

**Archiwum
Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji**

**Archives
of Photogrammetry, Cartography and Remote Sensing**

Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji jest serią wydawniczą powołaną przez organizację naukowe:

Polskie Towarzystwo Fotogrametrii i Teledetekcji
Sekcja Fotogrametrii i Teledetekcji Komitetu Geodezji PAN
Sekcja Kartografii Komitetu Geodezji PAN
Klub Teledetekcji Polskiego Towarzystwa Geograficznego

Rada Naukowa Wydawnictwa

„Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”:

Prof. dr hab. inż. Józef Jachimski (Przewodniczący)
Prof. dr hab. inż. Aleksandra Bujakiewicz
Prof. dr hab. inż. Adam Linsenbarth
Prof. dr hab. inż. Andrzej Makowski
Prof. dr hab. inż. Jan Ołędzki

Redaktor naczelny

wydawnictwa Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji:

Dr hab. inż. Zdzisław Kurczyński
e-mail: kurczynski@wp.pl
tel. +48 22 2345764

Adres redakcji:

Zakład Fotogrametrii, Teledetekcji i Systemów Informacji Przestrzennej
Politechnika Warszawska
Pl. Politechniki 1, 00-661 Warszawa
tel. +48 22 2347690
fax: +48 22 6299182

Polskie Towarzystwo Fotogrametrii i Teledetekcji
Sekcja Kartografii Komitetu Geodezji PAN
Sekcja Geoinformatyki Komitetu Geodezji PAN
Polskie Towarzystwo Informacji Przestrzennej
Sekcja Fotogrametrii i Teledetekcji Komitetu Geodezji PAN
Klub Teledetekcji Środowiska PTG
Stowarzyszenie Kartografów Polskich
Komisja Geoinformatyki Polskiej Akademii Umiejętności
Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego

**Archiwum
Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji
Vol. 20**

**Archives
of Photogrammetry, Cartography and Remote Sensing
Vol. 20**

Kraków 2009

Artykuły opublikowane w Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Vol. 20, zostały zakwalifikowane do druku na podstawie recenzji naukowych

Recenzenci:

dr inż. Joanna Bac-Bronowicz; dr hab. inż. Elżbieta Bielecka, prof. WAT;
prof. dr hab. inż. Aleksandra Bujakiewicz; prof. dr hab. Wojciech Chelmiński;
prof. dr hab. inż. Tadeusz Chrobak; prof. dr hab. Andrzej Ciołkosz;
prof. dr hab. Marian Flasiński; dr hab. inż. Beata Hejmanowska, prof. AGH;
dr inż. Marcin Iwanowski; prof. dr hab. inż. Józef Jachimski;
dr Ireneusz Jędrychowski; dr hab. Jacek Kozak; dr inż. Artur Krawczyk;
dr hab. inż. Zdzisław Kurczyński; dr hab. inż. Stanisław Lewiński; dr Małgorzata Luc;
prof. dr hab. Marian Noga; dr Katarzyna Ostapowicz; dr Zbigniew Perski;
dr hab. inż. Krystian Pyka, prof. AGH; prof. dr hab. Andrzej Stateczny;
dr hab. inż. Regina Tokarczyk; dr Mateusz Troll; prof. dr hab. Zbigniew Ustrnul;
dr inż. Piotr Wężyk; prof. dr hab. Wiesław Ziaja; prof. dr hab. Wiesława Żyszkowska

Redaktorzy zeszytu:

dr hab. Jacek Kozak
dr Małgorzata Luc

Zakład Systemów Informacji Geograficznej, Kartografii i Teledetekcji
Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego
ul. Gronostajowa 7, 30-387 Kraków
e-mail: jacek.kozak@uj.edu.pl; malgorzata.luc@uj.edu.pl

Redakcja techniczna i opracowanie edytorskie:

Ostateczne wersje artykułów złożono z materiałów dostarczonych przez autorów po uwzględnieniu uwag recenzentów. Teksty poddano opracowaniu edytorskiemu

Tom 20 Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji został opublikowany przy wsparciu finansowym Wydziału VII Nauk o Ziemi i Nauk Górniczych Polskiej Akademii Nauk oraz Instytutu Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego

Komputerowy skład tekstu i przygotowanie do druku: M. Ciemborowicz, A. Marciniak-Nowak, Pracownia Wydawnicza Instytutu Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ

Weryfikacja tekstów w języku angielskim: mgr Paweł Pilch

Wydawca:

Zarząd Główny Stowarzyszenia Geodetów Polskich
ul. Czackiego 3/5, 00-043 Warszawa
NIP 526-000-09-62

Druk:

Drukarnia Polskiej Prowincji Zakonu Pijarów
ul. Pijarska 2, 31-015 Kraków
tel. +48 12 413 76 51, fax: +48 12 413 28 93
www.drukarnia.pijarzy.pl

Nakład: 200 egz.

ISBN 978-83-61-576-10-5

© Copyright by Polskie Towarzystwo Fotogrametrii i Teledetekcji

SPIS TREŚCI

Józef Jachimski, Jacek Kozak, Małgorzata Luc

Przedmowa.....	11
Preface	14

Anna Banaszek, Sebastian Banaszek, Aleksander Żarnowski

Technologia opracowania rastrowanych map turystycznych z danymi opisowymi obiektów	15
Technology of preparing raster maps with descriptive data of points of interest	24

Tomasz Biegała, Ryszard Preuss

Ocena jakości NMPT tworzonego metodą dopasowania cyfrowych zdjęć lotniczych	25
Evaluation of DSM quality generated from digital matching of aerial imagery	34

Andrzej Borkowski, Krzysztof Sośnica

Zastosowanie dyskretnej transformacji falkowej do filtracji danych lotniczego skaningu laserowego	35
Application of discrete wavelet transform to filtering airborne laser scanning data	45

Natalia Borowiec

Generowanie trójwymiarowego modelu budynku na podstawie danych lidarowych ...	47
3D modeling of buildings based on LIDAR data	56

Urszula Cisto

Próba opracowania symboli 3D wybranych obiektów trójwymiarowej wielorozdzielczej bazy topograficznej	57
The attempt to create 3D symbols of selected features for a three-dimensional multiresolution topographic database	65

Anna Czechowicz, Regina Tokarczyk

Lokalizacja punktów pomiarowych w systemie do trójwymiarowego pozycjonowania ciała wybranymi metodami sztucznej inteligencji	67
Detection of measurement points in a 3D body positioning system by means of artificial intelligence	79

<i>Michał Dec, Żaneta Kaszta, Karolina Korzeniowska, Adam Podsada, Szymon Sobczyszyn-Żmudź, Anna Wójtowicz, Elżbieta Zimna, Katarzyna Ostapowicz</i>	
Zmiany użytkowania ziemi w trzech gminach karpackich (Niedźwiedź, Szczawnica i Trzciana) w drugiej połowie XX wieku	81
Land use change in three Carpathian communities (Niedźwiedź, Szczawnica and Trzciana) in the second part of the 20 th century	98
<i>Jacek Górski</i>	
Ogólnodostępne mapy powiatów jako środek przekazu informacji o infrastrukturze społecznej	99
Generally available maps of polish districts as a medium of information on social infrastructure	107
<i>Beata Hejmanowska, Ewelina Hnat</i>	
Wielokryterialna analiza lokalizacji zabudowy na przykładzie gminy Podegrodzie	109
Multi-factoral evaluation of residential area locations: case study of Podegrodzie local authority	121
<i>Beata Hejmanowska, Wojciech Woźniak</i>	
Influence of the number of measured parcel boundary points on the accuracy of land parcel area calculation	123
Analiza wpływu liczby mierzonych punktów granicznych działki na dokładność określania jej pola powierzchni	133
<i>Waldemar Izdebski</i>	
Rola PODGiK w funkcjonowaniu Krajowej Infrastruktury Danych Przestrzennych	135
The role of district centers of geodetic and cartographic documentation in the functioning of National Spatial Data Infrastructure	144
<i>Joanna Jaroszewicz, Bożena Degórska</i>	
Koncepcja modelu analiz przestrzennych do identyfikacji terenów wyłączonych z zabudowy, na potrzeby studiów uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gmin miejskich	147
Design of a model for spatial analysis for use in identifying areas where building development should be prohibited or for studies of spatial planning policies and conditions at local authority level	160
<i>Renata Jędrzycka</i>	
CityGML w świetle interoperacyjności trójwymiarowych danych geoprzestrzennych	161
Citygml in the interoperability of 3D geodata	170

Marek Kachnic

- Mapa wiarygodności rozpoznania pierwszego poziomu wodonośnego wykonana na podstawie rankingu studzien w rejonie Unisławia 173
Map of uncertainty of shallow groundwater based on boreholes and digging wells ... 183

Artur Karol Karwel

- Ocena dokładności areotriangulacji zobrażeń ADS40 185
Estimation of the accuracy of the triangulation of ADS40 imagery 193

Michał Kowalczyk

- Badanie możliwości automatycznego dopasowania obrazów o zbliżonych elementach orientacji zewnętrznej 195
Evaluation of the degree of automation in the measurement and matching of images with similar exterior orientation 202

Michał Kowalczyk, Piotr Podlasiak, Ryszard Preuss, Dorota Zawieska

- Wspomaganie programowe manualnego pozyskiwania linii strukturalnych dachów dla generowania true ortho 203
Program support for manual acquisition of structural lines of roofs in true ortho generation 212

Krzysztof Koziol

- Zastosowanie wybranych atrybutów NMT w przybliżonym określeniu granic wysokościowych pięter roślinnych na przykładzie Nadleśnictwa Piwniczna 215
Application of selected DTM attributes in approximate delimitation of the boundaries of altitudinal vegetation zones in Piwniczna Forest District 225

Bartłomiej Kraszewski

- Analiza dokładności podstawowych produktów fotogrametrycznych uzyskanych z zobrażeń pozyskanych trzylinijkową cyfrową lotniczą kamerą ADS40 227
Analysis of the accuracy of the photogrammetric products obtained from three-line digital aerial camera ADS40 images 236

Bogusława Kwoczyńska, Krzysztof Kozik, Karolina Lech

- Zastosowanie zdjęć lotniczych do tworzenia modelu 3D miasta na przykładzie Miechowa 237
Application of aerial photos in creating a 3D town model. An example based on the town of Miechów 246

Jan Lach, Krzysztof Koziol

- Implementacja algorytmów analiz przestrzennych dla dużych zbiorów danych na przykładzie topograficznego indeksu pozycji z wykorzystaniem środowiska MATLAB 247
Implementation of spatial analysis algorithms on large collections of data based on the topographic position index with the use of the MATLAB environment . 258

Jacek Łubczonek, Marta Włodarczyk

Tworzenie i aktualizacja map elektronicznych dla żeglugi śródlądowej z wykorzystaniem cyfrowych obrazów teledetekcyjnych	261
Creation and updating electronic charts for inland shipping by using digital remote sensing images	273

Urszula Marmol

Integracja danych lidarowych i fotogrametrycznych w procesie automatycznego wykrywania obiektów	275
Integration of airborne LIDAR and photogrammetric data in the process of automatic object extraction	284

Sławomir Mikrut, Urszula Dużyńska

Próba rekonstrukcji nieistniejących obiektów architektonicznych na wybranym przykładzie	285
An attempt at the photogrammetric reconstruction of no longer existing buildings of architectural interest based on a selected example	293

Marek Mróz, Magdalena Mleczko

Techniczne i formalne aspekty budowy bazy wzorców do teledetekcyjnej kontroli wniosków o płatności obszarowe w ramach Wspólnej Polityki Rolnej Unii Europejskiej	295
Technical and formal aspects of spectral signatures database building with remote sensing for control of area-based subsidies in the framework of the Common Agricultural Policy	306

Jan Musiał

Metodyka oceny stanu środowiska przyrodniczego obszarów prawnie chronionych w Polsce w oparciu o zintegrowane dane teledetekcyjne i klimatyczne	307
The methodology of assessment of the environmental conditions in protected areas in Poland based on integrated remote sensing and climatic data	320

Krzysztof Naus

Google Maps, Yahoo Maps, Microsoft Virtual Earth i Google Earth jako narzędzia do monitorowania ruchu statków śledzonych w systemie AIS	321
Google maps, Yahoo maps, Microsoft Virtual Earth and Google Earth as tools for monitoring the AIS system for recording vessel traffic	330

Magdalena Niemiec, Grzegorz Józków, Andrzej Borkowski

Monitorowanie zmian ukształtowania powierzchni terenu spowodowanych erozją wodną z wykorzystaniem naziemnego skanowania laserowego	333
Monitoring land surface changes caused by soil water erosion with terrestrial laser scanning	341

Tomasz Pirowski

Ranking metod integracji obrazów teledetekcyjnych o różnej rozdzielczości – ocena formalna scalenia danych Landsat TM i IRS-PAN	343
Rank of fusion methods of remotely sensed images of various resolution – formal assessment of merging Landsat TM and IRS-PAN data	357

Krystian Pyka

Mapowanie tonalne obrazów o podwyższonej rozdzielczości radiometrycznej z wykorzystaniem transformacji falkowej	359
Tonal mapping of images with increased radiometric resolution using wavelet transform	366

Aleksandra Rejowicz, Alina Wróbel, Andrzej Wróbel

Przestrzenna wizualizacja dobowych zmian rozkładu temperatury na zewnętrznej powierzchni budynku	367
Spatial visualisation of daily changes in temperature distribution on the outer wall of a building	375

Piotr Sawicki, Sławomir Zwolenik, Sebastian Grabowski

Rekonstrukcja scen termalnych w autorskim programie Vision plus 3D	377
Reconstruction of thermal scenes in the authors' software, Vision plus 3D	386

*P. Sedo, R. Diaz, L. Romero, V. Gracia, J.F. Piolle, V. Kerbaol,
A. Michail, N. Kitson, N. Pittam, M. Stelmaszczuk*

PEARL – system do zarządzania środowiskiem portowym	387
PEARL – environmental management system for port authorities	396

Robert Szczepanek

Systemy informacji przestrzennej – wieża Babel XXI wieku	397
Geographical information systems – 21 st century tower of Babel	405

Mariusz Szymanowski, Maciej Kryza

Zastosowanie regresji ważonej geograficznie do modelowania miejskiej wyspy ciepła we Wrocławiu	407
Application of geographically weighted regression for urban heat island modelling in Wrocław	418

Piotr Tompalski

Naziemny skanowanie laserowy w inwentaryzacji zieleni miejskiej na przykładzie Plant w Krakowie	421
Terrestrial laser scanning for an urban green inventory	431

Artur Warchol

Wykorzystanie wskaźnika intensywności odbicia w procesie pozyskiwania sieci drogowej z danych lidarowych	433
Use of signal intensity indices in the process of extracting a road network from LIDAR data	444

Piotr Wężyk, Marta Szostak, Piotr Tompalski

Porównanie dokładności metody „Foto” z automatyczną analizą danych lotniczego skaningu laserowego dla celów kontroli dopłat bezpośrednich	445
Comparison of the accuracy of the “photo” check method with automatic analysis based on ALS data for direct control of subsidy payment	456

Piotr Wężyk, Elżbieta Wawrzeczko

Zastosowanie lotniczego skaningu laserowego w określaniu zwarcia koron drzew na Plantach Krakowskich	457
Describing canopy closure in Krakow’s Planty park using airborne laser scanning ...	466

Dariusz Ziolkowski, Edyta Woźniak

Metoda redukcji plamkowania na obrazach radarowych za pomocą dwustopniowego filtru warunkowego	469
A method for speckle reduction on radar data using a two-level conditional filter	476

PRZEDMOWA

PREFACE

Józef Jachimski¹, Jacek Kozak², Małgorzata Luc²

¹ Komisja Geoinformatyki Polskiej Akademii Umiejętności
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

² Zakład Systemów Informacji Geograficznej, Kartografii i Teledetekcji,
Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego

SŁOWA KLUCZOWE: geoinformatyka, środowisko, społeczeństwo

STRESZCZENIE: W przedmowie przedstawiono pokrótce efekty V Ogólnopolskiego Sympozjum Geoinformacyjnego, które odbyło się we wrześniu 2009 roku w Krakowie. Sympozjum, odbywające się pod hasłem „Geoinformatyka dla środowiska i społeczeństwa – badania i zastosowania”, zgromadziło ponad 130 naukowców reprezentujących ośrodki krajowe i zagraniczne. Artykuły w tym tomie stanowią efekt finalnego opracowania referatów lub posterów przedstawionych na sympozjum. Dotyczą one praktycznie wszystkich aspektów związanych z pozyskiwaniem, przetwarzaniem i wykorzystywaniem informacji geograficznej. Prezentowane jest spojrzenie zarówno od strony technicznej, jak i aplikacyjnej, odnoszącej się do różnorodnych zagadnień związanych z wykorzystywaniem informacji geograficznej w rozwiązywaniu problemów środowiska.

Ogólnopolskie Sympozjum Geoinformacyjne jest spotkaniem organizowanym jako wspólne przedsięwzięcie krajowych stowarzyszeń i organizacji wspierających rozwój geoinformatyki. Są to: Polskie Towarzystwo Fotogrametrii i Teledetekcji, Sekcja Kartografii Komitetu Geodezji PAN, Sekcja Geoinformatyki Komitetu Geodezji PAN, Polskie Towarzystwo Informacji Przestrzennej, Sekcja Fotogrametrii i Teledetekcji Komitetu Geodezji PAN, Klub Teledetekcji Środowiska PTG, Stowarzyszenie Kartografów Polskich oraz Komisja Geoinformatyki Polskiej Akademii Umiejętności. Rolę głównych organizatorów poprzednich czterech Sympozjów pełniły: Klub Teledetekcji Środowiska Polskiego Towarzystwa Geograficznego (Wysowa 2001), Stowarzyszenie Kartografów Polskich (Polanica Zdrój 2003), Polskie Towarzystwo Informacji Przestrzennej (Warszawa 2005) oraz Polskie Towarzystwo Fotogrametrii i Teledetekcji (Dobczyce 2007).

V Ogólnopolskie Sympozjum Geoinformacyjne „*Geoinformatyka dla środowiska i społeczeństwa – badania i zastosowania*” zorganizowane zostało przez Komisję Geo-

informatyki Polskiej Akademii Umiejętności wraz z Zakładem Systemów Informacji Geograficznej, Kartografii i Teledetekcji Instytutu Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego. Sympozjum odbyło się w Krakowie, w dniach 17-19 września 2009 r.

Sympozjum przewodniczył prof. dr hab. inż. Józef Jachimski, Przewodniczący Komisji Geoinformatyki PAU, którego w pracach przygotowawczych i w czasie sympozjum wspierali członkowie komitetu naukowego: dr inż. Joanna Bac-Bronowicz, prof. dr hab. inż. Stanisław Białousz, prof. dr hab. Aleksandra Bujakiewicz, prof. dr hab. inż. Tadeusz Chrobak, prof. dr hab. Andrzej Ciołkosz, prof. dr hab. Bolesław Domański, prof. dr hab. inż. Jerzy Gaździcki, prof. dr hab. inż. Janusz Kotlarczyk, dr hab. inż. Andrzej Leśniak, prof. AGH, prof. dr hab. inż. Marian Noga, prof. dr hab. inż. Ryszard Olędzki, dr hab. inż. Krystian Pyka, prof. AGH oraz prof. dr hab. inż. Ryszard Ślusarczyk. Przygotowaniem sympozjum zajął się komitet organizacyjny powołany w Zakładzie Systemów Informacji Geograficznej, Kartografii i Teledetekcji IGiGP UJ, kierowany przez dr hab. Jacka Kozaka, dr Małgorzatę Luc (sekretarz naukowy) oraz mgr inż. Natalię Kolecką (sekretarz).

Celem V Sympozjum była interdyscyplinarna wymiana poglądów i prezentacja metod pozyskiwania oraz analizy geodanych pod kątem różnorodnych zastosowań związanych z potrzebami społeczeństwa, badaniami, kształtowaniem i ochroną środowiska oraz działaniami na rzecz ekorozwoju. Efektywne wykorzystanie technologii geoinformatycznych oraz zasobów geodanych jest jednym z fundamentów dyrektywy INSPIRE, w której sens tworzenia infrastruktury informacji przestrzennej uzasadnia się przede wszystkim działaniami na rzecz środowiska i społeczeństwa europejskiego. Takie sformułowanie wiodącego problemu V Sympozjum umożliwiło wymianę doświadczeń specjalistów z różnych dziedzin zajmujących się technologią geoinformatyczną. Wagę wiodącego tematu V Sympozjum potwierdziła znaczna liczba przesłanych do organizatorów propozycji wystąpień. Ponad 100 zgłoszonych propozycji rozdzielono na sesje plenarne i posterowe o następujących tematach:

- 1) Wykorzystanie geoinformatyki w rozwiązywaniu problemów społecznych oraz poprawie jakości życia,
- 2) Pozyskiwanie i przetwarzanie geodanych,
- 3) Geoinformatyka w monitoringu środowiska,
- 4) Zmiany w środowisku – monitoring, modelowanie, prognozowanie,
- 5) Geoinformatyka w ochronie środowiska,
- 6) Zagrożenia i katastrofy przyrodnicze – monitoring, modelowanie, prognozowanie.

