ZE SCHEMATAMI ZNORMALIZOWANYMI**

Zmodyfikowany i rozbudowany fragment schematu GESUT, uwzględniający integrację ze schematami standardowymi oraz harmonizację z innymi schematami tematycznymi G GK, przedstawiony jest na Rys. 10. Opracowując ten schemat dążono do zachowania pełnej zgodności merytorycznej z zapisami Instrukcji Technicznej G-7. W schemacie tym zastosowano m.in. następujące rozwiązania metodyczne integracji i harmonizacji:

- 1) Utworzenie abstrakcyjnych klas nadtypów `G7_BudowlaPodziemnaOgolna` i `G7_OsobaFizycznaLubPrawna` w celu uniknięcia powtarzających się grup atrybutów, operacji i związków.
- 2) Jako typy danych atrybutów `+geometriaObiektu` oraz `+rzednaArmaturyGorna` i `+rzednaArmaturyDolna` przywołuje się klasy `GM_Polygon` i `DirectPosition` z pakietu `GM` schematu przestrzennego według normy ISO 19107.
- 3) Dla szeregu atrybutów, jak np. `+zrodloDanychOPolo`, `+rodzBudowli`, `+funkcjaPrzewodu` i in. definiuje się własne typy danych w budowanym schemacie jako typy wyliczeniowe `<<enumeration>>` (znaczenia kodów według G-7 są tutaj pominięte).
- 4) Zgodnie z G-7 położenie budowli podziemnej i przewodu podziemnego w obrębie zdefiniowano poprzez odwołanie do klasy `G5_Obreb`, przyjmując jej istnienie w potencjalnym pakiecie ewidencji gruntów i budynków zbudowanym według Instrukcji Technicznej G-5. Jest to zatem element harmonizacji definicji obrębu według instrukcji G-5 i G-7, który jednocześnie implikuje zapisaną w G-7 relacje budowli i położenia względem obrębu. (Zachowano jednak odniesienie budowli do działki w postaci atrybutu `+nrDzialki`).



Rys. 10. Przykładowy diagram niektórych klas GESUT rozbudowany o powiązania z innymi schematami oraz o atrybuty i typy danych

Fig. 10. Example of some GESUT classes associated with classes of other schemas.

## 5. WNIOSKI KOŃCOWE

1. Budowa wewnętrznie spójnych krajowych infrastruktur danych przestrzennych, jak też wymagania co do ich zgodności z regułami implementacyjnymi programu INSPIRE jako składnika infrastruktur europejskich, czynią nieodzownym dostosowanie polskich przepisów wykonawczych prac geodezyjnych (instrukcji i wytycznych technicznych GGK) do zapisów stosownych norm międzynarodowych, europejskich i krajowych w dziedzinie informacji geograficznej.
2. Omawiane normy opisują jedynie metodologię i formalizm budowy i opisu modeli tematycznych, nie dotyczą zaś ich treści merytorycznych. Stąd to dostosowanie przepisów technicznych nie obejmuje zmian koncepcyjnych w zakresie poszczególnych

- produktów geodezyjnych – składników SDI i polega głównie na ich opisanu za pomocą sformalizowanych środków informatycznych.
3. Sformalizowane schematy aplikacyjne produktów pozwalają stwierdzić wewnętrzne niespójności, luki, braki i błędy merytoryczne aktualnych przepisów (np. niespójne definicje pewnych typów obiektów w różnych instrukcjach i wytycznych czy brakujące lub niespójne atrybuty i związki obiektów i inne). Formalizacja modeli tematycznych według znormalizowanych zasad pozwala redukować tego typu uchybienia merytoryczne, przez co zapewnia wewnętrzną spójność i kompletność rozwiązań pojęciowych, jak też wzajemną zgodność i spójność pakietów tematycznych.
  4. Sformalizowane schematy aplikacyjne stanowią podstawę dla zgodnych implementacji modeli danych przestrzennych w zróżnicowanych środowiskach komputerowych, przedmiotowych, instytucjonalnych i innych, co jest warunkiem koniecznym współdziałania rozproszonych SDI.
  5. Postulowana tutaj harmonizacja przepisów technicznych z normami nie pociąga za sobą konieczności zasadniczych zmian w istniejących strukturach informacyjnych, lecz jedynie ich dostosowanie do zmodyfikowanych modeli. W szczególności nie pociąga za sobą konieczności pozyskiwania nowych danych źródłowych (np. w drodze nowego pomiaru), lecz jedynie m.in. zmian w strukturach zasobu geodezyjnego i kartograficznego.

## PIŚMIENNICTWO

- Annoni A., Smits P., 2005. Towards a Directive establishing an Infrastructure for Spatial Information in Europe (INSPIRE). CEN/TC287 WG5 meeting, 17 March 05.
- CEN/TR 15449, 2006. Geographic information – Standards, specifications, technical reports and guidelines, required to implement Spatial Data Infrastructure. CEN/TC 287 N 1124, 2006-07.
- Dyrektywa INSPIRE, 2007. Dyrektywa 2007/2/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 14 marca 2007 r. ustanawiająca infrastrukturę informacji przestrzennej we Wspólnocie Europejskiej (INSPIRE). [http://www.gugik.gov.pl/gugik/w\\_pages/w\\_doc\\_idx.php?loc=69](http://www.gugik.gov.pl/gugik/w_pages/w_doc_idx.php?loc=69).
- Gaździcki J., 2007a. Problematyka transpozycji dyrektywy INSPIRE do prawa polskiego. [http://www.gugik.gov.pl/gugik/w\\_pages/w\\_doc\\_idx.php?loc=69](http://www.gugik.gov.pl/gugik/w_pages/w_doc_idx.php?loc=69).
- Gaździcki J., 2007b. INSPIRE jako przedmiot współpracy międzyresortowej w Polsce. [http://www.gugik.gov.pl/gugik/w\\_pages/w\\_doc\\_idx.php?loc=69](http://www.gugik.gov.pl/gugik/w_pages/w_doc_idx.php?loc=69).
- Instrukcje GGK, 2007. Instrukcje i wytyczne techniczne (wykaz), GUGiK, [http://www.gugik.gov.pl/gugik/w\\_pages/w\\_doc\\_show.php?loc=46&doc=55](http://www.gugik.gov.pl/gugik/w_pages/w_doc_show.php?loc=46&doc=55).
- ISO 19109, 2005. Geographic information — Rules for application schema. ISO 2005.
- ISO/IEC 19501-1:2005: Information technology – Open Distributed Processing – Unified Modeling Language (UML) Version 1.4.2.
- ISO/TS 19103, 2005. Geographic information — Conceptual schema language. ISO 2005.
- OMG, 2003. Object Management Group, Model Driven Architecture, Guide Version 1.0.1. <http://www.omg.org/mda/>.
- Østensen O., 2004. Report at 18th plenary meeting of CEN/TC 287 – an update since last CEN/TC 287 plenary. ISO/TC 211
- Pachelski W., 2005. Problematyka normalizacji w dziedzinie informacji geograficznej. Roczniki Geomatyki, t. III, z. 3, Warszawa, ss. 37–46.
- Pichler G., 2007. GeoPortals: Approaches and European Best Practices. 13th EC GI & GIS Workshop, Porto, Portugalia.
- Smits P., 2002. Infrastructure for Spatial Information in Europe (INSPIRE), Architecture and Standards Position Paper. <http://inspire/jrc/it>.

## CONCEPTUAL MODELS OF SOME GEODETIC COMPONENTS OF THE SPATIAL DATA INFRASTRUCTURE

**Abstract.** As geodetic components of the SDI there are here understood those products of geodetic activities, which are specified w.r.t. their characteristics and methodological, technological, qualitative, legal and other requirements in technical guidelines of the Surveyor General. To this kind of products belong those, for which in fact the guidelines informally define information models such as base map, topographic map, cadastre, registry of utilities (GESUT), reference networks, geodetic and cartographic repositories, and others. In most cases they serve as reference data for localization of objects in geographic information systems.

This report is devoted to some concepts of harmonization and integration of solutions contained in the guidelines with standard principles, according to ISO series 19100 standards, conceptual schemas for geometry and topology, for describing object positions, for temporal aspects, for data quality and for metadata. Such harmonization is required to provide internal interoperability of national SDI elements, as well as because of crucial character of the national reference data for the ESDI.