W referatach wygłoszonych w czasie sesji „*Wykorzystanie geoinformatyki w rozwiązywaniu problemów społecznych oraz poprawie jakości życia*” zwrócono uwagę na zastosowanie systemów informacji geograficznej w administrowaniu terenami na poziomie gmin i powiatów oraz w identyfikacji zjawisk niekorzystnych dla ich rozwoju. Tematyka „*Pozyskiwanie i przetwarzanie geodanych*” była reprezentowana najliczniej, co pozwoliło na zorganizowanie dwóch sesji pod tym tytułem. Zaprezentowano między innymi metody pozyskiwania danych za pomocą fal sprężystych, a także coraz częściej wykorzystywaną metodę naziemnego i lotniczego skaningu laserowego, przedstawiono również wyniki przetwarzania zdjęć z wykorzystaniem transformacji falkowej. W wielu

referatach pojawiała się kwestia jakości geodanych. W sesjach „*Geoinformatyka w monitoringu środowiska*”, „*Zmiany w środowisku – monitoring, modelowanie, prognozowanie*”, „*Geoinformatyka w ochronie środowiska*” oraz „*Zagrożenia i katastrofy przyrodnicze – monitoring, modelowanie, prognozowanie*” spektrum analizowanych zjawisk było bardzo szerokie, od monitoringu zmian lodowców Svalbardu przez ocenę tempa osiadania gruntu na obszarach górniczych w Polsce, po modelowanie prawdopodobieństwa występowania wielkich pożarów na Ziemi. Tematyka sesji posterowej w dużym stopniu nawiązywała do tematyki obrad plenarnych; najwięcej prac dotyczyło monitoringu zmian w środowisku oraz pozyskiwania i przetwarzania geodanych. W czasie sympozjum odbyła się także sesja panelowa pt. „*Drogi pogłębiania integracji środowisk geoinformatycznych*”. Panelistami byli członkowie Komitetu Naukowego Sympozjum: przedstawiciele organizacji i towarzystw naukowych oraz naukowo-technicznych.

Przegląd problemów związanych z wykorzystaniem technologii geoinformatycznej w działaniach na rzecz społeczeństwa i środowiska jest czymś niezwykle ważnym dla oceny trendów rozwoju dyscypliny, stąd też powinien być dokonywany co jakiś czas. Dobrą okazją do takiego przeglądu jest próba analizy prac, przedstawianych w jednym czasie w ramach ogólnopolskiej konferencji, a następnie proponowanych do druku w krajowych czasopismach naukowych. Sytuacja taka miała miejsce po V Ogólnopolskim Sympozjum Geoinformacyjnym.

Pierwszą kwestią, na którą warto zwrócić uwagę, jest duża liczba prezentacji w czasie sympozjum (ponad 100), skutkująca dużą liczbą artykułów zakwalifikowanych do druku w oparciu o pozytywne merytoryczne recenzje wykonane przez ekspertów powołanych przez komitety wydawnicze. 40 publikacji zamieszczonych w tym obszernym tomie *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji* stanowi większą część artykułów złożonych przez autorów. Około 1/3 nadesłanych artykułów zostało jednak opublikowanych w dwóch innych ogólnopolskich czasopismach naukowych (*Teledetekcja środowiska* oraz *Geoinformatica Polonica*). Zwraca uwagę duża liczba publikacji młodych autorów lub zespołów autorskich, reprezentowanych przez coraz liczniejsze na polskich uczelniach grono doktorantów.

Zakres tematyczny prac opublikowanych w tym tomie *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji* jest bardzo szeroki. Przeważają prace dotyczące technicznych aspektów pozyskiwania danych, na przykład za pomocą naziemnego i lotniczego skaningu laserowego, czy też coraz powszechniejszych kamer cyfrowych wysokiej rozdzielczości. Istotnym i często poruszonym zagadnieniem jest zarówno kwestia jakości danych, jak i próby przedstawienia nowatorskich metod przetwarzania danych, prowadzących do pozyskiwania użytecznej informacji. Autorzy podejmują także kwestie modelowania 3D, zagadnienia dotyczące infrastruktury informacji przestrzennej oraz zarządzania informacją przestrzenną – w różnych skalach i dla różnych potrzeb, a także problemy modelowania kartograficznego. Ciekawy nurt wśród publikowanych prac reprezentują artykuły dotyczące coraz szerszego udostępniania danych w internecie (geoportale) i możliwościami wykorzystania tych danych oraz funkcjonalności geoportali do różnych potrzeb.

Spoglądając od strony aplikacyjnej, w publikowanym tomie spotykamy różnorodne prace dotyczące ulepszania metod pomiarowych w różnych dziedzinach (w tym na przykład medycznych pomiarów wad postaw), monitoringu oraz optymalizacji zmian użytkowania ziemi, zagadnień modelowania klimatycznego czy też hydrologicznego.

Powyższe wnioski napawają pewnym optymizmem co do przyszłości geoinformatyki w Polsce i jej szerokiego wykorzystania w różnych dziedzinach życia. W czasie sympozjum – szczególnie w ramach sesji panelowej – pojawiły się jednak także wątki związane z niebezpieczeństwem dezintegracji dyscypliny i środowiska osób zajmujących się geoinformatyką. W tym kontekście, szeroki zakres podejmowanych zagadnień jest nie tyle dowodem dynamizmu dyscypliny, ale raczej źródłem coraz większych trudności w porozumiewaniu się jej przedstawicieli, na tle ich odrębnych zainteresowań oraz często podstawowych problemów terminologicznych. Niebezpieczeństwo takie dostrzegane jest we wszystkich organizacjach naukowych zajmujących się geoinformatyką, należy więc podkreślić, że właśnie idea wspólnych spotkań, od lat promowana przez organizatorów kolejnych Sympozjów Geoinformacyjnych, jest jedną z ważniejszych form przeciwdziałania dezintegracji oraz czerpania z bogactwa i wewnętrznego zróżnicowania geoinformatyki.

PREFACE

KEY WORDS: geoinformatics, environment, society

SUMMARY: Preface presents the results of the 5th Polish Geoinformation Symposium, held in Kraków in September 2009. The symposium, entitled „Geoinformatics for environment and society”, gathered more than 130 scientists from both Polish and foreign research and academic centres. Papers in this volume reflect final elaboration of results presented at the symposium. They refer to almost all aspects of acquisition, processing and applying geographic information. Problems are presented either from the technical, or application-driven point of view, reflecting a diversity of problems related to solving environmental problems with geoinformation.

Prof. dr hab. inż. Józef Jachimski
e-mail: jachimski.jozef@wp.pl
telefon: +48 603112446

dr hab. Jacek Kozak
e-mail: jacek.kozak@uj.edu.pl
telefon: +48 12 6645299
fax: +48 12 6645385

dr Małgorzata Luc
e-mail: malgorzata.luc@uj.edu.pl
telefon: +48 12 6645322
fax: +48 12 6645385

TECNOLOGIA OPRACOWANIA RASTROWYCH MAP TURYSTYCZNYCH Z DANymi OPISOWymi OBIEKTÓW*

TECNOLOGY OF PREPARING RASTER MAPS WITH DESCRIPTIVE DATA OF POINTS OF INTEREST

Anna Banaszek¹, Sebastian Banaszek¹, Aleksander Żarnowski²

¹ Katedra Gospodarki Nieruchomościami i Rozwoju Regionalnego, Wydział Geodezji i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie,

² Katedra Fotogrametrii i Teledetekcji, Wydział Geodezji i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

SŁOWA KLUCZOWE: SIP, mapa, raster, dane, turystyka

STRESZCZENIE: Mapy turystyczne są jedną z kategorii map przeznaczonych dla użytkownika masowego. Z tego powodu produkt ten powinien spełniać wiele warunków, m.in. być tanim, prostym w użytkowaniu, łatwo i szybko aktualizowanym, wykorzystywać standardowy komputer, nawigację lub telefon komórkowy. U podstaw opracowanej technologii tworzenia interaktywnych map rastrowych z danymi opisowymi leżą badania przedstawione w artykule, w tym między innymi: klasyfikacja obiektów turystycznych, e-symbole jako instrument do zapisywania danych opisowych na mapach rastrowych, oprogramowanie do edytowania map, przeglądarka do wizualizacji standardowych raportów i inne. Przykłady opracowania map i ich treści pokazują, że opracowana technologia może być wykorzystana na potrzeby innych map tematycznych.

1. WPROWADZENIE

Mapy turystyczne są jedną z kategorii map przeznaczonych dla użytkownika masowego. Z tego powodu produkt ten powinien spełniać wiele warunków, m.in. być tanim, prostym w użytkowaniu, łatwo i szybko aktualizowanym, wykorzystywać standardowy komputer, nawigację lub telefon komórkowy.

Mapa turystyczna powinna zawierać wystarczający do sprawnego poruszania się i identyfikacji poszczególnych obiektów oraz ich funkcji zakres informacji, możliwie

bez konieczności posiłkowania się dodatkowymi bazami danych, czy to w postaci drukowanych przewodników, czy skomplikowanego oprogramowania zawierającego oprócz podkładu mapowego również semantyczne bazy danych.

W związku z powyższym, autorzy postanowili zrealizować technologie zapisywania danych opisowych i dodatkowych o obiektach turystycznych na mapach rastrowych za pomocą teorii generowania e-symboli (Żarnowski, 2003).

2. PROBLEM BADAWCZY

Problem badawczy polega na opracowaniu nowego rodzaju rastrowych map turystycznych wzbogaconych danymi opisowymi o obiektach turystycznych na podstawie klasyfikacji tych obiektów i standaryzacji treści danych opisowych. Przy realizacji zadania pojemność informacyjna turystycznej mapy rastrowej może być nie mniejsza niż mapy wektorowej zawartej w SIP.

3. MAPA RASTROWA DLA CELÓW TURYSTYCZNYCH

Mapa rastrowa, będąca cyfrową reprezentacją mapy wykonanej w konkretnej skali i odwzorowaniu kartograficznym, tworzona jest najczęściej poprzez skanowanie map analogowych. Stała rozdzielczość takiej mapy powoduje, że nadaje się ona najlepiej do odwzorowania niewielkich obszarów, uniemożliwiających powstawanie zniekształceń charakterystycznych dla wybranego odwzorowania kartograficznego. W odróżnieniu od map wektorowych (których wykonanie za pomocą wektoryzacji materiałów źródłowych jest procesem pracochłonnym i długotrwałym), mapa rastrowa, ze względu na niewielki nakład pracy potrzebny do jej stworzenia, może być wykorzystywana z powodzeniem dla celów „amatorskich” np. turystycznych.

Mapą turystyczną możemy nazwać każdą mapę przeznaczoną do użytkowania przez turystów, zawierającą przede wszystkim informacje o miejscach godnych zwiedzenia (zabytkach architektury i przyrody, pamiątkach historycznych i narodowych), szlakach turystycznych (pieszych, rowerowych, samochodowych), środkach komunikacji (przystankach autobusowych, stacjach kolejowych, przystaniach promowych), a także infrastrukturze turystycznej i rozrywkowej (miejscach noclegowych, restauracjach, kinach, barach, dyskotekach).

Jedną z najczęściej używanych map turystycznych jest mapa drogowa (atlas samochodowy), realizowana w skalach zależnych głównie od obejmowanego obszaru, gęstości dróg, szczegółowości opracowania oraz dodatkowo zawartych elementów. Wśród map drogowych możemy wyróżnić:

- przeglądowe mapy drogowe (obejmujące cały np. kontynent w skali rzędu 1:3 000 000) zawierające tylko najważniejsze drogi i największe miasta,
- mapy obejmujące pojedyncze kraje (kraj wielkości Polski odwzorowywany jest w skali rzędu od 1:750 000 do 1:1 000 000),
- szczegółowe mapy drogowe (obejmujące poszczególne regiony w skali rzędu od 1:200 000 do 1:400 000).

Na mapach drogowych najczęściej przedstawione zostają w sposób schematyczny szczegóły topograficzne, w szczególności rzeki i strumienie, zbiorniki wodne, linie kolejowe czy sieć dróg, wzbogacone o informacje przydatne osobom podróżującym samochodem, w tym turystom, dotyczące m.in. lokalizacji parkingów, stacji benzynowych, hoteli i moteli, drogowych przejść granicznych, lasów, rezerwatów przyrody, zabytków itp.

Uzupełnieniem map drogowych i atlasów samochodowych są często schematyczne plany miast, zazwyczaj w stosunkowo dużej skali rzędu 1:100 000.

Skala planu miasta w formie tradycyjnej (papierowej) stanowi kompromis pomiędzy jego szczegółowością, rozmiarami arkusza papieru, na którym plan jest wydrukowany i rozległością miasta. Na ogół zawiera się w przedziale od 1:20 000 do 1:30 000.

Plany miast z reguły przedstawiają – oprócz siatki ulic wraz z ich nazwami – położenie ważniejszych obiektów w mieście: zabytków, kościołów, muzeów, szpitali, aptek, posterunków policji, parków, stacji benzynowych itp., a także linii autobusowych, tramwajowych, trolejbusowych, metra i kolei oraz ich przystanków i stacji. Do planu zazwyczaj dołączony jest spis ulic i ważniejszych obiektów.

Tego rodzaju mapy obecnie mogą być wykorzystywane zarówno w postaci tradycyjnego wydruku, jak i w postaci cyfrowej z zastosowaniem urządzeń GPS i telefonów komórkowych.

Obecny poziom technologiczny i ogólna dostępność nowoczesnych urządzeń cyfrowych otwiera przed nami nowe możliwości wzbogacenia treści turystycznych map rastrowych, w tym map drogowych, o szereg informacji istotnych z punktu widzenia końcowego odbiorcy. Zastosowanie technologii wykorzystującej generowanie e-symboli i ich wpasowanie w mapę rastrową dodatkowo obniża koszty i upraszcza proces wzbogacania map o nowe informacje, a przede wszystkim ułatwia ich dystrybucję i odbiór niezaawansowanym użytkownikom z wykorzystaniem przeglądarki na komputerze lub telefonie komórkowym.

Zakres informacyjny mapy turystycznej można powiększyć o dowolny zestaw informacji np. w odniesieniu do miejsca noclegowego można udostępnić informacje dotyczące m.in.: nazwy, standardu, adresu, numeru telefonu, adresu e-mail, adresu strony internetowej, współrzędnych geograficznych, rodzaju i wyposażenia pokoi, usług dodatkowych czy cen. W przypadku kina, poza powyższym zestawem, można opatrzyć taki obiekt dodatkową informacją o godzinach otwarcia, liczbie sal, liczbie miejsc, cenie biletów czy repertuarze. Tak dobrany zestaw informacji należy uważać za przykładowy i otwarty, elastyczność GIS umożliwia wzbogacenie treści mapy o dowolny rodzaj informacji (Banaszek *et. al.*, 2008).

Dane opisowe z punktu widzenia organizacji wpasowania danych opisowych do mapy rastrowej mogą być podzielone na dane o:

- lokalizacji obiektu,
- rodzaju obiektu turystycznego,
- charakterystyce tego obiektu.

Pierwsze dwa rodzaje danych mogą być zaliczane do rodzaju „metadanych” obiektu turystycznego.

4. WSTĘPNA IDENTYFIKACJA LOKALIZACJI OGÓLNEJ OBIEKTÓW TURYSTYCZNYCH

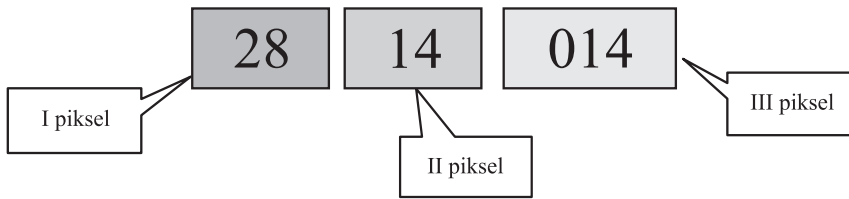
Wstępna identyfikacja lokalizacji ogólnej obiektów turystycznych dokonana została na podstawie rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 15 grudnia 1998 r. w sprawie szczegółowych zasad prowadzenia, stosowania i udostępniania krajowego rejestru urzędowego podziału terytorialnego kraju oraz związanych z tym obowiązków organów administracji rządowej i jednostek samorządu terytorialnego. W załączniku nr 1 w/w rozporządzenie przedstawiono identyfikatory i nazwy jednostek podziału terytorialnego kraju. Tabela nr 1 zawiera identyfikatory dla województwa warmińsko-mazurskiego.

Tab. 1. Identyfikatory jednostek terytorialnego podziału kraju w województwie warmińsko-mazurskim (fragment).

Nazwa jednostki	Identyfikator
WOJ. WARMIŃSKO-MAZURSKIE	28
Powiat bartoszycki	2801
...	...
Powiat olsztyński	2814
Gminy:	
Barczewo	281401 3
Barczewo - miasto	281401 4
Barczewo - obszar wiejski	281401 5
...	...
Świątki	281412 2
Powiat ostródzki	2815
Powiat piski	2816
Powiat szczycieński	2817
Powiat m. Elbląg	2861
Powiat m. Olsztyn	2862

Źródło: na podstawie Dz.U. 1998 nr 157 poz. 1031 z póź. zm.

Jak z powyższego wynika najmniejszej jednostce podziału administracyjnego kraju jakim jest gmina przyporządkowano 7 cyfrowe kody. Umieszczenie ich na mapie rastrowej wymaga opracowania systemu kodowania umożliwiającego bezpośrednie odczytanie ich przez komputer. Wykorzystane dla tego celu zostaną właściwości rastra, który w rzeczywistości stanowi zbiór pikseli oraz sposobu określania stopnia szarości lub barwy przez komputer. Dla opracowania rastrowych map turystycznych wykorzystujemy grafikę 8-bitową. Przedstawmy system kodowania na podstawie gminy Barczewo – miasto położonej w powiecie olsztyńskim w województwie warmińsko-mazurskim i oznaczonej identyfikatorem - 281401 4. Mając powyższe na uwadze można przyjąć, że siedmiocyfrowy identyfikator o zakresie cyfr używanych na potrzeby rozporządzenia można przedstawić za pomocą trzech pikseli: I piksel – identyfikuje województwo, drugi powiat, a trzeci gminę (Rys. 1).



Rys. 1. System kodowania identyfikatorów jednostek podziału terytorialnego kraju.

Przedstawiona klasyfikacja lokalizacji ogólnej obiektów turystycznych daje możliwość zmniejszenia zapisywanych danych opisowych na mapie rastrowej, przez wykorzystanie wskaźnika e-symbolu, jako źródła „metadanych” obiektu.

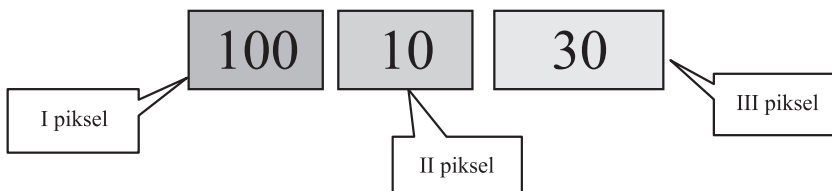
5. KLASYFIKACJA OBIEKTÓW TURYSTYCZNYCH

Klasyfikacji obiektów turystycznych dokonamy na przykładzie klasyfikacji obiektów noclegowych uregulowanej w ustawie o usługach turystycznych z dnia 29 sierpnia 1997 r. Zgodnie z w/w ustawą wyróżnia się następujące rodzaje obiektów hotelarskich:

- 1) hotele (pięć kategorii oznaczonych gwiazdkami),
- 2) motele (pięć kategorii oznaczonych gwiazdkami),
- 3) pensjonaty (pięć kategorii oznaczonych gwiazdkami),
- 4) kempingi (cztery kategorie oznaczone gwiazdkami),
- 5) domy wycieczkowe (trzy kategorie oznaczone cyframi rzymskimi),
- 6) schroniska młodzieżowe (trzy kategorie oznaczone cyframi rzymskimi),
- 7) schroniska,
- 8) pola biwakowe.

Dla poszczególnych obiektów noclegowych na potrzeby ich identyfikacji proponuje się zastosować identyfikatory zgodne z przedstawionymi w tabeli 2.

Przedstawimy system kodowania obiektów noclegowych na zasadach wyżej przedstawionych (I piksel – identyfikuje obiekt turystyczny, drugi jego rodzaj, a trzeci klasę). Identyfikator dla obiektu hotelowego 3* - 10010 30 przedstawia rysunek 2.



Rys. 2. System kodowania identyfikatorów dla obiektów turystycznych na przykładzie obiektu noclegowego.

Tab. 2. Identyfikatory obiektów turystycznych na przykładzie obiektów noclegowych.

Nazwa obiektu turystycznego	Identyfikator	Nazwa obiektu turystycznego	Identyfikator
OBIEKT NOCLEGOWY	100	OBIEKT NOCLEGOWY	100
Hotel	10010	Kemping	10040
1*	10010 10	1*	10040 10
2*	10010 20	2*	10040 20
3*	10010 30	3*	10040 30
4*	10010 40	4*	10040 40
5*	10010 50	Dom wycieczkowy	10050
Motel	10020	I	10050 10
1*	10020 10	II	10050 20
2*	10020 20	III	10050 30
3*	10020 30	Schronisko młodzieżowe	10060
4*	10020 40	I	10060 10
5*	10020 50	II	10060 20
Pensjonat	10030	III	10060 30
1*	10030 10	Schronisko	10070
2*	10030 20	Pole biwakowe	10080
3*	10030 30		
4*	10030 40		
5*	10030 50		

Źródło: na podstawie Dz.U. 1997 Nr 133 poz. 884 z póź. zm.

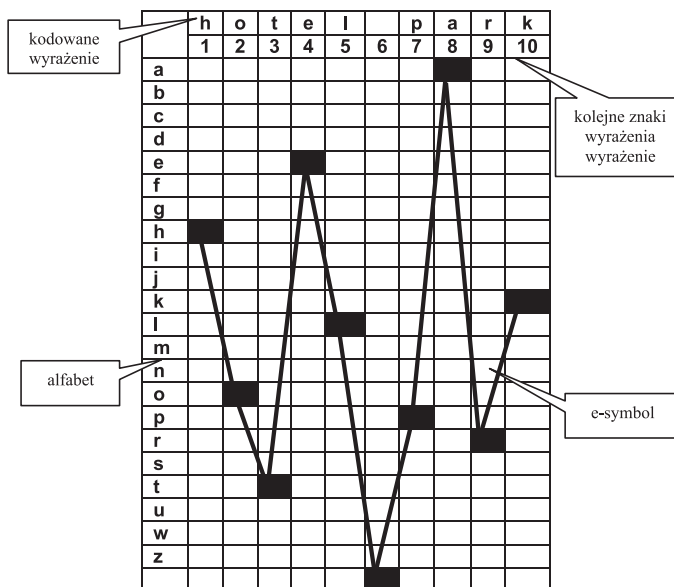
Na potrzeby przeprowadzenia badań wybrano obszar miasta Olsztyn w zakresie obiektów noclegowych hotelowych 3*, których listę przedstawia tabela 3.

Na potrzeby kodowania danych adresowych (lokalizacji szczegółowej) obiektów turystycznych wykorzystano teorię e-symboli, w której e-symbol definiowany jest jako e-symbol wygenerowany wg matematycznie określonych zasad na podstawie alfabetu źródłowego. Jest to symbol graficzny rejestrowany na obrazie rastrowym, którego główną cechą jest odzwierciedlenie słowa napisanego w wybranym języku bez strat informacyjnych (Żarnowski, 2003). Dla przykładu przedstawiono nazwę jednego z w/w hoteli: Hotel Park (Rys. 3).

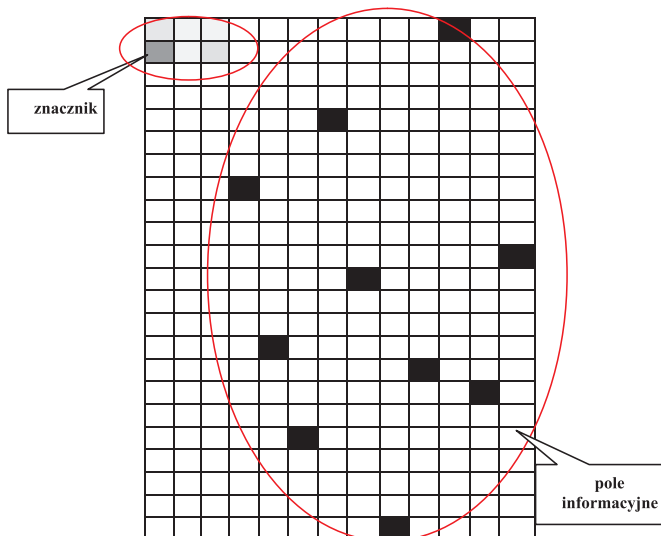
Na rysunku 4 przedstawiono pełny symbol przedstawiający podstawowe informacje o Hotelu Park składający się z dwóch części: znacznika (zawierającego metadane) i pola informacyjnego przedstawionego w postaci e-symbolu.

Tab. 3. Lista hoteli 3* miasta Olsztyn.

Lp.	Nazwa	Adres
1.	Hotel Kur	ul. Bałtycka 89, 10-189 Olsztyn
2.	Hotel Novotel	ul. Sielska 4A, 10-802 Olsztyn
3.	Hotel OST Gromada	Plac Konstytucji 3-go Maja 4, 10-403 Olsztyn
4.	Hotel Park	ul. Warszawska 119, 10-701 Olsztyn
5.	Hotel Warmiński	ul. Kołobrzeska 1, 10-447 Olsztyn



Rys. 3. E-symbol nazwy hotelu: Hotel Park.



Rys. 4. Symbol zawierający znacznik i pole informacyjne.

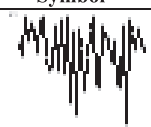
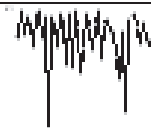
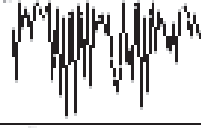
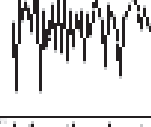

Zautomatyzowanie procesu tworzenia, optymalizacji, generowania i umieszczania na rastrze e-symboli wymagało stworzenia pakietu oprogramowania zawierającego:

- 1) Analizator tekstów – GZA_Analizator – głównym zadaniem programu jest przeprowadzanie analizy wprowadzonego tekstu pod kątem wykorzystanego w nim alfabetu oraz jego optymalizacji.
- 2) Generator e-symboli – GZA_Gen_Symboli – głównym zadaniem programu jest wygenerowanie e-symbolu w postaci znaku kartograficznego lub obrazu cyfrowego, na podstawie alfabetu utworzonego w programie GZA_Analizator oraz wprowadzonego tekstu.
- 3) Edytor map rastrowych – EZA_Edytor_MR – program służący do manualnego wpasowywania wygenerowanych e-symboli na mapę rastrową.
- 4) Przeglądarka graficzna – EAZ_Browser_Map_ZDO – program służący do przeglądania wygenerowanych map rastrowych wzbogaconych o e-symbole (Banaszek, *et. al.*, 2008).

Zastosowanie omówionego pakietu doprowadziło do wygenerowania dla wcześniej wybranych dla obiektów hotelowych następujących e-symboli (Tab. 4):

Przykładowe zastosowanie e-symboli przedstawiono na rysunku 5 dla obiektu noclegowego: Hotel Park.

Tab. 4. E-symbole wygenerowane dla poszczególnych obiektów hotelowych.

Lp.	Hotel	Symbol
1.	Hotel Kur	
2.	Hotel Novotel	
3.	Hotel OST Gromada	
4.	Hotel Park	
5.	Hotel Warmiński	



Rys. 5. E-symbol zawierający informacje o Hotelu Park przedstawiony na rastrze fragmentu planu miast Olsztyn.

6. WNIOSKI

Wykorzystanie e-symboli do zapisywania na mapie rastrowej danych opisowych obiektów turystycznych i rekreacyjnych daje możliwość wzbogacenia treści mapy sporządzanej na potrzeby turystyczne o informacje, które trudno jest przedstawić w postaci piktogramów.

Zastosowanie na potrzeby identyfikacji lokalizacji ogólnej identyfikatorów wymienionych w załączniku nr 1 rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 15 grudnia 1998 r. w sprawie szczegółowych zasad prowadzenia, stosowania i udostępniania krajowego rejestru urzędowego podziału terytorialnego kraju oraz związanych z tym obowiązków organów administracji rządowej i jednostek samorządu terytorialnego pozwala w znaczący sposób zmniejszyć wielkość znacznika (ograniczając go do 3 pikseli) oraz powoduje uniwersalność zastosowanego rozwiązania.

Mapa rastrowa wzbogacona o dodatkowe dane opisowe staje się nośnikiem całej niezbędnej informacji, przestaje istnieć konieczność tworzenia dodatkowych baz semantycznych. Koszty opracowania mapy będą dużo niższe od kosztów standardowych rozwiązań stosowanych w SIP-technologii. Przeglądarka map rastrowych z danymi opisowymi może być zainstalowana na zwykłym komputerze lub telefonie komórkowym z dowolnym wyświetlaczem zarówno czarno-białym jak i kolorowym.

7. LITERATURA

Banaszek A., Banaszek S., Żarnowski A. 2008. Oprogramowanie do zapisywania danych opisowych na mapie rastrowej (na przykładzie map turystycznych). *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 18 A. Wyd. AFKiT, Szczecin.

Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 15 grudnia 1998 r. w sprawie szczegółowych zasad prowadzenia, stosowania i udostępniania krajowego rejestru urzędowego podziału terytorialnego kraju oraz związanych z tym obowiązków organów administracji rządowej i jednostek samorządu terytorialnego (Dz.U. 1998 nr 157 poz. 1031 z póź. zm.).

Ustawa o usługach turystycznych z dnia 29 sierpnia 1997 r. (Dz.U. 1997 Nr 133 poz. 884 z póź. zm.).

Żarnowski A. 2003. E-język i generowanie symboli E-języka na podstawie transformacji „tekst-grafika”. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 13A, Wrocław.

TECHNOLOGY OF PREPARING RASTER MAPS WITH DESCRIPTIVE DATA OF POINTS OF INTEREST

KEYWORDS: SIP, map, raster, data, tourism

SUMMARY: Tourist maps are one category of map designed for the mass user. For this reason this product needs to meet several requirements, e.g., it needs to be cheap, simple to use, easily and rapidly updated using a standard computer, navigation software and a mobile phone. The research presented in this paper, including e.g., the classification of points of interest, e-symbols as a tool to save descriptive data on raster maps, map editing software, and a browser for visualizing standard reports, forms the basis for a technology for creating interactive raster maps with descriptive data. Examples of preparing maps and their content show that the technology developed might be used for other thematic maps.

dr Anna Banaszek
anna.banaszek@uwm.edu.pl
telefon: +48 89 5234396

dr inż. Sebastian Banaszek
banaszek@uwm.edu.pl
telefon: +48 89 5234396

dr hab. inż. Aleksander Żarnowski
aleksander.zarnoski@uwm.edu.pl
telefon: +48 89 5233549

* wersja kolorowa artykułu jest dostępna na stronie <http://www.sgp.geodezja.org.pl/ptfit>

**OCENA JAKOŚCI NMPT TWORZONEGO
METODĄ DOPASOWANIA CYFROWYCH ZDJĘĆ LOTNICZYCH***

**EVALUATION OF DSM QUALITY GENERATED
FROM DIGITAL MATCHING OF AERIAL IMAGERY**

Tomasz Biegała, Ryszard Preuss

Zakład Fotogrametrii, Teledetekcji i Systemów Informacji Przestrzennej,
Politechnika Warszawska

SŁOWA KLUCZOWE: NMT, NMPT, true-ortho, modele 3D miast, dopasowanie obrazów, LIDAR, cyfrowe zdjęcia lotnicze

STRESZCZENIE: Niniejszy artykuł prezentuje rezultaty badań uzyskane w zakresie budowy gęstego numerycznego modelu pokrycia terenu (NMPT) na podstawie chmury punktów generowanej przy pomocy programu Match-T DSM firmy INPHO. Do badań wykorzystano zdjęcia cyfrowe sporządzone kamerą Ultra Cam-D o pikselu terenowym 9 cm co pozwala przyjąć, że wyznaczone parametry jakościowe są reprezentatywne dla obszarów miejskich – zurbanizowanych. Określono istotne czynniki, które wpływają na przebieg automatycznego procesu korelacji. Finalnie na obiekcie eksperymentalnym uzyskano NMPT w strukturze GRID o rozmiarach 0.5 m wygenerowanej przeciętnie z ponad 30 punktów źródłowych przypadających na jedno oczko, wyznaczonych w procesie automatycznej korelacji zdjęć. Jakość geometryczną tak utworzonego produktu oceniono poprzez porównanie go z danymi pozyskanymi dla tego samego terenu techniką lotniczego skaningu laserowego (ALS). Utworzone wysokościowe modele różnicowe potwierdzają, że NMPT utworzony techniką automatycznej korelacji cyfrowych zdjęć lotniczych charakteryzuje się dokładnością wysokościową wyższą niż 0.20 m. Dodatkowo stwierdzono, że przy zastosowaniu większego pokrycia podłużnego i poprzecznego zdjęć następuje znaczne ograniczenie martwych pól (gdzie punkty NMPT nie są wyznaczane). Stosowanie stereogramów o zmiennym stosunku bazowym prowadzi do utworzenia NMPT o różnicowanej charakterystyce dokładnościowej. Przeprowadzone badania wskazują, że tworzenie gęstego NMPT drogą dopasowania obrazów zdjęć cyfrowych może być konkurencyjne do uzyskiwanego z lotniczego skaningu laserowego.

1. WPROWADZENIE

Numeryczny model terenu (NMT) oraz numeryczny model pokrycia terenu (NMPT) to dwa standardowe samodzielne produkty, które znajdują coraz szersze zastosowania.

Są one również coraz częściej stosowane jako dane źródłowe do tworzenia takich produktów nowej generacji jak trójwymiarowe modele miast czy true-ortho. Produkty takie są opracowywane na ogół dla obszarów aglomeracji miejskich i dlatego muszą spełniać określone standardy techniczne np.: być zgodne z modelem CityGML. Tym wymaganiom technicznym mogą sprostać tzw. gęste NMT lub NMPT. Pod tymi pojęciami należy rozumieć dyskretne punkty (w liczbie od kilku do kilkudziesięciu punktów na m²) odzwierciedlające ukształtowanie pionowe terenu z dokładnością kilkunastu centymetrów. Wymienione kryteria od kilkunastu lat z powodzeniem spełnia technika lotniczego skaningu laserowego (ALS).

Dane z lotniczego skaningu laserowego charakteryzują się następującymi cechami:

- regularne pokrycie obszaru danymi pomiarowymi,
- duża gęstość pomiaru (aktualnie do kilkudziesięciu punktów na m²),
- wysoka dokładność wyznaczenia wysokości (od kilku do kilkunastu cm),
- niewielka liczba szumów (błędnych pomiarów),
- zdolność penetracji wiązki pomiarowej poprzez roślinność.

Praktycznie jedyną wadą techniki ALS jest częsty brak synchronizacji procesu rejestracji tych danych z danymi obrazowymi (zdjęciami lotniczymi) co podnosi łączne koszty pozyskiwania danych źródłowych. Firmy produkujące sprzęt próbują ograniczyć ten mankament poprzez integrowanie skanera lotniczego z cyfrową kamerą lotniczą.

Innym sposobem pozyskiwania gęstego NMT lub NMPT może być jego generowanie techniką dopasowania obrazów (*matching*) stereogramów zdjęć lotniczych. Temu zagadnieniu poświęcono wiele badań w latach 90. poprzedniego wieku, tj. w okresie, gdy technika dopasowania obrazów jako proces w pełni automatyczny została wdrożona do produkcji (Gluech, 2009). W tym czasie jednak do tego procesu wykorzystywano zeskanowane zdjęcia analogowe.

Proces dopasowania obrazów na takich zdjęciach charakteryzował się następującymi wadami:

- punkty korelowane nie pokrywały regularnie obszaru stereogramu,
- gęstość wyznaczanych punktów była niewystarczająca dla gęstego NMT,
- dla standardowego pokrycia zdjęć (60/20) występowały liczne martwe pola,
- zbiory danych wynikowych zawierały dużo szumów (obserwacji odstających).

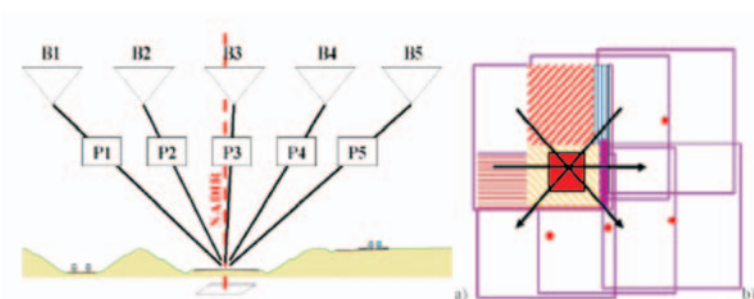
Po 2001 roku do rejestracji danych obrazowych zaczęto stosować cyfrowe kamery lotnicze. Obrazy pozyskiwane tymi kamerami posiadają radiometrię o głębi 11 bitów i charakteryzują się znacznie korzystniejszym współczynnikiem sygnału do szumu w porównaniu z obrazami cyfrowymi pozyskiwanymi drogą skanowania analogowych zdjęć lotniczych. Te kamery zmieniły również podejście do krycia zdjęciami terenów zurbanizowanych. Dla obszarów pokrytych zwartą i wysoką zabudową powszechnie zaczęto stosować zwiększone pokrycie podłużne i poprzeczne (80/60) zdjęć, a niekiedy jeszcze większe. Jednocześnie rozwinięto nowe pakiety oprogramowania do cyfrowego dopasowania zdjęć opartego na procedurze „multi-image matching” umożliwiające wykorzystanie zdjęć o zwiększonym pokryciu. W celu eliminacji punktów skorelowanych na roślin-

ności wykorzystuje się w niektórych programach obraz w podczerwieni (CIR), który jest standardowo rejestrowany we współczesnych kamerach cyfrowych. Wymienione zmiany technologiczne wprowadzone do rejestracji danych obrazowych oraz modyfikacje oprogramowania przyczyniły się do jakościowej poprawy produktów uzyskiwanych techniką dopasowania obrazów cyfrowych zdjęć lotniczych (Lemaire, 2008; Gluech, 2009).

W Zakładzie Fotogrametrii, Teledetekcji i SIP Politechniki Warszawskiej rozpoczęto w zeszłym roku prace nad różnymi uwarunkowaniami technicznymi i ekonomicznymi tworzenia true-ortho. Prace te są realizowane w ramach projektu badawczego nt. „Badanie jakości true-ortho w aspekcie wykorzystywanych do jego generowania danych źródłowych”. Do realizacji tych badań pozyskano cyfrowe zdjęcia lotnicze o rozdzielczości terenowej 9 cm oraz zakupiono pakiet oprogramowania firmy INPHO w tym program MATCH-T DSM do automatycznego generowania NMT/NMPT techniką dopasowania obrazów (*matching*). Niniejszy artykuł jest poświęcony prezentacji wyników badań w zakresie automatycznego dopasowania obrazów za pomocą tego oprogramowania.

2. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA GENEROWANIA NMPT TECHNIKĄ DOPASOWANIA OBRAZÓW PROGRAMEM MATCH-T DSM

Zakupiony do realizacji prac eksperymentalnych pakiet programów firmy Inpho, należy do grupy zaawansowanych nowoczesnych narzędzi informatycznych pozwalających na maksymalną automatyzację procesu przetwarzania danych obrazowych na gotowe produkty zasilające bazy danych GIS. Oprogramowanie MATCH-T DSM pozwala na optymalne określenie NMT/NMPT ze zdjęć o zwiększonych pokryciach podłużnych i poprzecznych poprzez wykorzystanie procedury sekwencyjnego dopasowania obrazów (*multi-image matching*). Idea tego algorytmu jest pokazana na Rys. 1. Dopasowanie obrazów na stereogramach prowadzone jest dla ustalonego fragmentu terenu (Rys. 1b), a nie całej powierzchni stereogramu (Lemaire, 2008).



Rys. 1. Idea generowania NMT/NMPT ze zdjęć o zwiększonych pokryciach.

Dla tego obszaru są ustalane optymalne do korelacji zdjęcia realizujące najkorzystniejsze wyznaczenie wysokości. Ta procedura jest powtarzana wzdłuż sześciu kierunków względem bazy fotografowania. W efekcie dany fragment terenu jest rekonstruowany z wielu kombinacji stereogramów, co znacznie zwiększa zgęszczenie wyznaczanych punktów oraz eliminuje martwe pola występujące w przypadku stosowania pojedynczych stereogramów. Według tej zasady finalny produkt generowany jest sekwencyjnie dla całego obszaru opracowania. Proces ten jest w pełni automatyczny i ma charakter przetwarzania wsadowego. Poza procesem dopasowania obrazów program może realizować kolejne etapy obliczeniowe (filtrację i interpolację produktu PAKO punktów po bezpośrednim dopasowaniu) prowadzące do wytworzenia użytkowego NMT/NMPT w postaci struktury GRID. Etap filtracji jest niezbędny ze względu na występujące błędy wynikające z istniejących na zdjęciach szumów. Proces i efekty modułu filtracji dobrze ilustruje Rys. 2. Obiekty nie należące do powierzchni NMPT mogą być automatycznie usunięte poprzez dobór właściwych parametrów wygładzających chmurę skorelowanych punktów. Ostateczny wymiar struktury wynikowej GRID NMT/NMPT jest ustalany autonomicznie przez program i zależy to od liczby skorelowanych punktów. Dla wyznaczonego produktu finalnego podawana jest pełna charakterystyka statystyczna i dokładnościowa (przykład Tab. 1). Jak wynika z przedstawionej charakterystyki oprogramowania program MATCH-T DSM działa według ściśle ustalonej strategii, jednak uzyskiwane rezultaty są uzależnione od doboru szeregu parametrów sterujących takich jak: typ terenu, stopień wygładzania, współczynnik filtracji, gęstość korelacji, zakres progów paralaks i inne.



Rys. 2. Efekty działania modułu filtracji: 2a – model z punktów PAKO; 2b – model po przeprowadzeniu filtracji.

Dlatego też jakość produktu finalnego zależy również od doświadczenia osoby obsługującej charakteryzowany program. Takie doświadczenie jest szczególnie istotne przy opracowaniu terenów zurbanizowanych o wysokiej zabudowie.

Standardowymi produktami tego oprogramowania są:

- PAKO – punkty bezpośrednio z procesu korelacji (plik ASCII),
- NMT – odtwarzający ukształtowanie terenu (plik GRID),
- NMPT – odtwarzający ukształtowanie terenu+ pokrycie terenu (plik GRID),
- zestawienia statystyczne i dokładnościowe procesu obliczeniowego.

Wyznaczane autonomicznie oczko struktury GRID dla NMT/NMPT najczęściej osiąga wymiary rzędu 5 pikseli terenowych (GSD) wykorzystywanych zdjęć cyfrowych, natomiast dokładność określenia wysokości jest rzędu 2 piksele (GSD).