**Key words:** conceptual model, application schema, SDI, reference data, technical, guidelines

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 18.12.2007



## **MODEL CIĄGŁY SIECI NEURONOWEJ TYPU HOPFIELDA W ZASTOSOWANIU DO OSZACOWANIA STABILNOŚCI PUNKTÓW SIECI GEODEZYJNEJ PIONOWEJ POMIAROWO-KONTROLNEJ**

Józef Gil, Maria Mrówczyńska,  
Sławomir Gibowski

Uniwersytet Zielonogórski

**Streszczenie.** W artykule zawarto propozycję selekcji punktów sieci geodezyjnej pionowej pomiarowo-kontrolnej, które wykazują stabilność w czasie realizacji pomiarów. Procedura identyfikacji punktów o wzajemnej stabilności polega na określeniu poziomów energetycznych sieci neuronowej Hopfielda o minimalnej wartości. W minimum energetycznym sieć osiąga atraktor jako stan końcowy układu dynamicznego. Określenie przebiegów czasowych dojścia poszczególnych zmian różnic wysokości do odpowiedniego atraktora oraz badania zachowania się sąsiednich trajektorii zmian różnic wysokości na podstawie wyznaczonych wykładników Lapunowa umożliwiają identyfikację punktów o stwierdzonej stałości i stanowią zagadnienie poruszone w niniejszej pracy.

**Słowa kluczowe:** dynamika układu, atraktory, wykładniki Lapunowa

### **WSTĘP**

Monitoring geodezyjny sprowadza się często do określenia dynamiki zjawiska nierównomiernych osiadań budowli posadowionych na gruntach ekspansywnych. Wielkość dopuszczalnych różnic osiadań wywołanych trwałym odkształceniem podłoża stanowi wyjściowe kryterium w procesie projektowania budowli. Przyczyną odkształceń trwałych jest zmiana objętości gruntu lub przemieszczenie mas gruntowych.

Monitoring geodezyjny wymaga zastosowania, oprócz odpowiedniego sprzętu pomiarowego, odpowiednich metod przetwarzania wyników danych eksperymentalnych w celu prawidłowego oszacowania przemieszczeń [Prószyński, Kwaśniak, 2006]. Oszacowanie wiarygodnych przemieszczeń polega na wyselekcjonowaniu punktów o istotnych przemieszczeniach oraz punktów zachowujących stabilność w okresie wykonywanych pomiarów. Tego rodzaju problem pojawia się w sytuacji braku możliwości nawią-

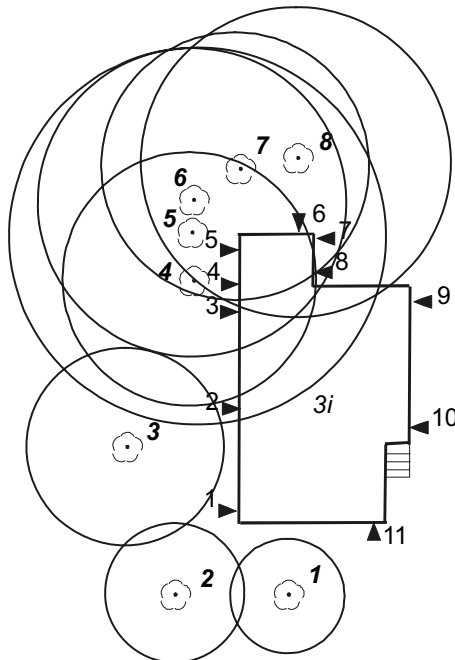


zania sieci do punktów wzajemnie stabilnych, położonych poza obszarem wpływów, jakie wywołują deformacje badanego obiektu [Wolski 2006].

W artykule zawarto propozycję wykorzystania sieci neuronowej Hopfielda do oceny stabilności punktów sieci geodezyjnej pomiarowo-kontrolnej, narażonej na działanie czynników uaktywniających ekspansywność gruntów.

## PRZEBIEG BADAŃ

Dynamikę zjawiska nierównomiernych osiadań wywołanego zmianą reżimu hydrotechnicznego zaobserwowano na podstawie danych eksperymentalnych w postaci wartości przemieszczeń punktów pomiarowych. Zakresem badań został objęty budynek posadowiony na gruntach ekspansywnych, który był reprezentowany przez 11 punktów, zastabilizowanych w obrębie fundamentu budynku. Dokonano 13 pomiarów okresowych w równoodległych interwałach czasu jednego miesiąca. Dane doświadczalne uzupełnione zostały informacją na temat intensywności opadów atmosferycznych odpowiadających epokom pomiarowym oraz zasięgu strefy wpływu wysokich drzew (lipy, dęby), które w procesie transpiracji wywołują zmiany wilgotności podłoża gruntowego. Miesięczne zapotrzebowanie pojedynczego drzewa na wodę do transpiracji zależy od pory roku i wynosi maksymalnie: wiosną 15%, latem 25%, jesienią 5% rocznego zapotrzebowania na wodę [Praca zbiorowa pod redakcją Jerzego Przysiańskiego 1991].



Rys. 1. Szkic lokalizacji punktów pomiarowych na budynku w otoczeniu drzew (lipa, dąb)

Fig. 1. The outline of location of measuring points on a building surrounded by trees (lindens, oaks)

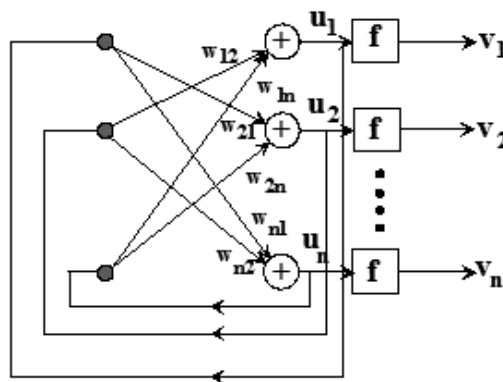
Do rozwiązywania problemów praktycznych można przyjąć, że strefa wpływu pojedynczego drzewa na zmiany wilgotności podłoża ma kształt odwróconego stożka o podstawie w przybliżeniu kołowej, przy czym promień koła wynosi około 1,5 wysokości drzewa.

Szkic lokalizacji punktów pomiarowych na budynku oraz lokalizacja drzew obok budynku w warunkach swobodnego wzrostu z zaznaczeniem strefy wpływów przedstawiono na rysunku 1. Zauważmy, że punkty 10 i 11 zostały zlokalizowane poza strefą wpływu zmian reżimu hydrotechnicznego (wpływ wysokich drzew).

## MODEL CIĄGŁY SIECI NEURONOWEJ HOPFIELDA W ZASTOSOWANIU DO OCENY STABILNOŚCI PUNKTÓW SIECI GEODEZYJNEJ

Przemieszczenia punktów pomiarowych reprezentujących badany obiekt opisano dwoma modelami statycznymi sieci kontrolnej w zależności od sposobu definiowania własnego układu odniesienia dla badanego obiektu.

Według koncepcji autorów układ odniesienia może zostać zdefiniowany na podstawie identyfikacji takich zaobserwowanych zmian różnic wysokości, których wartości nie ulegają istotnej zmianie w interwale czasu prowadzonych badań. Do oceny intensywności zmian różnic wysokości wykorzystano sieć neuronową Hopfielda, której schemat realizujący model sieci ciągłej ilustruje rysunek 2.



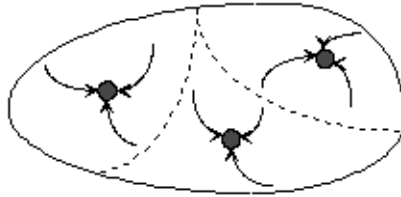
Rys. 2. Schemat sieci neuronowej typu Hopfielda

Fig. 2. The diagram of a neural network of Hopfield's type

W celu weryfikacji metody identyfikacji punktów odniesienia zaproponowanej przez autorów układ odniesienia definiowano metodą tradycyjną na podstawie wyrównań zmian różnic wysokości oraz minimalizacji sumy odchyleń bezwzględnych [Gil 1995], zaś ostateczne wartości przemieszczeń w obu przypadkach uzyskano na podstawie wyrównania zmian różnic wysokości z warunkiem na niewiadome (suma przemieszczeń punktów odniesienia równa zero).