3. OPIS WYKONANYCH PRAC EKSPERYMENTALNYCH

Przeprowadzone badania zostały ukierunkowane na ocenę jakości NMPT możliwego do wyznaczenia drogą dopasowania obrazów zdjęć lotniczych. Wymagało to w pierwszym etapie wyznaczenia optymalnych parametrów sterujących dla programu MATCH-T DSM generującego NMPT w obszarze zurbanizowanym. Właściwą charakterystykę NMPT dla takiego typu terenu określono poprzez obliczenie gęstości i dokładności dopasowania wyznaczanych punktów w funkcji wykorzystywanej konfiguracji zdjęć (Biegała, 2008).

3.1. Charakterystyka wykorzystywanych materiałów

Głównym obszarem testowym, na którym były wykonywane prace eksperymentalne jest obszar Wrocławia. Obszar ten jest pokryty:

- zdjęciami z kamery cyfrowej UltraCam-D, o pikselu 0.09 m, pokryciu podłużnym $p=70\%$, i poprzecznym $q=60\%$,
- danymi wysokościowymi z lotniczego skaningu laserowego Optech ALT-M2050, pozyskanymi z wysokości 1000 m, o pokryciu poprzecznym szeregów 30% i średniej gęstości punktów laserowych 3-4 punkty/m²,
- obrysami budynków z bazy katastralnej.

Dane te były pozyskane w 2006 roku na zamówienie Urzędu Miasta Wrocławia i zostały udostępnione dla realizacji projektu przez firmę Tele Atlas oraz francuską firmę FiC Conseil. Dla potrzeb projektu wytypowano dwa obszary ze Starego Miasta, charakteryzujące się bardzo gęstą zabudową, o złożonych bryłach budynków ze skomplikowanymi kształtami dachów. Na jednym z nich występuje dodatkowo zieleń miejska (Rys. 3). Powyższe dane pozwoliły na kompleksowe, wariantowe przetwarzanie informacji i uzyskanie wiarygodnych odpowiedzi na postawione problemy badawcze.



Rys. 3. Fragmenty ortofotomap przedstawiające obszary testowe – Wrocław, Stare Miasto.

3.2. Określenie optymalnych parametrów sterujących

Dobór parametrów sterujących strategią działania programu MATCH-T ma istotny wpływ na rezultat finalny generowanego NMPT. W celu wyznaczenia optymalnych parametrów sterujących dla terenu zurbanizowanego przeprowadzono szereg wariantowych obliczeń przy różnych wartościach parametrów. Szczegółowa analiza uzyskiwanych wyników, poprzez ich porównywanie z danymi LIDAR, pozwoliła ostatecznie na określenie optymalnych parametrów sterujących. Do dalszych prac ostatecznie wytypowano i stosowano następujące parametry:

- typ terenu: ekstremalny (*extreme*),
- stopień wygładzenia terenu: niski (*low*),
- gęstość generowanych punktów: gęsta (*dense*),
- zakres progów paralaks: 15–20 pikseli,
- liczba iteracji algorytmów do wykrycia błędów dużych i małych: maksymalna,
- filtracja punktów ze względu na stopień wygładzenia terenu (*smoothing rate by curvature/3D points*): 0.15.

3.3. Badanie procesu automatycznego dopasowania

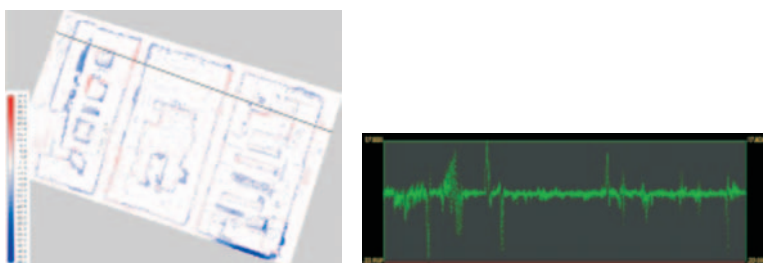
Wykorzystywany do prac badawczych program MATCH-T DSM tworzy bogatą dokumentację analityczną przeprowadzanego procesu dopasowania. W postaci pliku ASCII jest dokumentowana liczba skorelowanych punktów, średni błąd wysokościowy ich wyznaczenia oraz parametry wygenerowanego na ich podstawie NMT lub NMPT poprzez podanie: rozmiaru oczka struktury GRID, dokładności wysokościowej wyznaczonych węzłów GRID oraz ich ogólnej liczby na obszarze objętym obliczeniami. Wartości tych wszystkich parametrów dla obszaru testowego nr 1 są zamieszczone w tabeli 1.

Tab. 1. Zestawienie wyników korelacji dla obszaru nr 1.

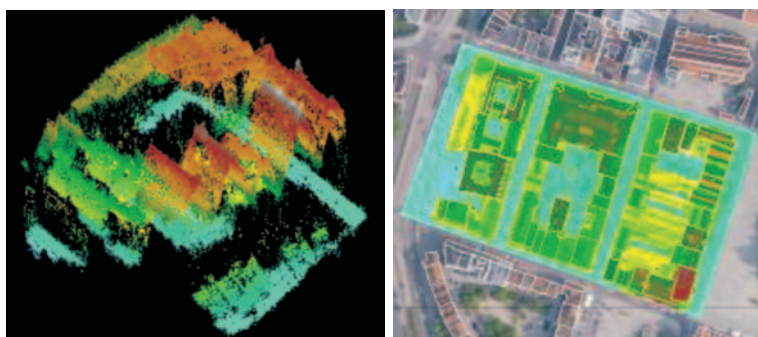
Pokrycie podłużne/poprzeczne zdjęć (%)	70/60	60/40
liczba 3D-punktów po filtracji	8 018 653	4 727 531
liczba generowanych punktów NMPT	201123	201123
liczba oczek GRID w obrębie NMPT	155468	155433
liczba 3D-punktów na oczko GRID	29.3	17.3
wymiar terenowy oczka GRID	0.47 [m]	0.47 [m]
teoretyczna dokładność wysokościowa 3D-punktów	0.36 [m]	0.24 [m]
szacowana dokładność wewnętrzna NMPT	0.14 [m]	0.22 [m]

Szczegółowa analiza statystyki załączonej w tabeli 1 wskazuje, że przeciętnie wynikowy punkt struktury GRID powstaje z interpolacji około 30 punktów wyznaczonych w procesie korelacji cyfrowych zdjęć lotniczych. Dokładność wysokościowa jego wyznaczenia na skutek tak dużej nadliczbowości jest ponad 2.5 razy wyższa niż dokładność

pojedynczego punktu korelowanego. Jakość geometryczna tak wyznaczonego NMPT została zweryfikowana poprzez porównanie tego produktu z danymi wysokościowymi pozyskanymi z lotniczego skaningu laserowego. W tym celu sporządzono modele różnicowe w programie SCOP++. Model taki został wygenerowany przy zastosowaniu struktury GRID o wymiarze oczka 10 cm. Na rysunku 4 przedstawiono lokalizację profilu kontrolnego na obszarze testowym oraz uzyskane wzdłuż tego przekroju odchyłki. Błąd średni określony w tym profilu wyniósł $m_z = \pm 17$ cm (po odrzuceniu błędów grubych powstałych na obrysach dachów). Widzimy, że dokładność NMPT oszacowana w programie MATCH-T DSM jest wiarygodna. Widoczne na profilu błędy grube (rzędu wysokości zabudowy) są wynikiem przyjętego modułu oczka siatki modelu różnicowego oraz występowania obszarów martwych pól zarówno dla danych ze skaningu laserowego jak i NMPT generowanego metodą cyfrowej korelacji zdjęć lotniczych. Ostateczne rezultaty generowania wysokościowego modelu pokrycia terenu zaprezentowano na rysunku 5. Po lewej stronie zwizualizowano chmurę punktów w rzucie aksonometrycznym, a po prawej jako model wysokościowy kodowany paletą barw. Z tych prezentacji możemy wnioskować, że modele takie z powodzeniem mogą być wykorzystywane zarówno do dalszego przetworzenia na model 3D miasta lub stanowić podstawę generowania



Rys. 4. Profil kontrolny; jego lokalizacja i uzyskane odchyłki.



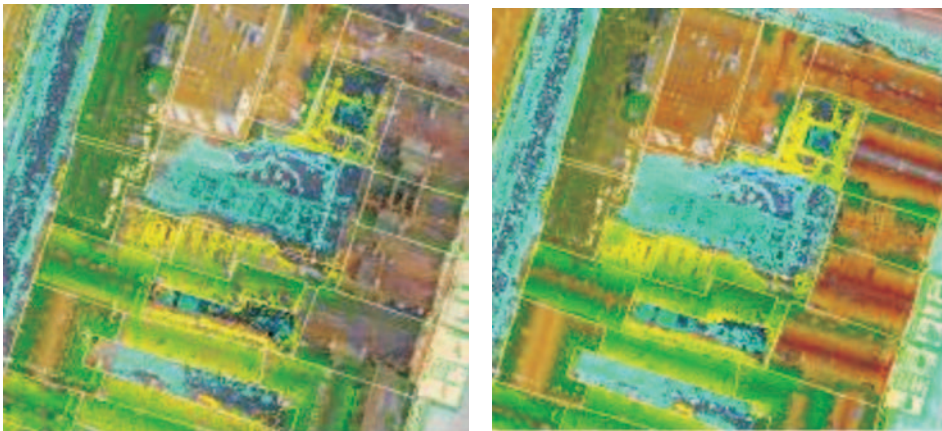
Rys. 5. Rezultat automatycznego dopasowania obrazów przeprowadzony dla obszaru testowego 1.

true-ortho. Właśnie te zastosowania będą dalej weryfikowane w ramach grantu nt. „Badanie jakości true-ortho w aspekcie wykorzystywanych do jego generowania danych źródłowych”.

3.4. Ustalenie wpływu zwiększonego pokrycia zdjęć

Dla określenia wpływu zwiększonego pokrycia podłużnego i poprzecznego zdjęć cyfrowych z dostępnych zdjęć zestawiono dwa komplety zdjęć. Jeden o pokryciu standardowym – w przypadku zdjęć wykonanych kamerą cyfrową Ultra CamD to 60/40 oraz drugi o pokryciu zwiększonym do 70/60. Obliczenia i generowanie NMPT wykonano przy identycznych parametrach sterujących. Rezultaty obliczeń w formie analitycznej zestawiono w tabeli 1 zamieszczonej powyżej.

Rysunek 6 przedstawia ilustrację graficzną uzyskanego NMPT w postaci prezentacji wyznaczonych wysokości z zastosowaniem kodowania kolorami. Analiza tych danych wyraźnie wskazuje, że przy dwukrotnie zwiększonym pokryciu podłużnym zdjęć cyfrowych uzyskuje się również dwukrotne zwiększenie liczby punktów skorelowanych (PAKO). Wysokości tych punktów są teoretycznie mniej dokładnie wyznaczone (mniej korzystny stosunek bazowy), jednak pozwalają one na dokładniejsze wyznaczenie użytkowego NMPT przy tym samym rozmiarze struktury GRID. Dodatkowo rysunek 6 oraz wykonane modele różnicowe pozwalają zauważyć, że przy zwartej zabudowie, na skutek zastosowanego zwiększonego pokrycia zdjęć, następuje znaczące ograniczenie zjawiska martwych pól.



Rys. 6. Rezultaty korelacji zdjęć cyfrowych o różnym pokryciu podłużnym; obraz lewy – pokrycie 40%, obraz prawy – pokrycie 70%.

4. PODSUMOWANIE

Badania empiryczne omówione w niniejszym artykule stanowią aktualną i wiarygodną ocenę jakości NMPT tworzonego metodą dopasowania cyfrowych zdjęć lotniczych. Parametry wykorzystywanych do badań materiałów źródłowych (terenowy wymiar GSD oraz zwiększone pokrycie podłużne i poprzeczne) gwarantują pełną reprezentatywność uzyskanych rezultatów dla terenów zurbanizowanych. Analiza prezentowanych wcześniej wyników pozwala na sformułowanie następujących wniosków końcowych:

- w przeprowadzonych badaniach uzyskano gęstość skorelowanych punktów przekraczającą gęstość rejestracji ALS,
- dokładność wysokościowa pojedynczych punktów 3D została wyznaczona na poziomie $0.03 \pm 0.04\%$ wysokości lotu,
- otrzymana gęsta chmura punktów w wyniku dopasowania obrazów pozwala wyekstrahować budynki oraz przeprowadzić wektoryzację kształtów dachów,
- istnieje problem z dobrą korelacją punktów dla obszarów małych przestrzeni pomiędzy budynkami (tzw. studnie).

Porównanie dodatkowo zwiększonego i standardowego pokrycia zdjęć wskazuje, że przy zwiększonym pokryciu zdjęć:

- następuje znaczące zmniejszenie występowanie tzw. martwych pól,
- dwukrotnie zwiększa się liczba generowanych punktów,
- zmniejsza się dokładność wysokościowa generowania pojedynczych punktów 3D przy jednoczesnym wzroście dokładności punktów struktury GRID,
- znacząco maleje liczba błędów odstających od wynikowego modelu NMPT.

5. LITERATURA

- Biegała T., 2008. *Badanie gęstości wyznaczanych punktów technologią automatycznej korelacji na podstawie zdjęć cyfrowych*. Praca dyplomowa. Politechnika Warszawska.
- Gołębiowski K., 2008. *Ekstrakcja budynków z danych LIDAR dla terenów miejskich*. Praca dyplomowa. Politechnika Warszawska.
- Gluech, C., 2009. Advanced Matching Techniques for High Precision Surface and Terrain Models. Photogrammetric Week'09.
- Lemaire C., 2008. Aspects of The DSM Production with High Resolution Images. XXIth ISPRS Congress, Commission III, 3-11 July 2008, Beijing.

**EVALUATION OF DSM QUALITY GENERATED
FROM DIGITAL MATCHING OF AERIAL IMAGERY**

KEY WORDS: DTM, DSM, True – ortho, 3D city models, Matching, LIDAR, Digital aerial images

SUMMARY: This paper presents the evaluation of very dense DSM received from point clouds generated with Match-T DSM software. The digital photographs were taken with an Ultra Cam-D camera. The received GSD of 10 cm can be representative for very dense urban areas. The main factors which had an influence on the matching process were determined. The final DSM with 0.5 metre grid points was generated from a very dense cloud of points (30 points for each grid point on average). To evaluate the quality of this product, the DSM from imagery matching was compared with DSM generated from LIDAR data. The differential elevation models have confirmed that the DSM from imagery matching has accuracy better than 0.20 m. In addition, it was observed that by using larger overlap between photographs in and between strips, the obscured areas are considerably limited. However, it was also found, that by using stereo-pairs with various base to flying height ratios, DSMs with different accuracy can be obtained. In conclusion, the research has confirmed that the dense DSM from imagery matching is competitive with that from LIDAR data.

mgr inż. Tomasz Biegała
tomasz.biegala@gmail.com
telefon: +48 22 2347694

dr inż. Ryszard Preuss
ryszard.preuss@wp.pl
telefon: +48 22 2347694

* wersja kolorowa artykułu jest dostępna na stronie <http://www.sgp.geodezja.org.pl/ptfit>

ZASTOSOWANIE DYSKRETNEJ TRANSFORMACJI FALKOWEJ DO FILTRACJI DANYCH LOTNICZEGO SKANINGU LASEROWEGO

APPLICATION OF DISCRETE WAVELET TRANSFORM TO FILTERING AIRBORNE LASER SCANNING DATA

Andrzej Borkowski, Krzysztof Sośnica

Instytut Geodezji i Geoinformatyki, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

SŁOWA KLUCZOWE: dyskretna transformacja falkowa, lotniczy skaningu laserowy, filtracja, ScaLARS

STRESZCZENIE: Lotniczy skaningu laserowy stanowi efektywne narzędzie do pozyskiwania informacji zarówno o fizycznej powierzchni ziemi, jak i elementach pokrycia terenu. Kluczowe zagadnienie w przetwarzaniu danych pochodzących ze skaningu laserowego stanowi filtracja, rozumiana jako eliminacja wszystkich punktów, nie należących do określonej powierzchni. Ze względu na duże zbiory danych skaningu laserowego poszukuje się szybkich algorytmów obliczeniowych, posiadających możliwości analizy danych w bardzo krótkim czasie. W artykule podjęto próbę opracowania uniwersalnej metody szybkiej filtracji danych lotniczego skaningu laserowego, opartej na analizie falkowej. W tym celu opracowano algorytm dwuetapowej filtracji, realizujący proces eliminacji punktów w dziedzinie częstotliwości. Filtrację oparto na założeniu, że wysokie częstotliwości sygnału, utożsamianego z profilami terenowymi, korespondują z obiektami na powierzchni terenu. Niskie częstotliwości odpowiadają natomiast za ogólny przebieg powierzchni gruntu. W pierwszym etapie filtracji opartej na filtrze dolnoprzepustowym dyskretniej transformacji falkowej, przeprowadzana jest identyfikacja wszystkich punktów znacznie odstających od powierzchni aproksymacji. Następuje redukcja wysokości punktów oraz budowa kolejnej powierzchni aproksymacji, nie zaburzonej wpływem obiektów terenowych. Aproksymacja terenu przybliży przebieg powierzchni gruntu, dzięki czemu algorytm działa zarówno w terenie płaskim, pochyłym, jak i pagórkowatym. Testy numeryczne opracowanego algorytmu zostały przeprowadzone na danych rzeczywistych. Wyniki filtracji danych na obiektach testowych są satysfakcjonujące. Skuteczność algorytmu oceniono na 95%, przy możliwości filtracji 1 miliona punktów w czasie 3.4 sekundy na komputerze przeciętnej klasy.

1. WPROWADZENIE

Na przestrzeni ostatnich lat znaczenie lotniczego skaningu laserowego jako techniki pozyskiwania informacji o fizycznej powierzchni ziemi, znacząco wzrosło. Efektem

pomiaru skaningu laserowego jest zbiór punktów o wyznaczonych współrzędnych przestrzennych w jednolitym układzie globalnym (XYZ, BLH).

Istnieje wiele obszarów zastosowań danych pozyskanych tą techniką, z czego do najbardziej powszechnych należy zaliczyć budowę Numerycznego Modelu Terenu oraz tworzenie produktów pochodnych. W takich opracowaniach można wyróżnić obliczanie objętości mas ziemnych, wyznaczanie położenia linii zalewowych, inwentaryzację sieci elektroenergetycznych, a także tworzenie profili terenowych. Ze względu na szybkość pozyskiwania danych oraz ogrom zbiorów pomiarowych w lotniczym skaningu laserowym, ciężar uzyskania efektu końcowego został przeniesiony na opracowania kameralne chmury zarejestrowanych punktów.

Kluczowe zagadnienie w przetwarzaniu danych pochodzących ze skaningu laserowego stanowi filtracja, rozumiana jako eliminacja wszystkich punktów, nie należących do określonej powierzchni. W ostatnich latach zostało opracowanych wiele algorytmów filtracji, które ze względu na wielkości zbioru danych do przetworzenia działają stosunkowo wolno. Ograniczenie to posiadają głównie metody polegające na filtracji danych w dziedzinie oryginału, tzn. współrzędnych, zarówno danych bezpośrednich jak i przetworzonych. Dobry przegląd rozwiązań algorytmicznych w tym zakresie znaleźć można w wielu pracach: (Borkowski, 2004; Sithole, Vosselman, 2004; Borkowski, Jóźków, 2006).

Ograniczenia związane ze złożonością obliczeniową algorytmów filtracji w dziedzinie oryginału można obejść realizując filtrację w dziedzinie częstotliwości. Do metod realizujących filtrację w dziedzinie częstotliwości można zaliczyć algorytmy oparte na transformacji Fouriera oraz transformacji falkowej. Na szczególną uwagę zasługują m.in.:

- metody oparte na szybkiej transformacji Fouriera (*FFT*) oraz filtrach dolnoprzepustowych o skończonej odpowiedzi impulsowej (*FIR*) (Marmol, 2002),
- metody ekstrakcji określonych elementów terenowych z wykorzystaniem długości terenowej falki transformacyjnej i klasyfikacji nadzorowanej (Thuj, Tokunaga, 2002),
- metody eliminacji wielkoobszarowych zróżnicowań terenu oparte na filtrze górnoprzepustowym dyskretnej transformacji falkowej (Bartels, Wei, 2006),
- metody ekstynkcji detali na określonym poziomie dekompozycji falkowej (Borkowski, Jóźków, 2006).

Biorąc pod uwagę wszystkie wymagania stawiane metodom filtracji danych, a w szczególności szybkość działania algorytmu, minimalizację błędów oraz uniwersalność względem pokrycia terenu, został opracowany nowy algorytm filtracji danych lotniczego skaningu laserowego oparty na dyskretnej transformacji falkowej. Metoda pozwala na szybkie i skuteczne oddzielenie punktów reprezentujących fizyczną powierzchnię ziemi od punktów zarejestrowanych jako elementy pokrycia (drzewa, budynki, budowle), pozostawiając jednocześnie istotne elementy struktur terenowych, takie jak: wały rzeczne, doły, wzniesienia i skarpy. Ze względu na dostosowanie do globalnego przebiegu terenu, metodę można stosować zarówno w terenie płaskim, jak i w terenie pagórkowatym. W przeciwieństwie do większości algorytmów pracujących w dziedzinie współrzędnych, zaproponowana metoda bazuje na danych oryginalnych, wzdłuż śladu lasera

w falkowej dziedzinie częstotliwości. Filtracja posiada więc charakter jednowymiarowy, bez konieczności przeliczania współrzędnych do siatki regularnej. Proponowana metoda dobrze uwzględnia specyfikę (w zakresie rejestracji danych) skanera ScaLARS, którego ślad terenowy wiązki ma kształt przesuwej się elipsy, a po rozwinięciu układu się wzduż profilu terenowego (Borkowski *et al.*, 2006).

2. TRANSFORMACJA FALKOWA

Falki w ogólności są zbiorem matematycznych funkcji zbioru liczb rzeczywistych, które wyprowadzane są z tzw. funkcji macierzystej za pomocą przesunięcia i skalowania. Istnieje zbiór różnych falek, które w zależności od stopnia skomplikowania oraz czasowej skuteczności obliczeniowej można dobrać do określonego zastosowania. Do funkcji wykorzystywanych w dyskretnej transformacji falkowej należy zaliczyć przede wszystkim falki z grupy daubechies (*db*), coiflets (*coif*), symlets (*sym*), biortogonalne (*bior*) oraz najstarszą falkę – Haara (*haar*) (Białasiewicz, 2000).

Istnieją trzy zasadnicze zalety stosowania transformaty falkowej względem transformaty Fourierowskiej.

Po pierwsze: ograniczony nośnik danej falki umożliwia wychwycenie zjawiska (części sygnału) o charakterze lokalnym. W transformacie Fouriera poprzez ciągłość i niezmiennosc funkcji sinus bądź cosinus w całej dziedzinie, niewielkie zmiany częstotliwości wytwarzają zmiany wartości w całej dziedzinie czasu. W transformacie falkowej, dzięki dobrej lokalizacji w czasie, każde zjawisko odnosi się do ograniczonej długością nośnika części sygnału.

Po drugie: możliwość doboru różnorodnych funkcji falkowych, w szczególności niegładkich, poszerza obszar zastosowań o analizę sygnałów nieciągłych, takich jak na przykładowo zawiera ciąg danych z kampanii lotniczego skaningu laserowego. Nieciągłości i przeskoki funkcji mogą być lokalnie wykryte i właściwie przetworzone w dziedzinie częstotliwości.

Po trzecie: duże zbiory danych mogą być bardzo szybko przetworzone poprzez dyskretną transformatę falkową. Podczas gdy szybka transformata Fouriera (*FFT*) charakteryzuje się liczbą koniecznych obliczeń rzędu $O(n \log_2(n))$, to szybka transformata falkowa (*FWT*) przy spełnieniu warunku diadyczności wymaga operacji $O(n)$.

2.1. Dyskretna transformacja falkowa

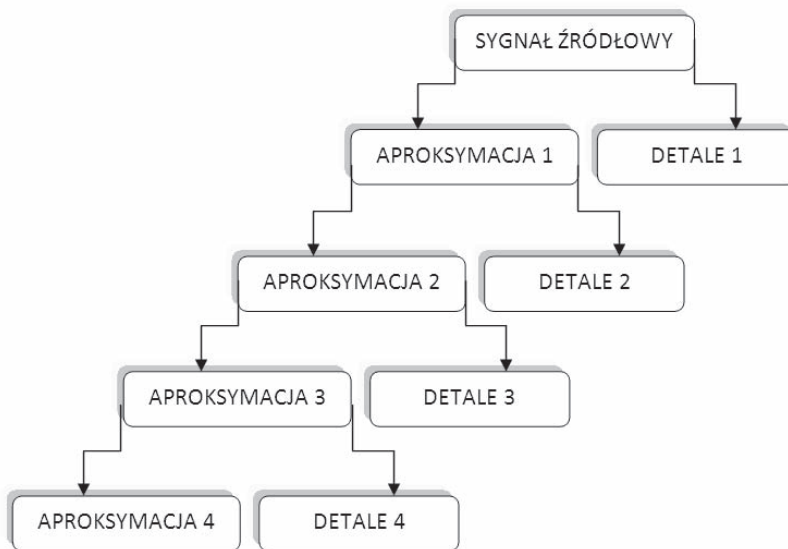
Dyskretna transformata falkowa (DWT) pozwala przedstawić sygnał $f(t) \in L^2$ w postaci liniowej kombinacji współczynników $a_{j_0}(k)$, $d_j(k)$. Rozwinięcia w szereg funkcji $f(t)$ dokonuje się w oparciu o dwie spokrewnione ze sobą funkcje bazowe – tzw. kwadratowe filtry lustrzane: funkcję falkową $\Psi(t)$ oraz funkcję skalującą $\phi(t)$ (Białasiewicz, 2000):

$$f(t) = \sum_k a_{j_0}(k) \phi_{j_0,k}(t) + \sum_k \sum_{j=j_0}^{\infty} d_j(k) \psi_{j,k}(t) \quad (1)$$

Współczynniki $d_{j,k}$ zawierają informację o wysokich częstotliwościach oraz tworzą zbiór detali. Natomiast współczynniki a_k zawierają informację dolnoprzepustową wraz ze składową stałą, czyli stanowią aproksymację sygnału. Dekompozycja wykorzystuje własność, że dla ustalonej skali j składowa detali reprezentuje rzut ortogonalny funkcji f na podprzestrzeń $W_j \subset L^2(\mathbf{R})$ (Vidaković, Müller, 2005). Wówczas zachodzi związek:

$$(2) \quad V_j = V_{j+1} \oplus W_{j+1}$$

Gdzie V_{j+1} jest ortogonalnym dopełnieniem W_{j+1} w przestrzeni V_j . Schemat dekompozycji sygnału przedstawiono na rys. 1.



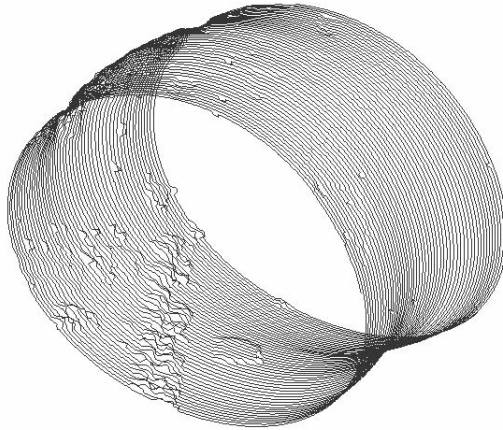
Rys. 1. Dekompozycja falkowa według schematu Mallata (Białasiewicz, 2000).

Pełna informacja o sygnale oryginalnym jest zachowana w zbiorze złożonym ze wszystkich detali jego rozwinięcia i aproksymacji najniższego poziomu rozdzielczości.

3. ALGORYTM FILTRACJI

Proces filtracji realizowany jest w następujących krokach programowych:

- 1) **Dekompozycja falkowa I:** n – krotna transformacja falkowa na ciągu wysokości zarejestrowanych punktów wzdłuż śladu terenowego wiązki lasera (Rys. 2), który po rozwinięciu stanowi profil terenowy;



Rys. 2. Terenowy ślad wiązki skanera laserowego ScaLARS 2.

- 2) **Eliminacja progowa twarda I:** (ang. *hard threshold*) dla wszystkich detali na maksymalnym poziomie (detale o większej częstotliwości niż częstotliwość danej falki są usuwane);
- 3) **Synteza sygnału:** powrót do dziedziny wyjściowej (dziedziny czasu);
- 4) **Nalóżenie maski na dane odstające:** dla danych odstających powyżej σ_1 od powierzchni aproksymacji nakładana jest maska:

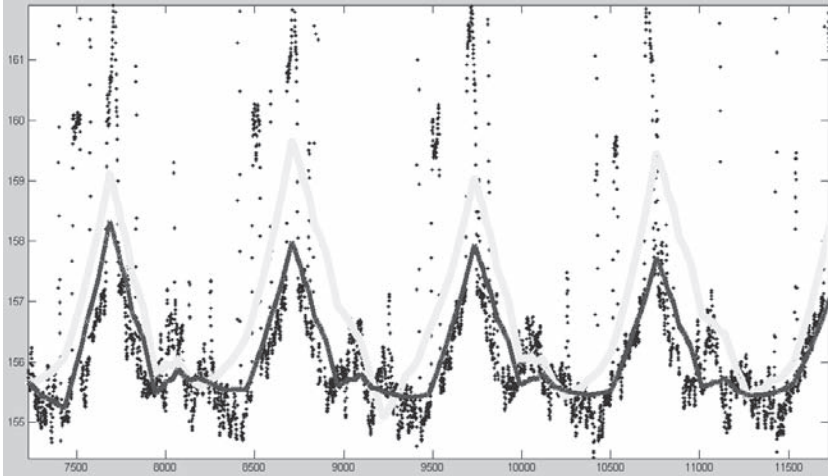
$$k_i = \begin{cases} 1 & \text{dla } (h_i - h_{ali}) > \sigma_1 \\ 0 & \text{dla } (h_i - h_{ali}) \leq \sigma_1 \end{cases} \quad (3)$$

- 5) **Redukcja wysokości dla danych z maską:** dla danych, na które została nałożona maska przyjmuje się wysokość poprzedniego punktu, który spełnił warunek σ_1 , pozostałe wysokości punktów nie ulegają zmianie:

$$\bar{h}_i = h_i - k_i \cdot (h_i - \bar{h}_{i-1}) \quad (4)$$

- 6) **Dekompozycja falkowa II:** n – krotna transformacja falkowa;
- 7) **Eliminacja progowa twarda II:** dla wszystkich detali na maksymalnym poziomie;
- 8) **Synteza sygnału:** powrót do dziedziny wyjściowej – uzyskanie falkowej aproksymacji profilu terenu (Rys. 3);
- 9) **Filtracja właściwa – analiza odstępstwa każdego punktu od powierzchni aproksymacji:** wszystkie punkty, jednostronnie odstające ponad σ_2 od powierzchni aproksymacji są kwalifikowane jako punkty pokrycia terenu – o wartości indeksu 1. Pozostałe otrzymują indeks 0, co oznacza klasyfikację jako punkty terenowe:

$$(5) \quad J_i = \begin{cases} 1 & \text{dla } (h_i - h_{a2i}) > \sigma_2 \\ 0 & \text{dla } (h_i - h_{a2i}) \leq \sigma_2 \end{cases}$$



Rys. 3. Wizualizacja ciągu wysokości punktów ze skaningu laserowego wraz z aproksymacją powierzchni po 3 etapach filtracji (linia jasnoszara) oraz po 8 etapach filtracji (linia ciemnoszara) z wykorzystaniem falki *db3*.

4. WERYFIKACJA METODY

Do weryfikacji metody wykorzystano dane pochodzące z obszaru doliny rzeki Widawy, gdzie w czasie pomiarów wykorzystano prototypowy skaner ScaLARS 2, skonstruowany w Instytucie Nawigacji Uniwersytetu Technicznego w Stuttgarcie. Skanowanie wykonano dla całego ujścia rzeki Widawy, szerokość skanowania wyniosła około 2 km, przy długości pasa 20 km. W trakcie kampanii zarejestrowano 150 milionów punktów ze średnią gęstością 3 pkt/m².

4.1. Weryfikacja skuteczności algorytmu

Do oceny skuteczności filtracji prezentowaną metodą wykorzystano zbiór sześciu obszarów testowych, reprezentujących różne pokrycie terenu, który został ręcznie odfiltrowany w programie Microstation. Weryfikacja, czy dany punkt reprezentuje teren, czy obiekt terenowy, nastąpiła poprzez analizę wizualną odstępstwa wysokości danego punktu w stosunku do wysokości podłoża na podkładzie ortofotomapy.

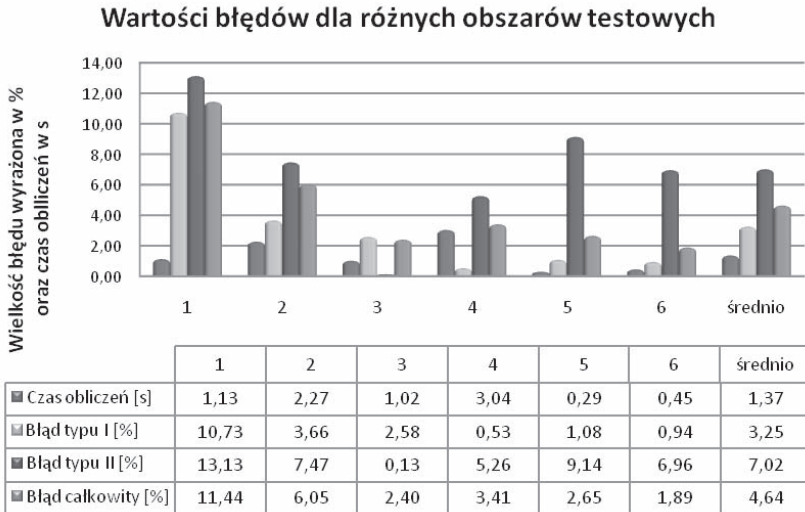
Obszar testowy nr 1 reprezentuje teren zadrzewiony z zabudowaniami. W obszarze testowym nr 2 oprócz gęstej pokrywy roślinnej, występuje rzeka. Obszar nr 3 charakteryzuje się niewielkim stopniem zadrzewienia, zawiera natomiast wał rzeczny, dół oraz rów melioracyjny. Obszar nr 4 zawiera gęstą zabudowę. Obszary 5 i 6 reprezentują teren pochyły z zadrzewieniami, polami uprawnymi i drogą asfaltową, przy czym w obszarze 6 występują ponadto zabudowania jednorodzinne, rolnicze i przemysłowe.

Procedura weryfikacji polegała na porównaniu wyników filtracji metodą falkową z opracowanymi danymi referencyjnymi, będącymi efektem filtracji ręcznej, i określeniu parametrów ilościowych tego porównania, opierając się na pracy (Borkowski, Józków, 2006).

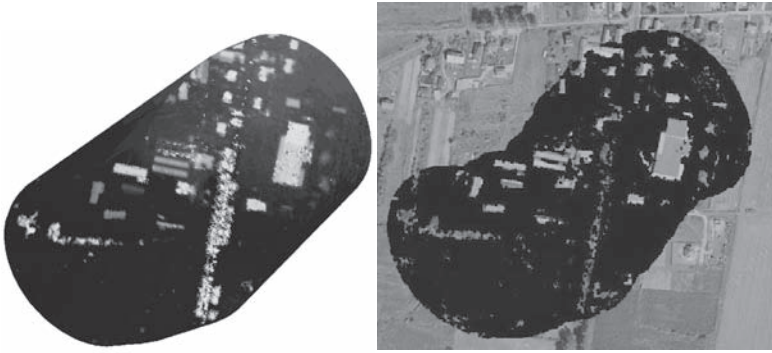
Jakość filtracji wyraża procentowy udział błędnie sklasyfikowanych przez algorytm punktów w całkowitej ilości punktów. Wówczas błędy filtracji typu pierwszego – ε_1 (punkty terenu zidentyfikowane przez algorytm jako punkty obiektów), typu drugiego – ε_2 (punkty obiektów zidentyfikowane przez algorytm jako punkty terenu) oraz całkowity – ε_c obliczane są według zależności:

$$\varepsilon_1 = \frac{f}{e+f}, \varepsilon_2 = \frac{g}{g+h}, \varepsilon_c = \frac{f+g}{e+f+g+h} \quad (6)$$

Wielkości błędów dla poszczególnych obszarów testowych przedstawiono na rysunku 4. Rysunek 5 przedstawia fragment opracowanego zbioru danych oryginalnych oraz po eliminacji punktów nie będących odbiciami od powierzchni terenu.



Rys. 4. Wielkości błędów i czas filtracji dla różnych obszarów testowych z wykorzystaniem tych samych parametrów.

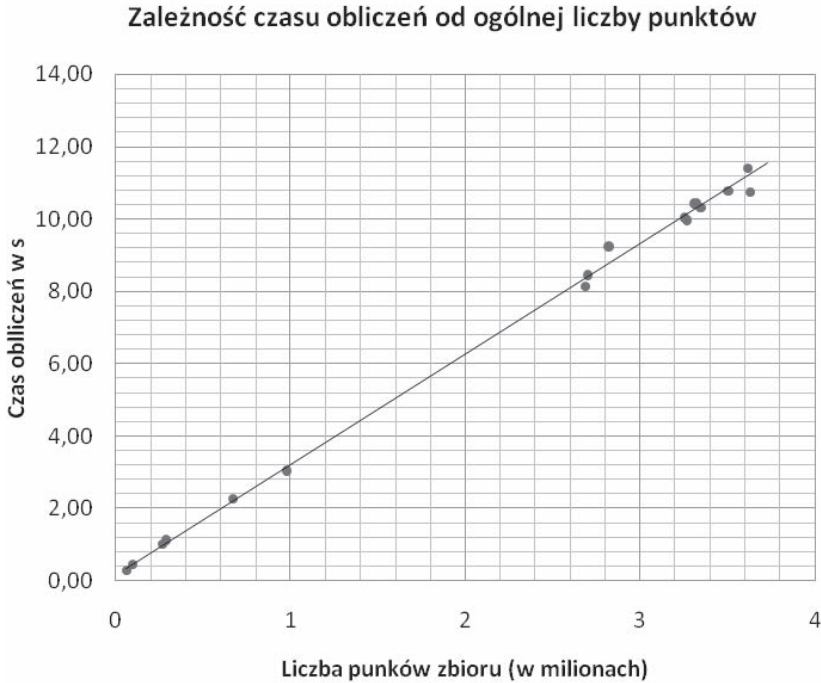


Rys. 5. Wysokości punktów zakodowane walorem oraz wynik filtracji na podkładzie ortofotomapy.

Na podstawie badań przeprowadzonych na obszarach testowych zostały zoptymalizowane wartości poszczególnych parametrów filtracji. Kluczowymi parametrami determinującymi dokładność filtracji są wartości progu I oraz II aproksymacji, które powinny zawierać się w przedziałach odpowiednio $\sigma_1 \in (0.0; 1.0)$ i $\sigma_2 \in (0.7; 1.0)$. Natomiast liczba poziomów aproksymacji falkowej optymalnie powinna wynosić od 7 do 9. Rodzaj użytej funkcji falkowej, jej rząd oraz liczba punktów w pojedynczym kroku obliczeniowym, nie wpływają na dokładność filtracji, lecz mają swoje odzwierciedlenie w szybkości działania algorytmu. Wartość progu I i II nie wpływa w żaden sposób na czas obliczeń oraz w niewielki sposób zależy od stopnia aproksymacji i rodzaju falki. Prędkość działania algorytmu diametralnie spada w przypadku użycia falek o wysokim rzędzie. Zaleca się, z tego powodu, stosowanie falek prostych, takich jak np. falki z rodziny *daubechies* niskiego rzędu. Minimalizacja liczby niezbędnych iteracji, w postaci zwiększania ilości punktów w pojedynczym kroku aproksymacji wiąże się także, w pewnych granicach, ze zwiększeniem szybkości działania algorytmu.

4.2. Weryfikacja szybkości działania algorytmu

Weryfikacja szybkości działania algorytmu została przeprowadzona na komputerze przeciętnej klasy (komputer klasy PC z procesorem Intel Pentium Dual CPU @ 2.00 GHz, wyposażony w 3 GB pamięci operacyjnej RAM, pracujący na systemie Windows XP Professional SP3). W celu sprawdzenia szybkości działania algorytmu wzięto pod uwagę 6 obszarów testowych służących do weryfikacji skuteczności algorytmu oraz dodatkowo 11 obszarów o liczebności z zakresu 2.6÷3.6 miliona punktów. Maksymalny czas obliczeń wyniósł 11.41 sekundy dla zbioru 3.6 mln, natomiast średni czas filtracji wyniósł 3.4 sekundy na milion punktów (Rys. 6).



Rys. 6. Weryfikacja szybkości działania algorytmu filtracji.

5. WNIOSKI

W artykule przedstawiono algorytm szybkiej filtracji danych lotniczego skaningu laserowego oparty na filtrze dolnoprzepustowym dyskretnej transformaty falkowej. Zastosowanie w metodzie dwóch etapów aproksymacji minimalizuje zaburzenia ostatecznej powierzchni aproksymacji, która stanowi element referencyjny we właściwym procesie filtracji.

Opracowany algorytm bazuje na danych w postaci nieprzetworzonej. Metoda nadaje się do filtracji danych dla terenów płaskich, pagórkowatych oraz pochyłych, umożliwiając jednocześnie zachowanie lokalnych struktur terenowych, takich jak np. wały rzeczne.

Algorytm filtracji w dziedzinie częstotliwości zakłada, że elementy wysokoczęstotliwościowe w sygnale profilów terenowych odpowiadają za pokrycie terenu, natomiast niskie częstotliwości charakteryzują ogólny przebieg powierzchni ziemi. Dokładność algorytmu została oceniona na 95% dla wszystkich obszarów testowych oraz 97% dla danych uporządkowanych w sposób optymalny wzdłuż śladów terenowych wiązki laserowej. Większość błędów miała miejsce w filtracji punktów odbitych od ścian budynków oraz na obrzeżach zwartej pokrywy roślinnej.

Przedstawione rezultaty są bardzo satysfakcjonujące, szczególnie, że czas przetworzenia 1 miliona punktów to około 3.4 sekundy na komputerze przeciętnej klasy, czas ten rośnie liniowo wraz ze wzrostem liczby punktów.

6. LITERATURA

Bartels M., Wei H., 2006. Towards DTM generation from LIDAR data in hilly terrain using wavelets. Whiteknights. The University of Reading. <http://www.cvg.reading.ac.uk/projects/LIDAR>.

Białasiewicz J. T., 2000. *Falki i aproksymacje*, Wydawnictwo Naukowe-Techniczne, Warszawa 2000

Borkowski A., 2004. Modellierung von Oberflächen mit Diskontinuitäten. *Deutsche Geodätische Kommission*, Reihe C, Heft Nr 575.