Najogólniej można powiedzieć, że wykorzystanie sieci neuronowych typu Hopfielda do rozwiązania postawionego zadania wymaga realizacji procesu uczenia sieci, który polega na ukształtowaniu obszarów przyciągania (atrakcji) poszczególnych punktów

równowagi odpowiadających danym uczącym. Dla różnych inicjujących wektorów układ może ewaluować ku różnym stanom końcowym zwanym *atraktorami*. Podział przestrzeni na regiony atrakcji dla 3 atraktorów przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Ilustracja przestrzeni atraktorów  
Fig. 3. The picture of attractors' space

W rozwiązaniu zagadnienia stabilności punktów sieci pomiarowo-kontrolnej przyjmujemy model ciągły sieci neuronowej (pracę sieci opisują równania różniczkowe), w której sygnały wyjściowe mogą przyjmować dowolne wartości z zakresu  $(-1, 1)$  jako wartości bipolarnej funkcji aktywacji o postaci  $f(x) = \tanh(\alpha x)$ . Jeżeli sygnały analogowe oznaczymy przez  $v_i$ , wówczas [Osowski 1996]:

$$v_i = f(u_i) = f\left(\sum_{j=1}^n W_{ij} v_j\right), \quad (1)$$

gdzie  $W_{ij}$  ( $i=1,2,\dots,n, j=1,2,\dots,n$ ) jest zdefiniowaną macierzą wag. Dla układu w stanie ustalonym zachodzi równość:

$$-v_i + f\left(\sum_{j=1}^n W_{ij} v_j\right) = 0. \quad (2)$$

Jeżeli w stanie ustalonym równanie sieci napiszemy w postaci:

$$-u_i + \sum_{j=1}^n W_{ij} v_j = 0 \quad (3)$$

wówczas stan dynamiczny sieci można opisać równaniem różniczkowym:

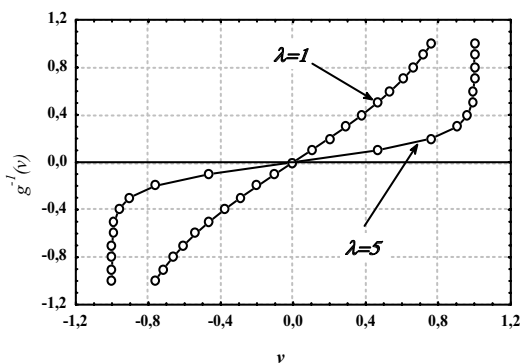
$$\tau_i \frac{du_i}{dt} = -u_i + \sum_{j=1}^n W_{ij} f(u_j) \quad (4)$$

gdzie  $\tau_i$  oznacza stałą czasową procesu adaptacyjnego (krok czasowy metody). W stanie ustalonym zmiany  $u_i$  oraz  $v_i$  są zerowe i sieć znajduje się w stanie równowagi.

W procesie analizy sztucznych sieci neuronowych często stosowanym pojęciem jest pojęcie funkcji energetycznej. Funkcja energetyczna sieci neuronowej w procesie dopasowania do wzorca maleje lub pozostaje stała. Dla sieci analogowej Hopfield zdefiniował funkcję energetyczną w postaci:

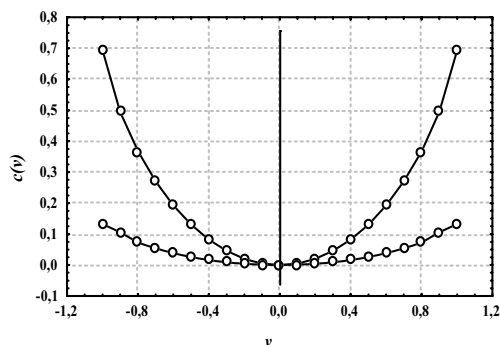
$$E = -\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} v_i v_j + \sum_{i=1}^n \int_0^{v_i} g^{-1}(v) dv \tag{5}$$

w której  $v_i = f(u_i)$ . Funkcja energetyczna (5) jest funkcją nierosnącą w czasie (*funkcja Lapunowa*), zaś symbol  $g$  oznacza funkcję odwrotną  $v = \frac{1}{2} \ln\left(\frac{1+y}{1-y}\right) / \lambda$  funkcji aktywacji  $y = \tanh(\lambda v)$  [Mańdziuk 2000].



Rys. 4. Wykres funkcji  $g^{-1}$  dla różnych wartości  $\lambda$  w funkcji  $g$

Fig. 4. The graph of a function  $g^{-1}$  for different values  $\lambda$  in the function  $g$



Rys. 5. Wykres całki  $c(v)$  w granicach całkowania dla różnych wartości  $\lambda$  w funkcji  $g$

Fig. 5. The graph of integral  $c(v)$  in the integration limit for different values  $\lambda$  in the function  $g$

W procesie dopasowania wektora wejściowego do jednego z zapamiętanych wzorców funkcja energetyczna osiąga minimum lokalne w jednym z atraktorów.

Przedstawiony na rysunku 2 schemat sieci neuronowej Hopfielda wskazuje, że sieć jest typu rekurencyjnego, której charakterystycznym przedstawicielem jest pamięć autoasocjacyjna. Zasadniczym zadaniem pamięci autoasocjacyjnej jest zapamiętanie określonego zbioru wzorców uczących w taki sposób, aby podczas prezentacji nieznanego wzorca układ mógł wygenerować jeden z zapamiętanych wzorców, który jest najbliższym położony w sensie odległości Hamminga względem wzorca testowanego.

Z tego względu istotnym parametrem pamięci autoasocjacyjnej jest jej pojemność, czyli zdolność do efektywnego zapamiętania określonej liczby wzorców. Pojęcie pojemności jest związane z parametrem:

$$c_i^{(l)} = -x_i^{(l)} \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq l}}^p x_i^{(k)} x_j^{(k)} x_j^{(l)} \tag{6}$$

zwanym przesłuchem (składnik szumowy). Jeżeli dla  $l$ -tego wzorca uczącego parametr  $c_i^{(l)} < 1$ , wówczas pomimo pewnej niezgodności bitów składowa  $x_i^{(l)}$  jest stabilna, ponieważ składnik przesłuchu  $c_i^{(l)}$  ma ten sam znak co  $x_i^{(l)}$ . Niestabilność rozumiana jako zmiana stanu wyjściowego neuronu pojawia się wówczas, gdy nastąpi przekroczenie maksymalnej pojemności pamięci. Rozkład wartości parametru  $c_i^{(l)}$  jest rozkładem dwumianowym, który dla dużych wartości  $np$  zbliża się do rozkładu normalnego. Wartość prawdopodobieństwa:

$$\omega = P(c_i^{(l)} > 1) \quad (7)$$

wzrasta równocześnie ze wzrostem zapamiętanych wzorców  $p$  oraz wymiarem  $n$  wektora  $x$ .

### DYNAMIKA SIECI W POBLIŻU ATRAKTORA

Rozważymy rozwiązanie systemu w czasie  $t$  w pobliżu atraktora, przyjmując:  $u_i^*$  – atraktor,  $u_i$  – aktualny punkt działania systemu (punkt pracy). Zatem możemy napisać, że:

$$u_i = u_i^* + \delta_i \quad (8)$$

gdzie  $\delta_i$  – niewielka pod względem wartości różnica między wartością punktu pracy systemu a wartością atraktora [Osowski 1996]. Wobec tego:

$$\frac{du_i}{dt} = \frac{d\delta_i}{dt} \quad (9)$$

oraz:

$$f(u_i^* + \delta_i) = f(u_i^*) + f'(u_i^*)\delta_i. \quad (10)$$

Dalej, uwzględniając równanie (4) mamy:

$$\tau \frac{d\delta_i}{dt} = -\delta_i + \sum_{j=1}^n W_{ij} f'(u_j^*) \delta_j + \left[ -u_i^* + \sum_{j=1}^n W_{ij} f(u_j^*) \right]. \quad (11)$$

Biorąc pod uwagę, że w stanie ustalonym równanie sieci przyjmuje postać:

$$-u_i + \sum_{j=1}^n W_{ij} v_j = 0, \quad (12)$$

równanie dynamiczne sieci zlinearyzowanej wyraża zależność:

$$\tau_i \frac{d\delta_i}{dt} = -\delta_i + \sum_{j=1}^n W_{ij} f'(u_j^*) \delta_j. \quad (13)$$

Układ równań (13) zapisany w postaci zwartej przedstawia się następująco:

$$\frac{d\delta}{dt} = -\mathbf{T}^{-1}[\mathbf{1} - \mathbf{GW}]\delta, \quad (14)$$

gdzie:  $\mathbf{T} = \text{diag}[\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n]$ ,  $\mathbf{G} = \text{diag}[f'(u_1), f'(u_2), \dots, f'(u_n)]$ ,  $\delta = [\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n]^T$ ,  
zaś:

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} & \dots & W_{1n} \\ W_{21} & W_{22} & \dots & W_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ W_{n1} & W_{n2} & \dots & W_{nn} \end{bmatrix}. \quad (15)$$

Równanie systemu zlinearyzowanego jest równaniem liniowym, którego rozwiązanie przebiega według funkcji wykładniczej w czasie  $t \rightarrow \infty$ . Czas ten można skutecznie ograniczyć na podstawie arbitralnie zadeklarowanej wartości  $\delta$ , zależnej od dokładności wyznaczanych współrzędnych wektora przemieszczeń.