Borkowski A., Keller W., 2006. An attempt to ALS-data filtering in wavelet domain. *8th Bilateral Geodetic Meeting Poland-Italy*. Wrocław, 22-24 June 2006.

Borkowski A., Józków G., 2006. Wykorzystanie wielomianowych powierzchni rucho-
mych w procesie filtracji danych pochodzących z lotniczego skaningu laserowego. *Archi-
wum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol.16, s. 63-73

Borkowski A., Gołuch P., Wehr A., Schiele O., Thomas M., 2006. Airborne laser scanning for the purpose of hydrodynamic modelling of Widawa river valley. *Reports on Geodesy*, No 2(77), pp. 85-94.

Marmol U., 2002. Analiza częstotliwościowa jako metoda filtrowania profili powierzchni topograficznej. *Materiały Ogólnopolskiego Sympozjum Naukowego: Fotogrametria i teledetekcja w społeczeństwie informacyjnym*. Białobrzegi k/Warszawy, 2002.

Sithole G., Vosselman G., 2004. Experimental comparison of filter algorithms for bare-Earth extraction from airborne laser scanning point clouds. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 59, s. 85-101.

Thuy Vu T., Tokunaga M., 2002. Designing of wavelet-based processing system for air-
borne laser scanner segmentation. *Space Technology Applications and Research – Asian
Institute of Technology*, Commission V, WG V/6, Thailand.

Vidaković B., Müller P., 2005. Wavelets for Kids. A Tutorial Introduction. Duke Uni-
versity, Institute of Statistics and Decision Sciences, 2005.

Obliczenia wykonano w systemie MATLAB, licencja nr 101979, grant obliczeniowy Wrocławskiego Centrum Sieciowo-Superkomputerowego.

APPLICATION OF DISCRETE WAVELET TRANSFORM TO FILTERING AIRBORNE LASER SCANNING DATA

KEY WORDS: discrete wavelet transform, Airborne Laser Scanning, filtration, ScaLARS

SUMMARY: Airborne Laser Scanning (ALS) provides an effective tool for gaining data about physical terrain as well as features on the earth's surface. The main problem in the process of analysing ALS data is filtration, i.e. the elimination of all recorded points which do not belong to the particular surface being considered. Because large datasets of points are being considered, appropriately fast algorithms are needed in order to process the data in a very short timespan. The objective of the research was to develop a universal method of fast filtration of the airborne laser scanning data based on wavelet analysis. The algorithm of two-steps filtration, which has been developed for this purpose, carries out the process of filtration in the domain of wavelet frequency. In this process, high frequencies of the signal, which can be thought as the terrain profiles, correspond to objects on the surface. Low frequencies are basically responsible for the surface of the ground. In the first step of the filtration process, based on a low pass filter of discrete wavelet transform, the identification of all points which lie away from the approximation surface, is made. Then a reduction in the height of the points is carried out as well as the construction of a final approximation surface, which is unbiased by the influence of artificial structures on the ground. This completes the filtration process. The algorithm works well both on a flat area as well as in hilly and mountainous terrain. The method has been tested on real data obtained by airborne laser scanning carried out in the "Widawa River Valley" campaign in 2005. The results of filtration are satisfactory. The accuracy of the algorithm was estimated at 95 %, with a capacity to filter 1 million points in 3.4 seconds.

dr hab. inż. Andrzej Borkowski, prof. ndzw.
andrzej.borkowski@up.wroc.pl
telefon: +48 71 3205609

mgr inż. Krzysztof Sośnica
krzysztof.sosnica@gmail.com

GENEROWANIE TRÓJWYMIAROWEGO MODELU BUDYNKU NA PODSTAWIE DANYCH LIDAROWYCH*

3D MODELING OF BUILDINGS BASED ON LIDAR DATA

Natalia Borowiec

Katedra Geoinformacji, Fotogrametrii i Teledetekcji Środowiska,
Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, Akademia Górniczo-Hutnicza

SŁOWA KLUCZOWE: LIDAR, chmura punktów, rekonstrukcja, model budynku, 3D

STRESZCZENIE: Artykuł przedstawia pół-automatyczną metodę rekonstrukcji budynku 3D w oparciu o dane pochodzące z lotniczego skaningu laserowego. Głównym celem jest określenie kształtu dachu budynku, a następnie zrekonstruowanie budynku z zachowaniem topologii. Metoda, jaką zaproponowano do wykrycia płaszczyzn dachu działa na zasadzie dziel – łącz (ang. *split – merge*). Chmura punktów dzielona jest na jednakowe woksele (ang. *voxels* – wyraz utworzony z dwóch angielskich słów: *volumetric element*), tak aby odpowiadały one standardom CityGML, na poziomie szczegółowości LoD2. W wokselaach aproksymowane są płaszczyzny, które w oparciu o wyliczone parametry są łączone. Zatem szukanie połączeń dachowych budynku odbywa się na zasadzie przejścia od szczegółu do ogółu. Na podstawie wykrytych płaszczyzn wyznaczane są naroża oraz punkty charakterystyczne dachu. Ostatnim etapem jest eksport modelu budynku do uniwersalnego formatu wektorowego.

1. WPROWADZENIE

Automatyczna rekonstrukcja trójwymiarowych modeli budynków jest od kilku lat jednym z ważniejszych tematów badawczych na świecie. Wykorzystanie modeli budynków znajduje coraz większe zastosowanie, ponieważ obiekty 3D zdobywają coraz liczniejsze grono użytkowników, zarówno wśród amatorów jak i specjalistów. Wizualizacja pozyskanych danych staje się dość popularnym i nieodłącznym elementem wielu opracowań. Wynika to głównie z szybkiego rozwoju automatycznych sposobów pozyskiwania i przetwarzania danych źródłowych oraz wzrostu wydajności komputerów, obecnie nawet popularny komputer umożliwia bezproblemowe wyświetlanie trójwymiarowych obiektów.

We współczesnych rozwiązaniach fotogrametrycznych pierwszym źródłem danych były obrazy wykonane kamerami cyfrowymi, na podstawie których możliwa była rekonstrukcja modelu przestrzennego budynku. Wcześniej również konstruowano obiekty przestrzenne, ale w oparciu o analogowy zapis fotograficzny. Obecnie istotną rolę odgrywa lotniczy i naziemny skaning laserowy, które dostarczają dokładną informację na temat budynków w postaci chmury punktów. Modelowanie często odbywa się na podstawie integracji danych pochodzących z różnych źródeł, w celu osiągnięcia jak najlepszego efektu.

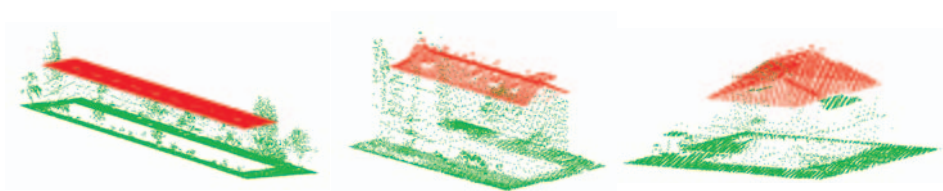
Początkowo zbudowane modele 3D budynków można było wykorzystać tylko do wizualizacji. Powstałe modele geometryczne nie uwzględniały relacji topologicznych między elementami. W 2002 roku podjęto próbę standaryzacji danych zapisano w CityGML. W pracach zakończonych w 2008 określono obowiązujące standardy budowania miast 3D (Meng, Forberg, 2006). CityGML definiuje klasy i powiązania dla najczęściej w miastach spotykanych obiektów topograficznych. Uwzględnia przy tym ich właściwości geometryczne, topologiczne (wzajemne relacje przestrzenne), semantyczne i wygląd. Wprowadza hierarchie pomiędzy klasami opisującymi poszczególne typy obiektów oraz modelowanie związane z pojęciem poziomu szczegółowości (ang. *LoD – Level of Detail*). Obecnie istnieje 5 poziomów szczegółowości. Najmniej dokładny jest poziom LoD0, który odwzorowuje duże obszary, natomiast największą dokładnością wykazuje się poziom szczegółowości LoD4, gdzie oprócz szczegółów zewnętrznych wykryte są elementy wewnętrzne budynku. Najbardziej optymalnym poziomem szczegółowości budynków dla potrzeb przeprowadzania analiz przestrzennych jest poziom LoD2, który ma dokładność sytuacyjną równą 2 m, a dokładność wysokościową 1 m. Taka dokładność jest również wymagana do produkcji tzw. „prawdziwej” ortofotomapy (ang. *true orthophotomap*) dla terenów miejskich.

2. CHARAKTERYSTYKA DANYCH WYKORZYSTANYCH W BADANIACH

W badaniach wykorzystano dane, które zostały udostępnione przez Biuro Planowania Przestrzennego Urzędu Miasta Krakowa. Pomiar lidarowy obejmował obszar miasta Krakowa oraz jego okolice w sumie około 400 km².

Grupa testowa składa się z 3 charakterystycznych budynków, gdzie przy wyborze kierowano się stopniem skomplikowania dachu. Wszystkie analizowane budynki znajdują się na terenie Krakowa. Pierwszy budynek jest to typowy blok o dachu płaskim, drugi budynek ma dach dwuspadowy, natomiast ostatni obiekt poddany analizie ma dach o kształcie czterospadowym. Sklasyfikowana chmura punktów reprezentująca kolejno wymienione budynki została przedstawiona na rysunku poniżej (Rys. 1).

W niniejszym artykule badany jest kształt dachu, zatem z chmury punktów wybrano tylko te punkty, które reprezentują dach. Zabieg ten można wykonać manualnie wspomagając się komercyjnymi oprogramowaniami (Terrasolid, 2009; DTMaster, 2008), lub na podstawie automatycznie wykrytych krawędzi dachu budynku, które określają granicę między punktami terenowymi a punktami odbitymi od dachu (Borowiec, 2008). Obrys budynku można również pozyskać z ewidencji (Peternell, Steiner, 2003; Brenner, Gös-



Rys. 1. Reprezentacja budynków w formie chmury punktów (od lewej: budynek z płaskim, dwuspadowym i czterospadowym dachem).

seln, 2004; Teo, 2008), bądź na podstawie krawędzi ze zdjęć lotniczych (Sohn, Dowman, 2003; Hu, *et al.*, 2004).

3. OKREŚLENIE KSZTAŁTU DACHU

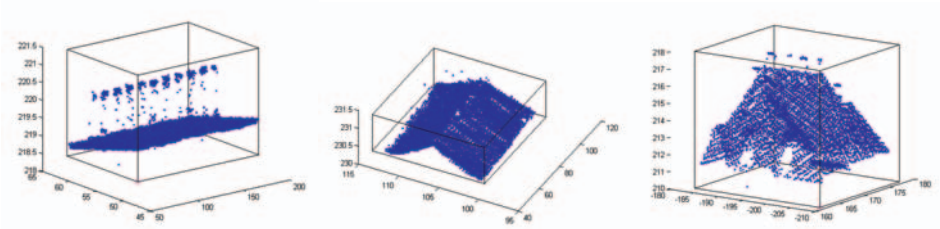
Rekonstrukcja modelu budynku wiąże się z opisem matematycznym kształtu dachu oraz ścian zewnętrznych budynku. Oprócz informacji dotyczących krawędzi dachu, konieczne jest znalezienie i zdefiniowanie połączeń dachowych, które określają kształt dachu obiektu budowlanego. Kształt dachu wyznaczany jest w oparciu o trójwymiarową siatkę regularną zbudowaną z prostopadłościów (wokseli).

3.1. Podział chmury punktów na woksele

Wykrycie płaszczyzn dachu z punktów lidarowych jest jednym z etapów prowadzących do zbudowania modelu budynku. W tym celu wykorzystywane są punkty reprezentujące dach, które zostały manualnie, (bądź automatycznie) wyłonione z całej chmury punktów.

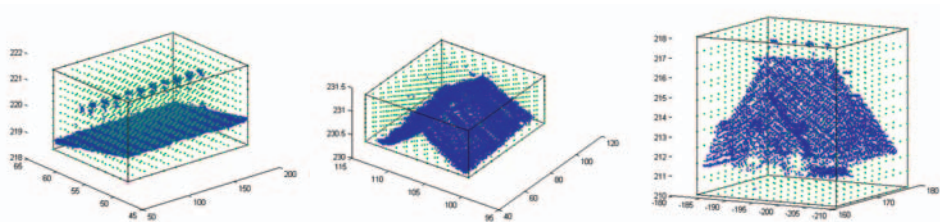
Kształt dachu określany jest na podstawie wyłonionych połączeń dachowych. Metoda jaką zastosowano do wykrycia płaszczyzn opiera się na zasadzie dziel – łącz (ang. *split – merge*). Etapy dzielenia i łączenia wykonywane są w przestrzeni.

W celu uproszczenia obliczeń, wydzielona chmura punktów transponowana jest do układu lokalnego, który jest równoległy do układu kartezyjskiego, czyli prostoliniowego układu współrzędnych, o prostopadłych osiach liczbowych. Wykonanie takiego zabiegu ułatwia i usprawnia znalezienie punktu początkowego, który położony jest najbliżej środka układu współrzędnych, jak również współrzędnych punktów najbardziej wysuniętych w trzech kierunkach układu. Pomiedzy najbardziej wysuniętymi punktami obliczana jest odległość wzdłuż wszystkich osi: X, Y i Z. Odległości umożliwiły zdefiniowanie prostopadłościanu, który obejmuje cały zbiór punktów reprezentujących dach (Rys. 2). Długość podstawy prostopadłościanu odpowiada długości obliczonej po X, szerokość podstawy odpowiada długości po Y, a wysokość prostopadłościanu długości po Z. Prostopadłościan zaczepiony jest w wyznaczonym punkcie początkowym i jest opisany na chmurze punktów.



Rys. 2. Prostopadłościan zawierający chmurę punktów, która reprezentuje dach.

Kolejnym krokiem badań jest podział prostopadłościanu, opisanego na chmurze punktów, na mniejsze, o jednakowych wymiarach woksle (inaczej komórki, prostopadłościany). Dobór wielkości mniejszych prostopadłościanów uzależniony jest od wymiarów ścian prostopadłościanu początkowego. Analiza długości, szerokości i wysokości krawędzi prostopadłościanu początkowego umożliwia proporcjonalny podział bryły. Proporcje zachowane są we wszystkich trzech kierunkach. Jednak rozmiar woksli musi odpowiadać normom CityGML na poziomie LoD2, czyli dokładność sytuacyjna musi być większa od 2 m, a dokładność wysokościowa większa od 1 m. W efekcie otrzymano początkowy prostopadłościan opisany na chmurze punktów oraz zbiór komórek o jednakowych wymiarach (Rys. 3).



Rys. 3. Prostopadłościan opisany na punktach należących do dachu budynku (niebieskie punkty), wraz z oznaczonymi wierzchołkami komórek (zielone punkty).

3.2. Etapowe wyznaczenie połączeń dachowych

W pierwszej fazie wykrywania płaszczyzn, każdy mały prostopadłościan analizowany jest osobno. Indywidualnie, w każdym prostopadłościanie zliczana jest liczba punktów; jeżeli liczba punktów jest mniejsza niż trzy, to komórka jest pomijana (brak obserwacji nadliczbowych). W przypadku, gdy liczba punktów w prostopadłościanie jest większa niż trzy, aproksymowana jest płaszczyzna, na podstawie tych punktów. Do wyznaczenia parametrów płaszczyzny zastosowano metodę najmniejszych kwadratów.

Metoda ta minimalizuje sumę kwadratu odległości poszczególnych punktów do wpasowywanej płaszczyzny (3). W przestrzeni euklidesowej 3D najlepiej płaszczyznę opisuje następujący wzór:

$$Ax + By + Cz + D = 0 \quad (1)$$

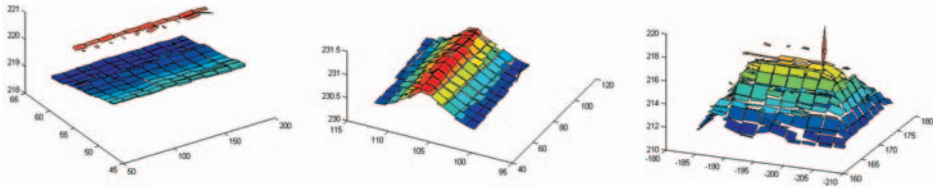
gdzie:

A,B,C,D – parametry płaszczyzny.

Odległość punktów do płaszczyzny liczona jest z powszechnie znanego wzoru:

$$d_i = F(A, B, C, D) = \frac{Ax_i + By_i + Cz_i + D}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}} \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^N \delta_i^2 \Rightarrow \min \quad (3)$$



Rys. 4. Płaszczyzny wpasowane w punkty znajdujące się w poszczególnych prostopadłościach – widok izometryczny.

Na podstawie obliczonych parametrów płaszczyzn można określić własności każdej elementarnej płaszczyzny, tj. spadek (4), azymut (5) oraz średnią wysokość punktów (6).

Wartość maksymalnego spadku oraz azymut płaszczyzn obliczono na podstawie wektora normalnego ($N = [A \ B \ C]$) wyznaczonego z ogólnego równania płaszczyzny (1). Kolejne parametry opisujące płaszczyzny uzyskano z następujących wzorów:

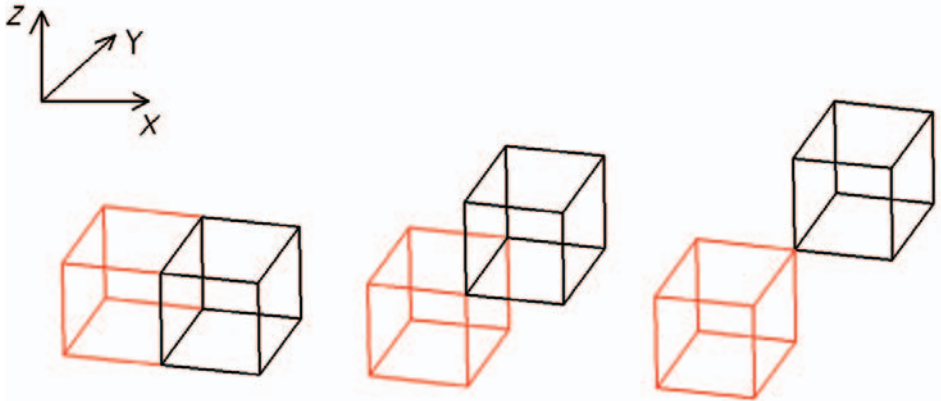
$$tg(s) = \frac{C}{\sqrt{A^2 + B^2}} \quad (4)$$

$$tg(Az) = \frac{B}{A} \quad (5)$$

$$w_{\text{śr}} = \frac{\sum_{i=1}^n w_i}{n} \quad (6)$$

Wyłonienie połączeń dachowych możliwe jest dzięki przeprowadzeniu segmentacji prostopadłościów, która polega na scaleniu komórek w większe skupiska. Proces łączenia polega na szukaniu podobieństw wśród wyaprosymowanych płaszczyzn.

W procesie tym najpierw wybierane są prostopadłościany centralne. Prostopadłościany centralne to takie, które mogą mieć 26 sąsiadów, gdzie każdy sąsiad z komórką centralną może mieć wspólną ścianę, krawędź lub wierzchołek (Rys. 5).

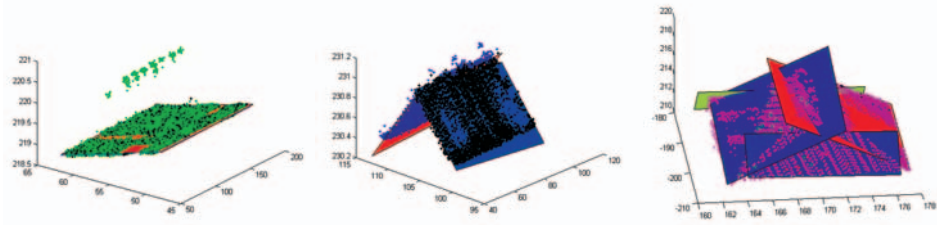


Rys. 5. Woksel centralny (czerwony) wraz z sąsiadem (czarny). Od lewej: wspólna ściana, wspólna krawędź i wspólny wierzchołek.

Centralny woksel stanowi ognisko skupiska, które rozrasta się przez dołączanie sąsiednich komórek. Przy odpowiedniej numeracji wokseli możliwe jest automatyczne znalezienie komórek sąsiednich. Łączenie komórek sąsiednich z centralną polega na sprawdzaniu parametrów wyaprosymowanych płaszczyzn. Sprawdzanymi parametrami są następujące wielkości: wektor normalny płaszczyzny, azymut, nachylenie oraz średnia wysokość płaszczyzny. Kryterium łączenia opiera się na sprawdzeniu składowych wektora normalnego, a następnie na zdefiniowaniu wartości granicznych dla spadku, azymutu i średniej wysokości. Łączenie punktów następuje wówczas, gdy spełnione są określone kryteria graniczne. Dla wszystkich przypadków przyjęto następujące granice, w których musiały się zawierać wartości analizowanych parametrów:

- azymut: $\pm 10^\circ$,
- nachylenie: $\pm 5^\circ$,
- średnia wysokość: ± 1 m.