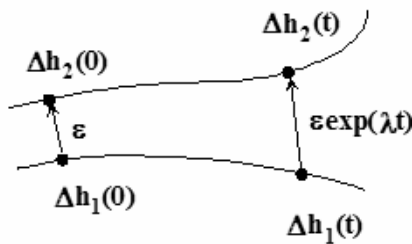
### RODZAJE EWOLUCJI CZASOWYCH

Koncentrując się na układzie z czasem ciągłym, rozpatrzmy rodzinę krzywych zmian różnic wysokości. Biorąc pod uwagę dwie krzywe, czyli część opisującego ewolucję czasową układu dla warunków początkowych wyznaczających te dwie sąsiednie trajektorie, będziemy rozpatrywać kierunki ich stabilności. Zbieżność względnie rozbieżność trajektorii może zostać opisana za pomocą wykładników Lapunowa [Kosiński 2002, 2004].

Dwie sąsiednie trajektorie  $\Delta h_1(0)$  i  $\Delta h_2(0)$  początkowo odległe o  $\varepsilon(0)$ , po upływie czasu  $t$  będą odległe o:

$$\varepsilon(t) = \varepsilon e^{\lambda t}, \quad (16)$$

gdzie  $\lambda$  jest wykładnikiem Lapunowa (rys. 6).



Rys. 6. Odległości trajektorii w czasie  
Fig. 6. The distance of a trajectory in time

Wzór (16) przekształćmy do postaci:

$$f[\Delta h_2(t)] - f[\Delta h_1(t)] = \varepsilon e^{\lambda t} \quad (17)$$

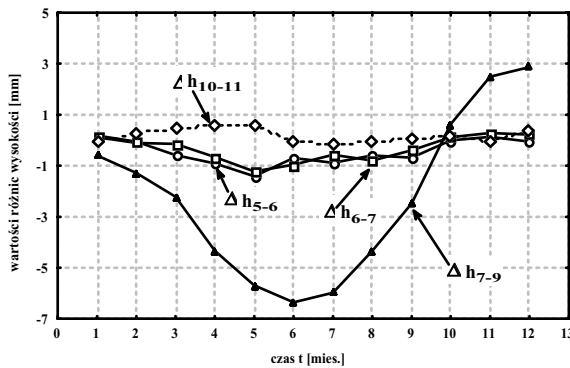
skąd:

$$\lambda = \frac{1}{t} \ln \{ f[\Delta h_2(t)] - f[\Delta h_1(t)] / \varepsilon \}. \quad (18)$$

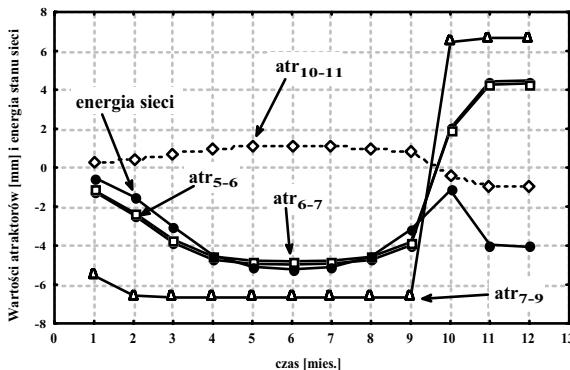
Jeżeli  $\lambda < 0$ , trajektorie się zbiegają, natomiast w przeciwnym przypadku mamy do czynienia z ruchem chaotycznym.

### PRZYKŁAD LICZBOWY

Przykład liczbowy podamy na podstawie analizy czterech zmian różnic wysokości, których trajektorie ilustruje rysunek 7.



Rys. 7. Trajektorie zmian różnic wysokości na podstawie zrealizowanych pomiarów  
Fig. 7. The trajectories of height difference changes on the basis of the measurements



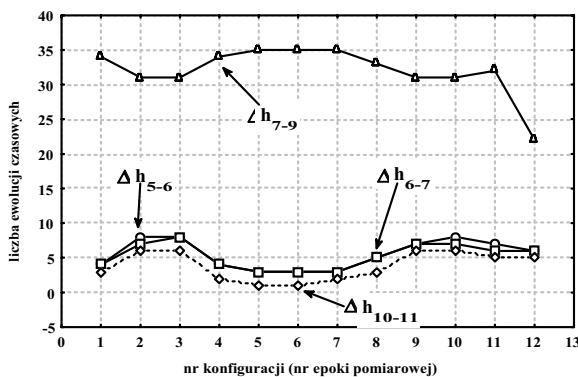
Rys. 8. Minimalne wartości energii sieci oraz atraktory odpowiadające poszczególnym wzorcom  
Fig. 8. The minimum values of net energy and attractors corresponding to the individual formula

Zauważmy, że zmiany różnic wysokości  $\Delta h_{5-6}$  i  $\Delta h_{6-7}$  są pod względem wartości sobie bliskie, zaś kierunki ich trajektorii zgodne. Z rysunku 7 można też odczytać, że zmiany różnicy wysokości  $\Delta h_{10-11}$  są niewielkie, natomiast zmiany różnicy wysokości  $\Delta h_{7-9}$  są znaczne.

Dla poszczególnych wektorów przemieszczeń, reprezentujących stany rozważanej sieci, minimalne wartości energii odpowiadają wzorcom zapamiętanym w sieci jako atraktorom, osiąganym w czasie ewolucji czasowej. Znajomość atraktorów umożliwia rozpoznanie ewolucji czasowej układu, która może mieć charakter regularny, quasi-okresowy bądź chaotyczny. Atraktory chaotyczne często występują w sieci z neuronami o wartościach ciągłych, omawianych w prezentowanej pracy.

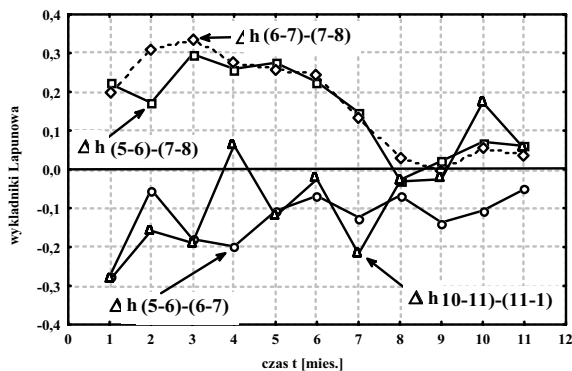
Wartości energii sieci odpowiadające atraktorom, które określają asymptotyczne zachowanie układu, zostały przedstawione na rysunku 8. Z porównania zamieszczonych wyżej rysunków można zaobserwować interesujące zjawisko. Atraktory odpowiadające relatywnie niewielkim zmianom różnic wysokości  $h_{5-6}$  i  $h_{6-7}$  osiągnęły duże wartości, natomiast z drugiej strony – dla małych zmian różnicy wysokości  $\Delta h_{10-11}$  zostały wygenerowane małe wartości atraktorów. Takie zjawisko sugeruje (ale nie przesądza) równoległe przemieszczenia punktów 5, 6 i 7 oraz stabilność punktów 10 i 11.

W procesie ewolucji czasowej sieć przechodzi od stanów z mniejszym prawdopodobieństwem wystąpienia do stanów bardziej prawdopodobnych, czyli przechodzi od stanów z energią wyższą do stanów z energią niższą, zgodnie z zasadą zachowania się energii układów dynamicznych. Liczbę ewolucji czasowych dochodzenia wyszczególnionych różnic wysokości do atraktorów (stanów prawdopodobnych) zilustrowano na rysunku 9.



Rys. 9. Liczba ewolucji czasowych dochodzenia różnic wysokości do atraktorów

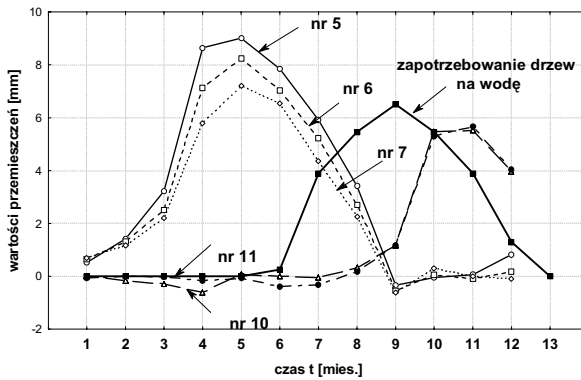
Fig. 9. The number of time evolution of differences approaching the attractors



Rys. 10. Wartości wykładników Lapunowa

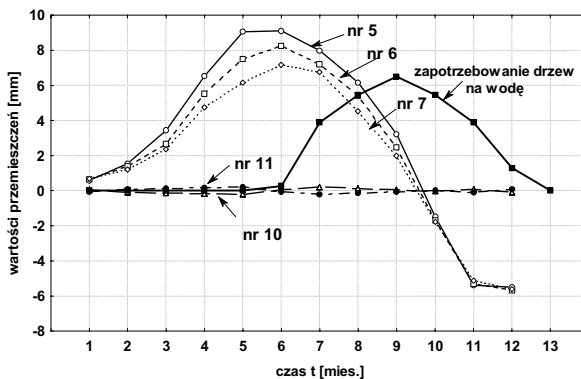
Fig. 10. The value of attractors' exponents





Rys. 11. Przemieszczenia punktów wyznaczone metodą tradycyjną

Fig. 11. Points displacements determined by a traditional method



Rys. 12. Przemieszczenia punktów wyznaczone według koncepcji autorów

Fig. 12. Points displacements determined by a method suggested by this article's authors

Wykładniki Lapunowa są miarą wrażliwości na warunki początkowe, które informują o kierunkach stabilności trajektorii zmian różnic wysokości zostały przedstawione na rysunku 10. Biorąc pod uwagę wszystkie 17 zmian różnic wysokości i odległości między nimi we wszystkich kombinacjach, warunek początkowy osiągnął wartość  $\varepsilon = 0,51$  mm, który został powiększony o bezwzględną wartość błędu średniego zmiany różnicy wysokości  $|m| = 0,2$  mm. Wynika stąd, że jedynie dwie trajektorie zmian różnic wysokości  $\Delta h_{5-6}$  i  $\Delta h_{6-7}$  charakteryzują się brakiem rozbieżności, ponieważ w okresie prowadzonych badań wykładniki Lapunowa przyjmują wartości ujemne, natomiast wszystkim pozostałym zmianom różnic wysokości można przypisać ruch chaotyczny. Na tej podstawie oraz na podstawie liczby ewolucji czasowych dochodzenia zmian różnic wysokości  $\Delta h_{5-6}$  i  $\Delta h_{5-7}$  do atraktorów można sądzić, że punkty 5, 6 i 7 doznały równoległego przemieszczenia, natomiast punkty 10 i 11 zlokalizowane poza zasięgiem strefy wpływu oddziaływania drzew na budynek zachowały wzajemną stałość, ponieważ zmiany różnicy wysokości  $\Delta h_{10-11}$  o wartości średniej na poziomie dokładności wykonywanych pomiarów mają charakter stochastyczny.

## 7. WNIOSKI

Realizacja pamięci asocjacyjnych dynamicznych za pomocą sieci rekurencyjnych umożliwiła w efekcie podjęcie decyzji dotyczącej ustalenia zbioru punktów o stwierdzonej wzajemnej stabilności zwłaszcza wtedy, gdy występują obiektywne trudności w nawiązaniu sieci pomiarowo-kontrolnej do punktów zlokalizowanych poza zasięgiem wpływów otoczenia na deformacje badanego obiektu.

Do oszacowania punktów stabilnych wykorzystano pamięć dynamiczną o strukturze sieci Hopfielda, która odtwarza zapamiętane asocjacje zbliżone do wzorców. Stan pamięci asocjacyjnej Hopfielda charakteryzuje jej funkcja energii, która osiąga minimum lokalne w procesie aktualizacji sieci w pobliżu rzeczywistego atraktora. Liczba ewolucji czasowych w dochodzeniu do atraktora zmian różnic wysokości, wyznaczona zgodnie ze wzorem (17), informuje o liczbie stałych czasowych niezbędnych do uzyskania stanu równowagi, w którym zmiany różnic wysokości pozostają w granicach dokładności pomiaru. Niewielkie pod względem wartości liczby ewolucji czasowych w dochodzeniu do atraktorów dotyczą zmian różnic wysokości (5-6), (6-7) oraz (10-11), natomiast dojścia do atraktorów pozostałych różnic wysokości w liczbie 14 np. (7-9) są odległe w czasie (rys. 9). Atraktory umożliwiają dokonanie analizy ruchu układu, który może być regularny bądź chaotyczny.

Minimalna liczba ewolucji czasowych w dochodzeniu do atraktora zmiany różnicy wysokości nie wystarcza jednak do stwierdzenia, czy dwa punkty zachowują stabilność, ponieważ mogą ulegać równoległemu przemieszczeniu. Do stwierdzenia stabilności punktów konieczne staje się określenie wykładników Lapunowa dwóch sąsiednich trajektorii zmian różnic wysokości. Ujemne wykładniki Lapunowa świadczą o zbieżności trajektorii, ale wystarcza jeden wskaźnik dodatni, ażeby zmianom różnic wysokości przyporządkować ruch chaotyczny.

Na podstawie rysunku 10 można stwierdzić, że wszystkie wykładniki Lapunowa trajektorii zmian różnic wysokości (5-6) i (6-7) są ujemne, co uzasadnia zbieżność trajektorii. Ta asymptotyczna zbieżność wymienionych trajektorii oraz niewielka liczba ewolucji czasowych w dochodzeniu do atraktora stanowią dowód, że punkty 5, 6 i 7 uległy równoległemu przemieszczeniu.

Nieco inną sytuację można zaobserwować w przypadku sąsiednich trajektorii zmian różnic wysokości (10-11) i (11-1). Trzy dodatnie wykładniki Lapunowa wskazują, że trajektorie zmian różnic wysokości mogą rozbiegać się wykładniczo, co wyklucza zbieżność trajektorii. Mając dalej na uwadze, że liczba ewolucji czasowych dojścia do atraktorów zmian różnicy wysokości (10-11) jest najmniejsza ze wszystkich możliwych oraz stochastyczny charakter zmian tej różnicy ze średnią równą 0,25, można zaryzykować stwierdzenie, że tylko punkty 10 i 11 zachowują stabilność w granicach dokładności pomiaru. Według koncepcji autorów stabilność punktów sieci geodezyjnej pomiarowo-kontrolnej względnie przemieszczenia równoległe punktów można oszacować na podstawie:

- liczby ewolucji czasowych dojścia zmian różnic wysokości do atraktorów z ustaloną z góry dokładnością,
- wykładników Lapunowa,
- analizy wartości zmian różnic wysokości.