Jeżeli wszystkie wartości parametrów sąsiednich prostopadłościanów spełniają określone warunki, wówczas punkty zawarte w tych komórkach są łączone w jeden zbiór. Z otrzymanych nowych zbiorów aproksymowana jest ponownie płaszczyzna metodą najmniejszych kwadratów. Proces łączenia punktów zawartych w poszczególnych prostopadłościanach, przebiega iteracyjnie, aż do momentu wyłonienia płaszczyzn głównych, co przedstawiono na rysunku poniżej (Rys. 6).



Rys. 6. Rzut izometryczny wykrytych płaszczyzn głównych budynków wraz z nałożoną chmurą punktów.

3.3. Określenie współrzędnych punktów charakterystycznych dachu

Współrzędne punktów charakterystycznych obiektu umożliwią określenie wielościennego modelu budynku. Matematyczny opis modelu budynku wymaga wyznaczenia współrzędnych naroży oraz punktów załamania płaszczyzn. Za współrzędne naroży uznano punkty najdalej wysunięte w zbiorach, z których aproksymowana jest połączona dachowa, natomiast załamania płaszczyzn otrzymano w wyniku ich przecięcia. Proste, jakie otrzymano w miejscu przecięcia się dwóch płaszczyzn to:

- kalenica, czyli górna krawędź połączenia dachowej,
- naroże, czyli krawędź wypukła na przecięciu dwóch połączeń, też zwana kalenicą narożną.

Współrzędne naroży budynku mogą być wyznaczone na etapie ekstrakcji krawędzi (Borowiec, 2008) lub pozyskane z danych ewidencyjnych (Brenner, 2004; Teo, 2008).

4. REKONSTRUKCJA BUDYNKU

Rekonstrukcja modelu budynku wiąże się z opisem matematycznym kształtu dachu oraz ścian zewnętrznych budynku.

4.1. Import NMT

W specjalistycznym oprogramowaniu TerraScan (Terrasolid Ltd.) z chmury punktów został zbudowany numeryczny model terenu. Oprogramowanie bazuje na algorytmie aktywnego modelu TIN, który został opracowany na Wydziale Geodezji i Fotogrametrii w Królewskim Instytucie w Sztokholmie (Terrasolid, 2009). Idea filtracji opiera się na powierzchni przebiegającej poniżej wszystkich punktów pomiarowych. Powierzchnia ta jest połączona z punktami terenowymi za pomocą tzw. punktów łączących, spełniających określone kryterium.

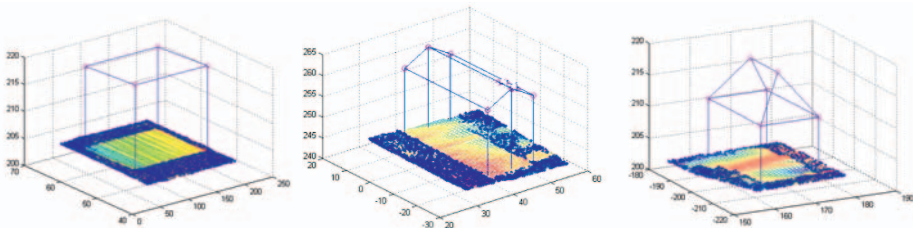
Dzięki zastosowaniu algorytmu aktywnego modelu TIN otrzymany numeryczny model terenu jest reprezentowany przez zbiór punktów rozproszonych. Zbiór ten zapi-

sywany jest do pliku tekstowego i importowany do środowiska MATLAB (The Math-Works). W środowisku tym łączone są ze sobą dwie warstwy punktów, co umożliwia sprawdzenie czy teren prawidłowo otacza budynek. Warstwami tymi są: punkty reprezentujące dach budynku oraz punkty budujące NMT. Jeżeli weryfikacja usytuowania budynku jest poprawna, wówczas można określić współrzędne obrysu budynku. Obrys budynku powstaje dzięki zrzutowaniu naroży dachu budynku na powierzchnię terenu i wyznaczeniu współrzędnych przecięcia się krawędzi ścian bocznych z płaszczyzną.

W tym celu przeprowadzono tzw. „przepróbkowanie” (ang. *gridding*). Próbkowanie terenu polega na określeniu wysokości terenu w konkretnym punkcie, czyli jest to uzupełnienie powierzchni terenu o nowe wysokości. Zatem na powierzchni opisanej funkcją $z = f(x,y)$ generowane są wysokości punktów w miejscach o znanych współrzędnych płaskich. Wyznaczenie wysokości naroży obrysu możliwe jest dzięki interpolacji metodą najbliższego sąsiada, która przelicza współrzędne terenowe na podstawie NMT.

4.2. Budowa wielościennego modelu budynku i jego eksport

Znajomość równań płaszczyzn dachu budynku, równań prostych – krawędzi dachu i ścian bocznych oraz współrzędnych wszystkich wierzchołków bryły umożliwia zbudowanie topologii budynku (Rys. 7).



Rys. 7. Modele budynków umiejscowione na powierzchni terenu.

Aby dane przestrzenne (model budynku) mogły zostać wykorzystane dla potrzeb systemów informacji przestrzennej, muszą być przechowywane w pliku o uniwersalnym formacie. Jedną z form dogodnych dla różnych programów aplikacyjnych jest zapis wektorów w formacie DXF (ang. *Data Exchange Format*). Format ten jest jednym z bardziej popularnych formatów wektorowych, w którym można zapisywać zarówno rysunki 2D jak i zawierające elementy 3D. Specyfikacja tego formatu została opracowana przez firmę Autodesk i początkowo służyła do wymiany danych pomiędzy programami AutoCAD i 3D Studio. Z czasem format ten rozpowszechnił się i zaczął być wykorzystywany przez inne firmy. Jego popularność związana jest z prostotą tworzenia plików w tym formacie i udostępnieniem jego pełnej dokumentacji. DXF jest plikiem tekstowym w formacie ASCII, dzięki czemu jego poprawny odczyt

i zapis jest możliwy na każdej platformie sprzętowej i systemowej. Wadą takiego rozwiązania jest jednak stosunkowo duża wielkość pliku w porównaniu z jego binarnym odpowiednikiem DWG, jak również znacznie większy czas odczytu i zapisu pliku.

5. PODSUMOWANIE

W niniejszym artykule przedstawiono autorskie rozwiązanie określania kształtu dachu budynku, a następnie rekonstrukcja modelu i jego zapis w formie wektorowej.

Zaproponowana metoda jest w stanie zbudować model nieskomplikowanego budynku. Badania wykazały, że na podstawie takiej analizy możliwe jest wyłonienie dachów jedno, dwu i czterospadowych oraz płaszczyzn będących na różnej wysokości. Na szczególną uwagę zasługuje fakt, że kształt dachu budynku (nieskomplikowanego) został określony z dokładnością sytuacyjną równą 2 m, a wysokościową 1 m, co odpowiada standardom CityGML na poziomie szczegółowości LoD 2.

Cały proces generowania modelu odbywa się automatycznie, dzięki napisanej aplikacji w środowisku MATLAB (The MathWorks).

Obecnie prowadzone są badania nad wykryciem płaszczyzn dachów złożonych. Z uwagi na fakt, że kształt dachu określany jest przez przejście od szczegółu do ogółu można przypuszczać, że wszystkie elementy o maksymalnym zasięgu 2 m, uda się wykryć i wymodelować.

Badania wykonano w ramach grantu promotorskiego nr N526 136534, finansowanego przez KBN.

6. LITERATURA

Borowiec N., 2008. Building extraction from ALS data based on regular and irregular tessellations. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVII, Part B6b.

Brenner C., von Gosseln G., 2004. Tools and workflow for the rapid acquisition of city models. *Proc. UDMS*, Chioggia, Włochy.

DTMaster. 2008: <http://www.inpho.de>

Hu J., You S., Neumann U., Kook Park K., 2004. Building modeling form LiDAR and aerial imagery. *ASPRS Annual Conference Proceedings*, Denver – Colorado.

Meng L., Forberg A., 2006. 3D Building Generalisation. [w:] *Challenges in the Portrayal Geographical Information: Issues of Generalisation and Multi Scale Representation*. Munchen, Niemcy.

Peternell, M., Steiner, T., 2003. Reconstruction of Piecewise Planar Objects from Point Clouds. *Computer-Aided Design*, Vol. 36, s. 333-342.

Sohn G., Dowman I., 2003. Building extraction using Lidar DEMs and Ikonos images. *ISPRS*, Commission 3.

Teo A., 2008. Parametric reconstruction for complex building from lidar and vector maps using a divide and conquer strategy. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, ISPRS Congress, Pekin.

Terrasolid. 2009: <http://www.terasolid.fi>

Wang Z., Schenk T., 2000. Building Extraction and Reconstruction from Lidar Data. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 33, B3.

3D MODELING OF BUILDINGS BASED ON LIDAR DATA

KEY WORDS: LiDAR, cloud of points, reconstruction, building modeling, 3D.

SUMMARY: This paper presents a semi-automatic method, using only ALS data, to build a model of a building. This method focuses on modelling the roof, assuming that by knowing the shape of the roof and the digital presentation of a terrain, one can easily obtain a model of the whole building. The step consists of detecting plane surfaces from which we define the shape of the building's roof. The roof planes are detected using the split-merge method in which a LIDAR point cloud is organized and planes are extracted from each voxel. The planes are joined when parameters such as slope, azimuth and height are contained in the definition of boundary. The final step is exporting the building model to dxf format.

mgr inż. Natalia Borowiec
nboro@agh.edu.pl
telefon: +48 12 6173993

* wersja kolorowa artykułu jest dostępna na stronie <http://www.sgp.geodezja.org.pl/ptfit>

PRÓBA OPRACOWANIA SYMBOLI 3D WYBRANYCH OBIEKTÓW TRÓJWYMIAROWEJ WIELOROZDZIELCZEJ BAZY TOPOGRAFICZNEJ*

THE ATTEMPT TO CREATE 3D SYMBOLS OF SELECTED FEATURES FOR A THREE-DIMENSIONAL MULTIREOLUTION TOPOGRAPHIC DATABASE

Urszula Cisło

Katedra Geoinformacji, Fotogrametrii i Teledetekcji Środowiska,
Akademia Górniczo-Hutnicza

SŁOWA KLUCZOWE: baza danych topograficznych, baza wielorozdzielcza, dane 3D, symbole 3D, projektowanie 3D

STRESZCZENIE: Koncepcja Bazy Danych Topograficznych w postaci 3D (TBD 3D) opracowywana w ramach projektu „Konwersja obiektów Bazy Danych Topograficznych do postaci trójwymiarowej dla potrzeb dynamicznej geowizualizacji”, zakłada istnienie obiektów w trzech wymiarach na trzech poziomach szczegółowości (uogólnienia). W TBD 3D przewiduje się, że wybrane obiekty będą przedstawiane za pomocą symboli 3D na najbardziej szczegółowym poziomie (LoD2), gdzie obiekty będą odpowiadały 3 poziomowi uogólnienia TBD i wszystkie będą przedstawione za pomocą modelu znakowego. Zaprojektowane symbole 3D, ze względu na sposób pozyskiwania i prezentowania informacji wysokościowej obiektów, podzielono na trzy zasadnicze grupy. Pierwszą grupę stanowią symbole o zmiennej wysokości, znanej dla każdego obiektu np. z pomiaru. Druga grupa składa się z symboli o zmiennej, ale arbitralnie przyjętej wysokości lub głębokości. Natomiast w trzeciej grupie znalazły się symbole o stałej wysokości. Symbole 3D zaprojektowano zgodnie z przyjętą powszechnie konwencją kartograficzną oraz, w przypadku braku możliwości przeniesienia kształtu czy koloru przyjętego powszechnie znaku 2D do 3D, z wykorzystaniem poglądowości symboli. Ponadto w przedstawianym etapie badań zaprojektowano różne warianty symboli 3D. Opracowane symbole 3D (wszystkie warianty) w kolejnym etapie ww. projektu zostaną przetestowane w formie ankiety internetowej przez potencjalnych użytkowników pod kątem percepcji krajobrazu.

1. ZARYS KONCEPCJI TBD 3D

Koncepcja Bazy Danych Topograficznych w postaci 3D (TBD 3D) opracowywana w ramach projektu „Konwersja obiektów Bazy Danych Topograficznych do postaci

trójwymiarowej dla potrzeb dynamicznej geowizualizacji” (N N526 192537), zakłada istnienie obiektów w trzech wymiarach na trzech poziomach szczegółowości (uogólnienia). W planowanym systemie TBD 3D przewiduje się wstępny podział obiektów na dwie główne grupy. Pierwsza składa się z obiektów, które będą przedstawiane w swej rzeczywistej postaci lub za pomocą symboli 3D. Dla obiektów w postaci rzeczywistej (np. budynki) informacja o trzecim wymiarze będzie pozyskana z danych ewidencyjnych (liczba kondygnacji), stereodigitalizacji lub z danych lidarowych. Pozostała część obiektów w tej grupie będzie reprezentowana przez symbole o zmiennej lub stałej, znanej (np. z pomiaru) lub arbitralnie zadanej wysokości. Drugą grupę utworzą obiekty, które uzyskają trzeci wymiar w wyniku superpozycji danych dwuwymiarowych z numerycznym modelem rzeźby terenu (sieć dróg, kolei i cieków wodnych, kompleksy użytkowania terenu, tereny chronione, elementy rzeźby terenu). Dodatkowo w TBD 3D w trzech wymiarach pozyskane będą jednostki podziału terytorialnego oraz osnowa geodezyjna i fotogrametryczna (Cisko, 2008).

W TBD 3D przewidywane jest także połączenie modelu pogładowego i znakowego (Głazewski, 2006). W postaci modelu znakowego będą przedstawione m.in. sieci dróg, kolei i cieków, budowle i urządzenia, kompleksy użytkowania terenu, czy osnowa geodezyjna i fotogrametryczna. Natomiast za pomocą modelu pogładowego (pozaznakowego), przedstawionego w odpowiednio dużej skali, przekazane będą informacje o sposobie pokrycia terenu.

Ponadto TBD 3D planowana jest jako wielorozdzielcza trójwymiarowa baza dla wybranych obiektów 3D tak, by możliwe było, w razie takiego życzenia użytkowników, pokazanie terenu i obiektów 3D, a w szczególności budynków, w różnym stopniu szczegółowości. Obiekty te będą zorganizowane na 3 poziomach szczegółowości – LoD (*Level of Detail*), opartych na schemacie aplikacyjnym międzynarodowego standardu Geography Markup Language (GML), będącego standardem OpenGIS® dedykowanym modelowaniu miasta 3D – CityGML (Open..., 2008):

- LoD0 (model regionalny): ogólna prezentacja modelu regionu,
- LoD1 (model blokowy): budynki przedstawione są jako proste bloki ze zgeneralizowaną geometrią,
- LoD2 (model geometryczny): budynki przedstawione są z teksturami o zaznaczonym kształcie dachów.

2. OPRACOWANIE SYMBOLI 3D

W TBD 3D przewiduje się, że wybrane obiekty będą przedstawiane za pomocą symboli 3D na najbardziej szczegółowym poziomie (LoD2), gdzie obiekty będą odpowiadały 3 poziomowi uogólnienia TBD i wszystkie będą przedstawione za pomocą modelu znakowego.

Zaprojektowane symbole 3D, ze względu na sposób pozyskiwania i prezentowania informacji wysokościowej obiektów, podzielono na trzy zasadnicze grupy (Tab. 1):

- symbole o zmiennej wysokości, znanej dla każdego obiektu np. z pomiaru (ten sam symbol 3D może mieć różną wysokość w zależności od wysokości konkretnego obiektu, który symbolizuje);
- symbole o zmiennej, ale arbitralnie przyjętej wysokości lub głębokości (ten sam symbol 3D może mieć różną wysokość w zależności od przyjętej wysokości konkretnego obiektu, który symbolizuje);
- symbole o stałej, arbitralnie przyjętej wysokości (wszystkie symbole 3D przedstawiające konkretny rodzaj obiektu posiadają tą samą wysokość).

Tab. 1. Zasadniczy podział symboli 3D.

Poziom 1	Poziom 2	Poziom 3
OBIEKTY 3D PRZEDSTAWIONE ZA POMOCĄ SYMBOLU 3D O ZNANEJ WYSOKOŚCI		
Budowle i urządzenia	Wysokie budowle techniczne	Wieża ciśnień
		Maszt telekomunikacyjny
		Maszt oświetleniowy
		Turbina wiatrowa
		Wieża szybu kopalnianego
	Dźwigar	
	Umocnienia wodne	Ściana oporowa przy wodzie
Ogrodzenia	Ogrodzenie trwałe	
Urządzenia transportowe	Kolej linowa	
Inne urządzenia techniczne	Szyb naftowy, gazowy	
OBIEKTY 3D PRZEDSTAWIONE ZA POMOCĄ SYMBOLU 3D O ZADANEJ WYSOKOŚCI, GŁĘBOKOŚCI		
Budowle	Budowle mostowe	Przejście podziemne
Sieci uzbrojenia terenu	Odcinki linii elektroenergetycznych	Linia elektroenergetyczna na dźwigarach
		Linia elektroenergetyczna na słupach
	Odcinki linii telekomunikacyjnych	Linia telekomunikacyjna (telefoniczna, telegraficzna)
	Odcinki przewodów rurowych	Wszystkie przewidziane przewody
OBIEKTY 3D PRZEDSTAWIONE ZA POMOCĄ SYMBOLU 3D		
Budowle i urządzenia	Zbiorniki techniczne	Zbiornik materiałów stałych
		Zbiornik materiałów płynnych lub gazu
	Inne urządzenia techniczne	Stacja meteorologiczna
		Stacja paliw
Obiekty inne	Obiekty przyrodnicze	Drzewo, drzewo uznane za pomnik przyrody
		Grupa drzew
		Rząd drzew
		Odosobniona skała
		Głaz narzutowy
	Obiekty związane z komunikacją	Wszystkie obiekty związane z komunikacją oprócz stanowiska poboru opłat na drodze płatnej i przejścia granicznego
Obiekty o znaczeniu orientacyjnym w terenie	Wszystkie obiekty o znaczeniu orientacyjnym za wyjątkiem schronu, pomostu i ruiny	

2.1. Główne założenia przyjęte przy projektowaniu symboli 3D

W trakcie projektowania symboli 3D dla wybranych obiektów TBD 3D starano się kierować oraz zaimplementować podstawowe zasady graficznego projektowania mapy (Ostrowski, 2008):

- 1) zasada dostatecznej widoczności znaków (identyfikacji zmiennych graficznych).
- 2) zasada rozróżnialności znaków,
- 3) zasada łatwości rozpoznania (identyfikacji),
- 4) zasada logicznego powiązania formy znaków z przedstawianą treścią,
- 5) zasada równowagi graficznej i estetyka mapy.

Najważniejszymi czynnikami decydującymi o widoczności znaków, jak i symboli 3D jest ostrość widzenia oraz czułość oka na kontrast, a także, choć w mniejszym stopniu, złożoność symbolu. Im symbol prostszy, tym lepiej jest czytelny, gdyż łatwiej identyfikowalne są jego cechy graficzne, jak kształt, struktura wewnętrzna czy rodzaj desenia. Dodatkowymi zaletami prostych zgeometryzowanych symboli 3D są m.in.:

- większa jednoznaczność położenia,
- zajmowanie mniejszej ilości miejsca, co pozwala na zwiększenie pojemności graficznej wizualizacji 3D,
- łatwość zapamiętania,
- możliwość kombinacji różnych elementów graficznych (łączenie symboli).

Kolejną zasadą przyjętą przy projektowaniu symboli 3D jest wystarczająca rozróżnialność wszystkich elementów graficznych przedstawienia kartograficznego. Chodzi tu przede wszystkim o rozróżnialność pojedynczych znaków, ale także poszczególnych ich kategorii oraz struktur przestrzennych utworzonych przez znaki tego samego rodzaju lub przez różne kategorie znaków (Ostrowski, 2008). Do rozróżnienia symboli 3D wykorzystywane są różne zmienne graficzne: kolor, jasność, kształt i deseń.

Forma graficzna trójwymiarowej prezentacji Bazy Danych Topograficznych powinna w jak największym stopniu ułatwiać identyfikację poszczególnych oznaczeń i relacji przestrzennych, bez względu na kierunek patrzenia obserwatora. Zatem kształt symboli 3D powinien zapewniać jednoznaczną identyfikację przedstawianego obiektu bez względu na kierunek patrzenia. Łatwość identyfikacji przedstawianych obiektów można osiągnąć poprzez zgodność rozwiązań graficznych z przyjętą powszechnie konwencją kartograficzną czy wykorzystanie znaków poglądowych. Poglądowość znaków szczególnie miała zastosowanie w projektowaniu symboli 3D w przypadkach braku możliwości przeniesienia kształtu czy koloru przyjętego powszechnie znaku płaskiego do trzeciego wymiaru. W takich przypadkach wykorzystywano rodzaj poglądowości polegający na możliwości bezpośredniego rozpoznania przedstawianych obiektów i zjawisk, dzięki wzrokowej asocjacji reprezentujących je symboli z tymi obiektami i zjawiskami (Ostrowski, 2008). Posłużono się tu głównie asocjacjami bezpośrednimi, kiedy symbol w TBD 3D upodabnia się do wyglądu lub barwy reprezentowanego obiektu. Do upogładowienia symboli 3D wykorzystano kształt znaku (podobny lub kojarzący się z prezentowanym obiektem), barwę oraz cieniowanie uwydatniające kształt symbolu 3D. Przy czym kształt symbolu 3D starano się pogodzić z zasadą prostoty znaków geometrycznych, dlatego

też bazowano na podstawowych bryłach geometrycznych (sfera, stożek, ostrosłup, graniastosłup, walec). Ponadto pamiętano o tym, by forma graficzna symboli 3D ułatwiała sprawne i precyzyjne określenie charakterystyk przestrzennych: położenia, kształtu i wzajemnych relacji przestrzennych. W tym celu przestrzegano następujących zasad:

- symbole 3D powinny zajmować możliwie mało miejsca przy zachowaniu ich czytelności, rozróżnialności i pogładowości,
- kształt symbolu 3D powinien jednoznacznie wskazywać położenie prezentowanego obiektu,
- przy potrzebie znacznego zróżnicowania wielkości lub rangi obiektów waga optyczna symboli 3D powinna być różnicowana nie tylko poprzez zróżnicowanie ich wielkości, ale również poprzez wykorzystanie innych zmiennych graficznych (kolor, jasność, deseń),
- kontury symboli 3D powinny być tworzone jedynie przez linie ciągłe, a gęstość desena powinna być dostosowana do ich wielkości i kształtu.