## PIŚMIENNICTWO

- Gil J., 1995. Badanie nieliniowego geodezyjnego modelu kinematycznego przemieszczeń, Wydawnictwo Wyższej Szkoły Inżynierskiej w Zielonej Górze, Zielona Góra.
- Kosiński R.A., 2002. 2004. Sztuczne sieci neuronowe; dynamika nieliniowa i chaos, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa.
- Mańdziuk J., 2000. Sieci neuronowe typu Hopfielda; teoria i przykłady zastosowań, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa.
- Oowski S., 1996. Sieci neuronowe, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa.
- Prószyński W., Kwaśniak B., 2006. Podstawy geodezyjnego wyznaczania przemieszczeń. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
- Praca zbiorowa pod redakcją Jerzego Przysańskiego, 1991. Posadowienie budowli na gruntach ekspansywnych, Rozprawy nr 244, Poznań.
- Wolski B., 2006. Monitoring metrologiczny obiektów geotechnicznych. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej.

## CONTINUOUS MODEL OF THE NEURAL NET OF THE HOPFIELD TYPE APPLIED TO ESTIMATION THE STABILITY OF POINTS OF VERTICAL GEODETIC CONTROL NETWORK

**Summary.** The idea of selection of points of a geodetic vertical measuring- controlling net was presented in the paper. These points remained stable in the course of the measurements. The procedure of points identification within their mutual stability consists in defining the energizing levels of Hopfield's neural network having a minimum value. The network reaches an attractor as a final state of a dynamical system at the energizing minimum. Defining of time courses of approaching the individual height difference changes to an appropriate attractor and the research on behaviour of neighbouring trajectories of height difference changes on the basis of Lapunow's determined exponents enables the points identification within their identified stability.

**Key words:** a system dynamics, attractors, Lapunow's exponents

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 18.12.2007

## **POMIAR PŁASKOŚCI KOŁNIERZA KOLUMNY DŹWIGU PORTALOWEGO**

Wojciech Anigacz, Damian Bęben

Politechnika Opolska

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono zastosowanie metod metrologii geodezyjnej do pomiaru płaskości powierzchni czołowej kołnierza dźwigu portalowego. Kołnierz ma średnicę 4,550 m i jest przyspawany do powierzchni czołowej kolumny o wysokości 8,985 m. Do pomiaru zastosowano metodę trygonometryczną o podwyższonej dokładności z przyrządami wspomagającymi. Z jednego stanowiska instrumentu pomiarowego mierzono kierunki poziome i pionowe oraz odległości do punktów usytuowanych na powierzchni czołowej kołnierza. Do pomiaru wykorzystano instrument Total Station TC 2002 firmy Leica oraz specjalnie skonstruowaną tarczę celowniczą będącą przedmiotem zgłoszenia do Urzędu Patentowego Rzeczypospolitej Polskiej. Uzyskana dokładność pomiaru 0,07 mm pozwoliła na ocenę dokładności wykonania badanego kołnierza, która powinna mieścić się w przedziale tolerancji 0,2 mm. Zdecydowana większość punktów mieściła się w zadanym przedziale tolerancji. Zastosowana metoda pomiarowa wraz z urządzeniami wspomagającymi jest w pełni przydatna do tego typu pomiarów o bardzo dużej dokładności.

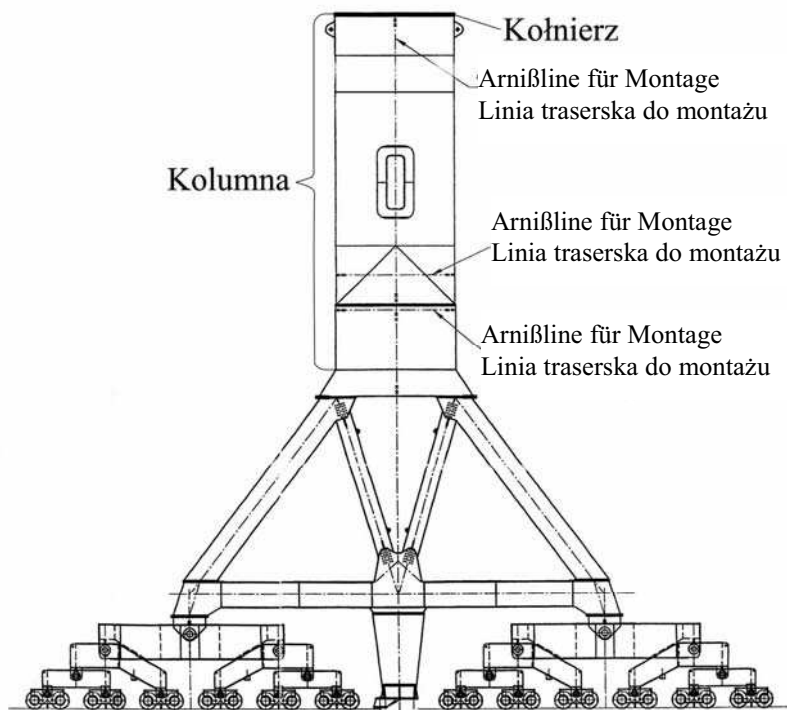
**Słowa kluczowe:** metrologia jakości, dźwig portowy, pomiar płaskości

### **WPROWADZENIE**

Duże konstrukcje i urządzenia mechaniczne składają się na ogół z wielu elementów. Dokładność wykonania ich elementów składowych decyduje o parametrach dokładnościowych całego urządzenia [Gocał 1993]. Poniżej przedstawiono pomiar płaskości stalowego kołnierza kolumny dźwigu portalowego (rys. 1). Badaną kolumnę można porównać do walca wewnątrz pustego o następujących parametrach geometrycznych: wysokość 8,985 m i średnica zewnętrzna równa 4,550 m (rys. 2). Z jednej strony kolumna zakończona jest kołnierzem, którego powierzchnia powinna być płaska w pasie tolerancji 0,2 mm. W trakcie badań kolumna dźwigu usytuowana była poziomo. Stosunkowo duże parametry geometryczne i wysokie wymagania odnośnie dokładności skłoniły autorów do zastosowania metod metrologii geodezyjnej do realizacji pomiarów [Anigacz 1998, Anigacz 1999, Anigacz 2001, Anigacz, Ćmielewski 2001, Anigacz

Ćmielewski 2004, Anigacz 2007]. Z geometrycznego punktu widzenia kolumna powinna spełniać następujące warunki:

- podstawy walca powinny być do siebie równoległe (rys. 3),
- przekroje poprzeczne walca powinny być kołowe,
- oś walca powinna przechodzić przez środki podstaw i być do nich prostopadła (rys. 3).

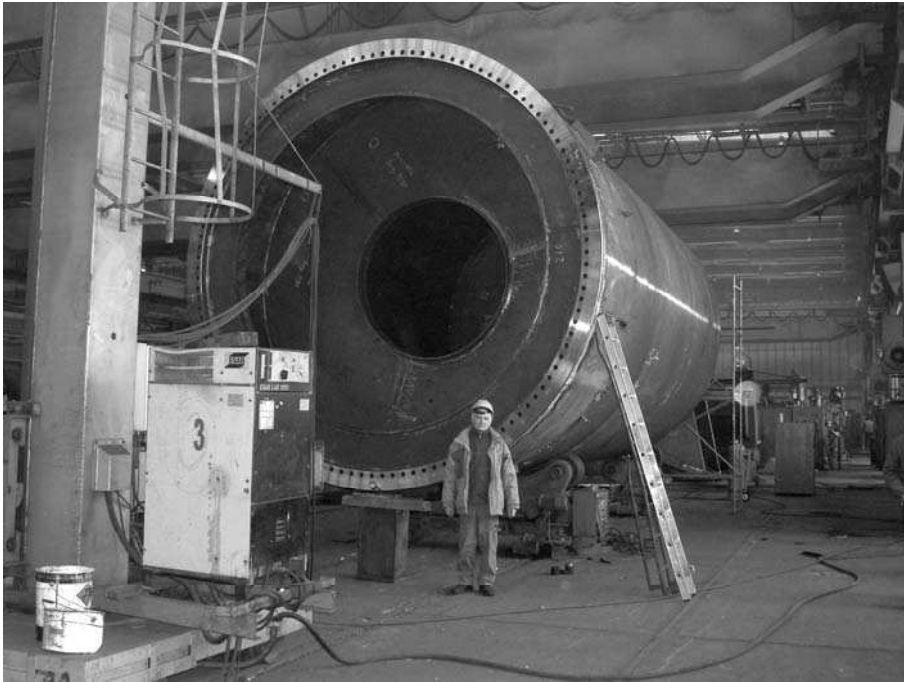


Rys. 1. Kolumna dźwigu na zespole jezdny [KE KRANBAU-EBERSWALDE AG. 07.09.2005]

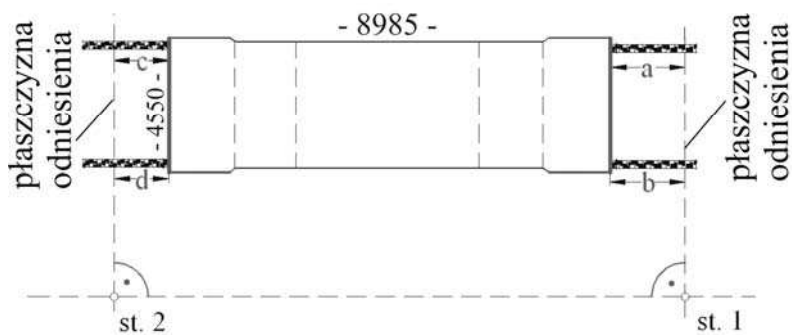
Fig. 1. The column of crane on carriageable set [KE KRANBAU-EBERSWALDE AG 07.09.2005]

Trudność w zachowaniu tych warunków wynika z dużych rozmiarów i wagi kolumny dźwigu portalowego wynoszącej około 40 ton [Anigacz 1998]. Dodatkowym czynnikiem utrudniającym zachowanie zadanych parametrów dokładnościowych jest technologia montażu dźwigu. Kolumna składa się z pięciu ciał oddzielnie montowanych a następnie łączonych ze sobą za pomocą spawania. Przy spawaniu można uwzględnić drobne odchyłki montażowe poszczególnych ciał, ale najczęściej jest tak, że trudne do przewidzenia naprężenia spawalnicze powodują pewne deformacje płaszcza kolumny. Badany kołnierz wykonywany (toczony i frezowany) jest oddzielnie, a następnie jest łączony z kolumną za pomocą spawania. Ponadto kolumna jest przemieszczana i obracana. W trakcie montażu kolumna była usytuowana poziomo i podparta na czterech rolkach [Anigacz 1998]. Odchyłki wykonawcze, montażowe i powstałe w trakcie transportu wewnątrz zakładu mogą spowodować przekroczenie wartości dopuszczalnych,

stąd wynika potrzeba wykonywania pomiarów kontrolnych w trakcie całego procesu produkcyjnego i montażowego, a także po jego zakończeniu potwierdzonego odpowiednim certyfikatem.



Rys. 2. Kolumna dźwigu w hali montażowej  
Fig. 2. The column of crane on assembly room



Rys. 3. Schemat osnowy pomiarowej – widok z góry  
Fig. 3. Scheme of measurement control – top view

## METODYKA POMIARÓW

Wysokie wymagania wykonywanych pomiarów odnośnie dokładności spowodowały, że przeprowadzono pomiar testowy w rzeczywistych warunkach mający określić dokładność posiadanego sprzętu i zastosowanej technologii pomiaru. Na tej podstawie zdecydowano się zastosować metodę trygonometryczną o podwyższonej (najwyższej) dokładności z wykorzystaniem instrumentu total station TC 2002 firmy Leica o dokładności pomiaru kierunku 0,6" oraz specjalnie skonstruowaną tarczę celowniczą będącą obecnie przedmiotem zgłoszenia do Urzędu Patentowego RP. Stanowisko instrumentu pomiarowego usytuowano w odległości około 10 m od osi zbiornika tak, aby oś celowa była w przybliżeniu równoległa do płaszczyzny czołowej kołnierza (rys. 3). Pomiar wykonano w dwóch położeniach lunety dla 30 punktów rozmieszczonych równomiernie co 12° oraz dodatkowo dla punktów na osiach 90° i 270°, co dało łącznie 32 punkty pomiarowe. Na podstawie dwukrotnego pomiaru położenia punktu określono jego dokładność na 0,07 mm. Tak wysoka dokładność pozwoliła na ocenę poprawności wykonania badanego kołnierza.

## OBLICZENIA

W wyniku pomiaru geodezyjnego metodą trygonometryczną o podwyższonej dokładności otrzymano współrzędne przestrzenne (X,Y,Z) 32 równomiernie rozmieszczonych punktów pomiarowych na powierzchni czołowej kołnierza. W uzyskany zbiór punktów wpasowano, metodą najmniejszych kwadratów, płaszczyznę, którą uznano za płaszczyznę odniesienia do określenia odchyłek od płaskości. Następnie za pomocą programu autorskiego obliczono odległości wszystkich punktów od obliczonej płaszczyzny. W ten sposób uzyskano rzeczywisty przedział odchyłek powierzchni czołowej badanego kołnierza dźwigu portalowego od płaskości. Fragment wydruku z obliczeń przedstawiono poniżej:

```
*****
  PLASZ-G * obliczanie współczynników równania płaszczyzny
            z dowolnej liczby punktów
  Program opracował - prof. Wojciech ANIGACZ - kwiecień 1998
  *****
  PLASZ-G * Calculation of the coefficients of the equation
            of plane determined by arbitrary number of points
  Author - prof. Wojciech ANIGACZ - April 1998, Opole, Poland
  *****

            Obliczanie wartości wyznacznika
            Calculation of value of determinant
  330905.3250    35249.4372    3254.0594    -40484.2008
  35249.4372    3822.2782    346.5184    -4308.5272
  3254.0594    346.5184    32.0000    -398.1191
  X = 447.5428 [m]  Y = -78.1281 [m]  H = -44651.8765 [m]
  Współczynniki równania płaszczyzny-obliczone wyznacznikiem
  Coefficients of plane equation calculated using determinant
            A/C            B/C            C/C            D/C
  447.543    -78.128    1.000    -44651.877
  -----
```

```

Układ równań normalnych - System of normal equations
330905.3250    35249.4372    3254.0594    -40484.2008
35249.4372    3822.2782     346.5184     -4308.5272
3254.0594     346.5184     32.0000      -398.1191

```

```

-----
Współczynniki równania płaszczyzny - podprogram * ODLPP *
Plane equation coefficients - subroutine * ODLPP *
A/C=          -447.541790      B/C=           78.127916
C/C=           1.000000      D/C=          44651.770756

```

**EKSTREMALNE WARTOŚCI ODLEGŁOŚCI PUNKTÓW OD PŁASZCZYZNY ŚREDNIEJ**

**Extreme values of distances of points from average surface**

NR PKT	MINIMUM	NR PKT	MAXIMUM
9	-.0003 [m]	2	.0003 [m]
25	-.0003 [m]	16	.0003 [m]
		17	.0003 [m]

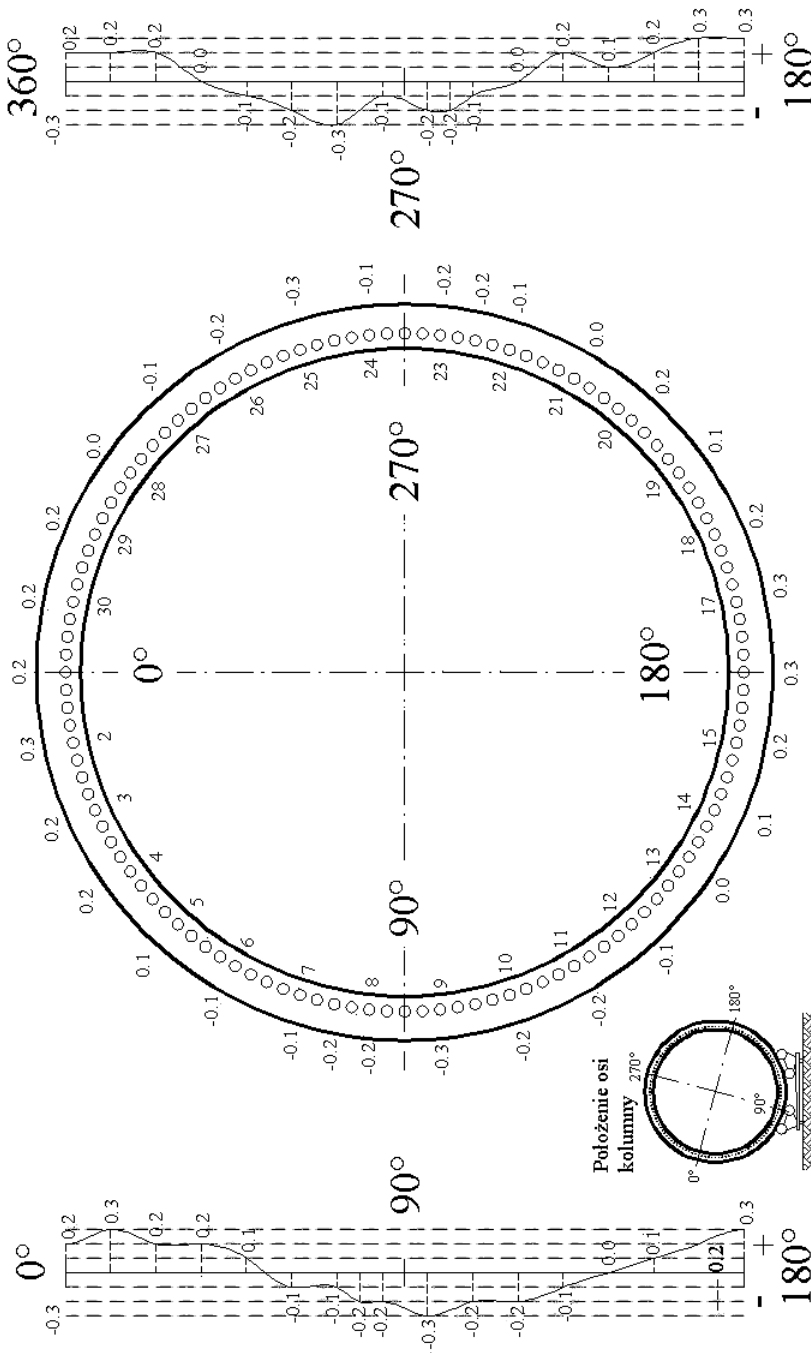
W analizowanym przypadku rozkład odchyłek kołnierza dźwigu portalowego od płaskości przedstawiał się zgodnie z wartościami przedstawionymi w tabeli 1.

Tabela 1. Zestawienie wartości odchyłek kołnierza od płaskości  
Table 1. The composition values of collar deviation from flatness

Lp.	Odległość punktu od płaszczyzny średniej w [mm]	Liczba punktów			
		wszystkich	w przedziale 0,2 mm	w przedziale 0,4 mm	w przedziale 0,6 mm
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1.	-0,3	2			
2.	-0,2	7			
3.	-0,1	6			
4.	0,0	3	12	27	32
5.	0,1	3			
6.	0,2	8			
7.	0,3	3			
Razem – Total		32			

Uzyskane wyniki obliczeń płaskości kolumny dźwigu portalowego w odniesieniu do płaszczyzny średniej przedstawiono w postaci graficznej i analitycznej na rysunkach 4 i 5.





Rys. 4. Schemat usytuowania punktów pomiarowych z odchyleniami od płaskości  
 Fig. 4. Scheme of location of measurement points with deviation from flatness



## WNIOSKI

1. Zastosowana metoda pomiaru trygonometrycznego o podwyższonej dokładności wraz z urządzeniami wspomagającymi pozwoliła na uzyskanie dokładności pomiaru rzędu 0,07 mm, co umożliwiło na właściwą ocenę płaskości wykonanej powierzchni czołowej kołnierza kolumny dźwigu portalowego,
2. Zastosowana metoda pomiaru trygonometrycznego o podwyższonej dokładności wraz z urządzeniami wspomagającymi jest w pełni przydatna do precyzyjnych pomiarów innych maszyn i urządzeń mechanicznych.

## PIŚMIENNICTWO

- Anigacz W.: Wykorzystanie TC 2002 w procesie montażu konstrukcji obrotowych. Materiały z Konferencji Techniczno-Naukowej IV Międzynarodowych Targów Geodezji. GEA'98. Katowice 15-17 października 1998, s. 51–52.
- Anigacz W.: Nowoczesne technologie pomiarowe. Forum dyskusyjne „Innowacyjność i transfer technologii”. Oferta środowiska naukowego regionu opolskiego dla przemysłu. Politechnika Opolska. Opole, 20-21 maja 1999, s. 30.
- Anigacz W.: Weryfikacja parametrów geometrycznych suwnic w czasie montażu i eksploatacji Transport Przemysłowy (kwartalnik). Nr 2(4)/2001, indeks 360651, ISSN 1640-5455. Wydawnictwo Lektorium, Wrocław, s. 38–40.
- Anigacz W., Ćmielewski K.: Autokolimacyjna metoda ustawiania walcarki. XVI Konferencja Katedr i Zakładów Geodezyjnych na Wydziałach Niegeodezyjnych, Problemy automatyzacji w geodezji inżynierskiej. Komitet Geodezji PAN, Sekcja Geodezji Przemysłowej, Ministerstwo Rozwoju Regionalnego i Budownictwa, Departament Architektury, Budownictwa, Geodezji i Kartografii. Politechnika Zielonogórska, Wydział Budownictwa i Inżynierii Sanitarnej, Instytut Budownictwa, Zielona Góra, 28-29 września 2001, s. 9–13.
- Anigacz W., Ćmielewski K.: Autokolimacyjna metoda badania warunków osiowych ustawiania walcarki typu „Sendzimir” ZR. Przegląd Geodezyjny, Nr 11, 2004, s. 12–15.
- Gocał J.: Metody i instrumenty geodezyjne w precyzyjnych pomiarach maszyn i urządzeń mechanicznych. Wydawnictwo AGH 1993, ISSN 0239-6114.
- KE KRANBAU-EBERSWALDE AG.: Maßblatt Portal-Turmmontage (Arkusz pomiarowy – do montażu wieży portalu). Zeichnungs-Nr. 00000-5100-000-0-0-A1 Mb, 7 września 2005.
- Anigacz W.: Badanie odchyłeń od płaskości powierzchni czołowej trzech kołnierzy podstaw żurawi okrętowych. Politechnika Opolska, praca nr BU-4/07, Opole, styczeń 2007.

## MEASUREMENT OF FLATNESS OF PORTAL CRANE COLLAR

**Abstract.** The paper presents the application of the geodetic metrology methods to measurement of flatness of front surface of portal crane collar. The collar has a diameter of 4.500 m and it is welded on front surface of column 9.000 m high. In order to measure the flatness trigonometric method with raised accuracy was applied. The vertical and horizontal directions as well as the distances for points located on front surface collar were measured with one measuring position. Total Station TC 2002 (Leica Company) and especially designed sight shield (notification to Polish Patent Office) were used in tests. Obtained measurement accuracy (0.07 mm) has allowed to evaluating the accuracy of execution of tested collar, which should be contained in interval of tolerance (0.2 mm). Almost all of points were contained in assumed interval of tolerance. The applied measurement method with boosters is useful to this type of measurements characterized by very high accuracy.

**Key words:** quality metrology, harbour crane, measurement of flatness

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 18.12.2007



## SPIS TREŚCI CONTENTS

### **Adam Ciećko, Stanisław Oszczak**

Zastosowanie technologii satelitarnych w nowoczesnym rolnictwie oraz walidacja i certyfikacja sprzętu pomiarowego GNSS i obserwatorów w systemie IACS .....	3
Satellite technology in modern agriculture, procedure of validation and certification of gnss instruments and observers for iacs system	

### **Dariusz Gościewski**

Analiza dokładności interpolacyjnych modeli powierzchni typu GRID .....	11
GRID type surface interpolation models accuracy analysis	

### **Wojciech Pachelski, Zenon Parzyński**

Modele pojęciowe niektórych geodezyjnych składników infrastruktury danych przestrzennych .....	23
Conceptual models of some geodetic components of the spatial data infrastructure	

### **Józef Gil, Maria Mrówczyńska, Sławomir Gibowski**

Model ciągły sieci neuronowej typu hopfielda w zastosowaniu do oszacowania stabilności punktów sieci geodezyjnej pionowej pomiarowo-kontrolnej .....	39
Continuous model of the neural net of the hopfield type applied to estimati on the stability of points of vertical geodetic control network	

### **Wojciech Anigacz, Damian Bęben**

Pomiar płaskości kołnierza kolumny dźwigu portalowego .....	51
Measurement of flatness of portal crane collar	