Ponadto, w celu precyzyjnego określenia położenia danego obiektu w TBD 3D, symbole 3D powinny być tak umieszczone, aby lokalizację obiektu wskazywały następujące elementy charakterystyczne podstawy tych znaków:

- przy znakach mających kształt figury o szerszej podstawie: środek podstawy dolnej figury,
- przy znakach mających kształt figury o kącie prostym przy podstawie: wierzchołek kąta prostego utworzonego przez osie figur podstawowych składających się na podstawę danego symbolu 3D,
- przy znakach będących połączeniem kilku figur geometrycznych: geometryczny środek podstawy dolnej figury.

Zasada logicznego powiązania formy znaków z przedstawianą treścią dotyczy wzajemnych relacji między znakami, dzięki którym możemy mówić o systemie znaków. Niezbędnym warunkiem stworzenia funkcjonalnego i logicznego systemu znaków jest uporządkowanie elementów treści mapy (Ostrowski, 2008). Zasadę tą zrealizowano poprzez zapewnienie, w miarę możliwości, by stopień graficznego pokrewieństwa symboli 3D, odpowiadał stopniowi znaczeniowego (pojęciowego, fizjonomicznego lub funkcjonalnego) pokrewieństwa odpowiadających im obiektów lub zjawisk. Zmienną graficzną użytą do wyróżnienia podstawowych kategorii symboli 3D był kolor. Natomiast ważność przedstawianych obiektów i zjawisk, do których powinna być dostosowana waga optyczna odpowiadających im symboli 3D, wyrażona została przede wszystkim poprzez wielkość.

Jednocześnie uwzględniono zasadę równowagi graficznej i estetykę prezentacji trójwymiarowej poprzez zachowanie jednolitego stylu w grafice symboli 3D, dobór harmonijnych barw i deseni, czy właściwe zróżnicowanie wielkości i krojów pisma.

2.2. Projektowanie symboli 3D






Jak wspomniano w rozdziale 2.1, aby zachować łatwość rozpoznania obiektów w TBD 3D trójwymiarowe symbole zaprojektowano z przyjętą powszechnie konwencją kartograficzną oraz z wykorzystaniem pogładowości symboli. Większość zaprojek-

towanych symboli 3D wzorowano (kształt, kolor) na katalogu znaków TBD (Główny ..., 2008) oraz na wzorach znaków umownych stosowanych na mapach topograficznych (Ministerstwo ..., 1989). W przypadkach braku możliwości przeniesienia kształtu czy koloru przyjętego powszechnie znaku 2D do 3D, projektowano zupełnie nowy znak wykorzystując asocjacje bezpośrednie symbolu z przedstawianym obiektem. Praktycznie wszystkie symbole 3D zaprojektowano przy użyciu oprogramowania Microstation V8 XM wykorzystując podstawowe bryły geometryczne (*primitives*). Wyjątek stanowiły dwa obiekty: odosobniona skała i głąz narzutowy, które ze względu na swój kształt stworzone zostały za pomocą złożonej bryły (*extended primitives*), która następnie poddano odpowiedniej modyfikacji. Do ich zaprojektowania wykorzystano program 3ds Max®7. W opisywanym etapie badań dla części wybranych obiektów TBD 3D zaprojektowano różne warianty symboli 3D. Dotyczyło to głównie obiektów, których ogólnie przyjęty kształt znaku 2D nie mógł być bezpośrednio przeniesiony do trzeciego wymiaru (np. wieża ciśnień). Warianty poszczególnych symboli 3D różnią się również podstawowymi bryłami geometrycznymi, które je tworzą (np. w wariantach A i B symbolu wieży szybu kopalnianego podstawę symbolu stanowi stożek, a w wariantach C i D ostrosłup). Również napisy powiązane z symbolami 3D zaprojektowano w 2 wariantach: w pierwszym napis zorientowany jest równoległy do południowej strony symbolu, w drugim wariantach napis jest zawsze zwrócony w stronę obserwatora.




























W kolejnym etapie wspomnianego w rozdziale 1 projektu opracowane symbole 3D (wszystkie warianty) zostaną przetestowane w formie ankiety internetowej przez potencjalnych użytkowników z różnych grup wiekowych i zawodowych pod kątem percepcji krajobrazu. W sposób szczególny ankieta internetowa będzie adresowana do specjalistów z zakresu planowania przestrzennego (architektów krajobrazu, urbanistów).

Poniżej przedstawiono przykłady wybranych symboli 3D zaprojektowanych dla TBD 3D: symbole w jednym wariantach (Tab. 2) i symbole zaprojektowane w kilku wariantach (Tab. 3).

Tab. 2. Przykłady wybranych symboli 3D zaprojektowanych w jednym wariantach dla TBD 3D.

Kod	Nazwa	Symbol 3D
KU KO 06	Stacja paliw	
OI PR 11	Odosobniona skała	
OI KM 03	Stacja metra	
OI KM 06	Semafor	
OI OR 01	Pomnik, figura	

Tab. 3. Przykłady wybranych symboli 3D zaprojektowanych w kilku wariantach dla TBD 3D.

Kod	Nazwa	Wariant symbolu 3D		
		A	B	C
BB WT 03	Wieża ciśnień			
BB WT 04	Maszt telekomunikacyjny			
BB WT 07	Wieża szybu kopalnianego			
BB IU 07	Szyb naftowy, gazowy			
BB IU 03	Stacja meteorologiczna			
OI PR 05	Drzewo			
OI KM 05	Sygnal świetlny (np. na latarni morskiej)			
OI OR 03	Mogiła odosobniona			
OI OR 07	Fontanna			
OI OR 12	Wiatrak			

3. PODSUMOWANIE

W ramach opisanego w niniejszym artykule etapu projektu „Konwersja obiektów Bazy Danych Topograficznych do postaci trójwymiarowej dla potrzeb dynamicznej geowizualizacji” (N N526 192537) zaprojektowano 45 symboli 3D dla wybranych obiektów Trójwymiarowej Wielorozdzielczej Bazy Topograficznej, co stanowi 23% wszystkich planowanych obiektów TBD 3D:

- 10 symboli 3D przedstawiającej obiekty o znanej i zmiennej wysokości (22% zaprojektowanych symboli 3D),
- 10 symboli 3D przedstawiającej obiekty o znanej i stałej wysokości, głębokości (22% zaprojektowanych symboli 3D),
- 25 symboli 3D przedstawiającej obiekty o arbitralnie przyjętej i niezmiennej wysokości (56% zaprojektowanych symboli 3D).

Dla 16 obiektów, co stanowi 35% opracowanych symboli 3D, zaprojektowano co najmniej dwie wersje, które w kolejnym etapie badań zostaną poddane testom wśród potencjalnych użytkowników pod kątem percepcji krajobrazu. Po przeprowadzeniu testów wybrane, ostateczne wersje symboli stworzą katalog symboli 3D, który będzie stanowił bazę znaków wykorzystywaną przy tworzeniu trójwymiarowej wielorozdzielczej bazy danych topograficznych (TBD 3D) w jej najbardziej szczegółowym poziomie (LoD2).

W kolejnych etapach ww. projektu m.in. zostaną opracowane formy i szczególności przedstawiania budynków, możliwości wykorzystania ortofotomapy czy analiza przydatności różnych metod pozyskania danych dla TBD 3D.

Publikacja powstała w ramach badań statutowych AGH 11.11.150.949/09

LITERATURA

Cisko U., 2008. Zarys koncepcji trójwymiarowej wielorozdzielczej bazy topograficznej. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 18a, s. 49-57.

Głazewski A., 2006. Modele rzeczywistości geograficznej a modele danych przestrzennych. I Ogólnopolskie Seminarium pt. „Wybrane problemy generalizacji kartograficznej”, Kraków 19 maja 2006.

Główny Urząd Geodezji i Kartografii, 2008. Wytyczne techniczne Baza Danych Topograficznych (TBD) część 3 „Zasady opracowania mapy topograficznej 1:10 000 w standardzie TBD”. Warszawa.

Ministerstwo Gospodarki Przestrzennej i Budownictwa, 1989. Wzory i objaśnienia znaków umownych i napisów stosowanych na mapach topograficznych w skalach 1:5 000 i 1:10 000. Warszawa.

Open Geospatial Consortium, 2008. OpenGIS® City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard.

Ostrowski W., 2008. Semiotyczne podstawy projektowania map topograficznych na przykładzie prezentacji zabudowy. Uniwersytet Warszawski, Warszawa, s. 96-112.

**THE ATTEMPT TO CREATE 3D SYMBOLS OF SELECTED FEATURES
FOR A THREE-DIMENSIONAL MULTIREOLUTION
TOPOGRAPHIC DATABASE**

KEY WORDS: topographic database, multiresolution database, 3D data, 3D symbols, 3D designing

SUMMARY: The design of a three-dimensional multiresolution topographic database (TBD 3D) assumes that all features in TBD 3D exist in three dimensions on three different Levels of Detail (LoD). At the most detailed level of TBD 3D (LoD2), selected features are expected to be represented by 3D symbols. The 3D symbols so designed were divided into three main groups on the basis of the method of obtaining them and their presentation of height information. The first main group consists of 3D symbols with changeable and known (e.g. from surveying) heights for each of the features. The second main group consists of 3D symbols with changeable, but arbitrary, heights or depths while in the third main group there are 3D symbols with a fixed height. All 3D symbols were designed using generally accepted cartographic conventions. Where it was impossible to use generally accepted 2D symbols in the third dimension, 3D symbols were based on observing the feature. In addition different alternatives were designed for selected features. The 3D symbols designed (all alternatives) will be surveyed by potential users on the Internet.

mgr inż. Urszula Cisło
cislo@agh.edu.pl
telefon: +48 12 6173993
fax: +48 12 6173993

* wersja kolorowa artykułu jest dostępna na stronie <http://www.sgp.geodezja.org.pl/pfit>

**LOKALIZACJA PUNKTÓW POMIAROWYCH W SYSTEMIE
DO TRÓJWYMIAROWEGO POZYCJONOWANIA CIAŁA
WYBRANYMI METODAMI SZTUCZNEJ INTELIGENCJI**

**DETECTION OF MEASUREMENT POINTS IN A 3D BODY POSITIONING
SYSTEM BY MEANS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE**

Anna Czechowicz, Regina Tokarczyk

Katedra Geoinformacji, Fotogrametrii i Teledetekcji Środowiska,
Akademia Górniczo-Hutnicza

SŁOWA KLUCZOWE: fotogrametria, pozycjonowanie ciała, sieci neuronowe, perceptron wielowarstwowy, wsteczna propagacja błędów, sieci z radialnymi funkcjami bazowymi

STRESZCZENIE: Fotogrametryczny system cyfrowy do pomiaru ciała ludzkiego dla celów badania wad postawy służy do wyznaczania przestrzennego położenia wybranych jego punktów. Wymaga on pomierzenia na zdjęciach cyfrowych trzech grup punktów, zwanych w tytule referatu punktami pomiarowymi: fotopunktów, markerów sygnalizowanych na pacjencie oraz źrenic oczu. Fotopunkty to czarno-białe sygnały pozwalające na orientację w przestrzeni modelu utworzonego ze zdjęć. Markery to styropianowe kulki o średnicy 4÷5 mm sygnalizujące wybrane elementy kośćca umieszczone na powierzchni ciała. Artykuł dotyczy wykorzystania sieci neuronowych do lokalizacji fotopunktów i styropianowych markerów. Zadaniem sieci jest klasyfikacja kolejnych fragmentów obrazu na zawierające obraz fotopunktu, markera lub niezawierające obrazu żadnego z nich. W ramach badań sprawdzono możliwość przeprowadzenia zdefiniowanej powyżej klasyfikacji sieciami o architekturze wielowarstwowego perceptronu (ang. *Multi Layer Perceptron –MLP*) ze wsteczną propagacją błędu oraz sieciami z radialnymi funkcjami bazowymi RBF (ang. *Radial Basis Function Networks*). Zweryfikowano przydatność reprezentacji opartej na informacji o rozkładzie wartości gradientu oraz jego kierunku dla celów wykrycia punktów pomiarowych. Wspomniana reprezentacja wywodzi się z badań nad selekcją podobrazów dla potrzeb dopasowania zdjęć lotniczych.

1. WPROWADZENIE

Celem pracy jest sprawdzenie przydatności wykorzystania sieci neuronowych do lokalizacji fotopunktów i styropianowych markerów w systemie do badania wad

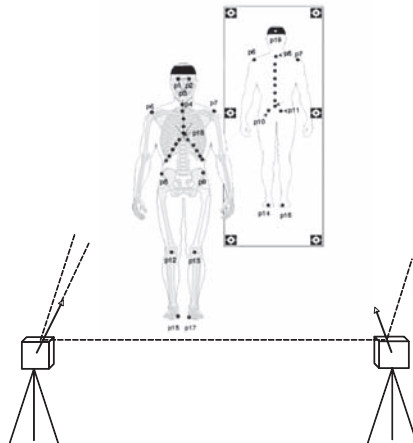
postawy. Zadaniem sieci jest klasyfikacja kolejnych fragmentów obrazu na zawierające obraz fotopunktu, markera lub go niezawierające. Wybór tej metodyki jest podyktowany pewnym doświadczeniem w zastosowaniu jej do innych zagadnień fotogrametrycznych (Czechowicz, Mikrut, 2007a; 2007b) jak również możliwością oparcia badań na bardzo bogatym materiale doświadczalnym, pochodzącym z rejestracji pacjentów z użyciem systemu w gabinecie rehabilitacyjnym. Do przebadania zastosowania metod sztucznej inteligencji zachęcają też pozytywne wyniki użycia sieci neuronowych w detekcji źrenic oczu dla potrzeb systemu (Tokarczyk *et al.*, 2007).

W niniejszych badaniach do klasyfikacji obiektów wykorzystano sieci o architekturze wielowarstwowego perceptronu (ang. *Multi Layer Perceptron - MLP*) ze wsteczną propagacją błędów oraz sieci z radialnymi funkcjami bazowymi RBF (ang. *Radial Basis Function Networks*).

W ramach badań zweryfikowano przydatność reprezentacji opartej na informacji o rozkładzie wartości gradientu oraz jego kierunku dla celów wykrycia punktów pomiarowych.

2. OPIS SYSTEMU DO TRÓJWYMIAROWEGO POZYCJONOWANIA CIAŁA

Rejestracja obrazów w systemie pomiarowym dokonywana jest dwoma cyfrowymi aparatami fotograficznymi, którymi wykonuje się równocześnie zdjęcia o osiach zbieżnych i w przybliżeniu poziomych w taki sposób, aby oprócz przedniej części ciała pacjenta uwidocznione było również odbicie tylnej jego części w lustrze (Rys. 1).



Rys. 1. Schemat fotogrametrycznego systemu do pomiaru geometrii ciała ludzkiego dla celów badania wad postawy.

Fotopunkty to sześć czarno-białych sygnałów, pozwalających na orientację w przestrzeni 3D modelu utworzonego ze zdjęć. Znajdują się one na powierzchni lustra, równomiernie po trzy wzdłuż dłuższych jego krawędzi. Takie ich umieszczenie pozwala na proste obliczenie położenia punktów z tyłu pacjenta, znajdujących się w odbiciu zwierciadlanym.

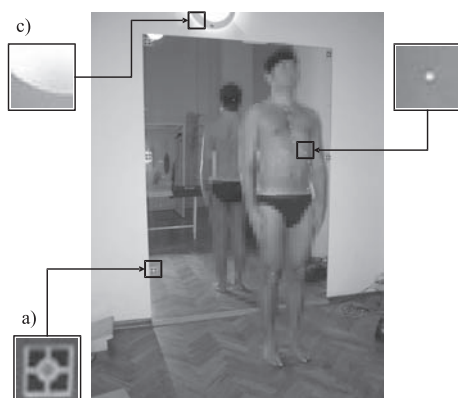
Markery to styropianowe kulki o średnicy 4÷5 mm sygnalizujące przeniesione na powierzchnię ciała wybrane elementy kośćca. Pomiarowi podlega osiemnaście markerów standardowych oraz kilkanaście na kręgosłupie i mostku.

Dotychczasowe rozwiązania automatyzacji detekcji i pomiaru fotopunktów to wykorzystanie korelacji krzyżowej z zastosowaniem wzorca „wyciętego” ze zdjęcia. Podniesienie dokładności do podpikselowej odbywa się z wykorzystaniem metody wagowego środka ciężkości. Detekcja markerów opiera się na metodzie korelacji krzyżowej wzbogaconej o elementy analizy morfologicznej. Wykrycie i pomiar źrenic oczu to zastosowanie sieci neuronowych ze wsteczną propagacją błędów.

Oprogramowanie systemu pozwala na wczytanie i wyświetlenie obrazów obok siebie, pomiar na zdjęciach, wykonanie obliczeń oraz przedstawienie wyników w postaci graficznej i tabelarycznej. Zawiera również bazę danych o pacjentach.

3. WYBÓR DANYCH DO EKSPERYMENTÓW

Przeprowadzone eksperymenty dotyczą klasyfikacji kolejnych fragmentów zdjęcia cyfrowego na fragmenty zawierające obraz fotopunktu (Rys. 2), obraz markera (Rys. 2) lub niezawierające obrazu żadnego z nich. W związku z poszukiwaniem dwóch różnych obiektów przygotowano dwie bazy danych. Pierwsza z nich została wykorzystana do uczenia sieci w celu rozpoznania fotopunktów, druga zaś do uczenia sieci w celu rozpoznania markerów.



Rys. 2. Zdjęcie cyfrowe pacjenta z przykładowymi fragmentami obrazu: a) fotopunktu, b) markera, c) nie-fotopunktu, nie-markera.

Baza danych dla celów rozpoznania fotopunktów składa się z 4040 kolorowych obrazów fotopunktów oraz 2280 kolorowych obrazów nie-fotopunktów. Dla celów rozpoznania markerów przygotowano bazę składającą się z 2470 kolorowych obrazów markerów oraz 2280 kolorowych obrazów nie-markerów. Wymiar obrazów podyktowany jest wielkością znaczka sygnalizującego fotopunkt i wynosi 30x30 pikseli (fotopunkt poszerzony o pas kilku pikseli). W niniejszym artykule mianem nie-fotopunktu, nie-markera określane będzie fragment zdjęcia cyfrowego nie zawierający ani fotopunktu ani markera (Rys. 2).

4. REPREZENTACJA OBRAZU

W ramach badań zweryfikowano przydatność reprezentacji opartej na informacji o rozkładzie wartości gradientu oraz jego kierunku w celu wykrycia punktów pomiarowych. Wspomniana reprezentacja wywodzi się z badań nad selekcją podobrazów dla potrzeb dopasowania zdjęć lotniczych (Czechowicz, Mikrut, 2007a; 2007b).

Dla obrazu cyfrowego wyznaczana jest wartość amplitudy gradientu oraz jej kierunek. Wartości te obliczane są przy pomocy algorytmu Canny'ego (Parker, 1996). Reprezentacja obrazu w postaci dwuwymiarowego histogramu gradientu w (1), (2) wyznaczana jest dla wszystkich pikseli obrazu, które przynależą do krawędzi. W celu ich wykrycia zastosowano dwie wartości progowe dla gradientu: wysoką (równą 60) oraz niską (równą 30). Przyjmując, że krawędź obiektu występuje w miejscach, dla których wartość amplitudy gradientu jest większa od wartości progowych, utworzono dwa obrazy zawierające piksele krawędzi. Oba zostały wykorzystane podczas grupowania pikseli krawędzi metodą śledzenia krawędzi (ang. *edge tracking*), gdzie w pierwszej kolejności algorytm wyznacza przebieg krawędzi na obrazie o progu gradientu równym 60, luki zaś uzupełnia informacją z obrazu o progu gradientu równym 30. Pojedyncze pole dwuwymiarowego histogramu gradientu w_{ij} (1) odpowiada liczbie pikseli na obrazie, dla których wartości gradientu oraz jego kierunku mieszczą się w zadanym przedziałach (2). Dla zastosowanej reprezentacji przyjęto przedziały 20 jednostek dla gradientu oraz 20° dla kierunku, gdzie:

$$(1) \quad w_{ij} = \sum_{k=1}^{k=K} \sum_{l=1}^{l=L} p_{ij}(k, l) \quad i = 1, 2, \dots, n \quad j = 1, 2, \dots, m$$

przy czym:

$$(2) \quad p_{ij}(k, l) = \begin{cases} 1 & \text{gdy } M(k, l) = i \wedge \Theta(k, l) = j \\ 0 & \text{w przeciwnym przypadku} \end{cases}$$

w_{ij} – wartość dwuwymiarowego histogramu gradientu,

n, m – liczba przedziałów, na które został podzielony odpowiednio zakres wartości kąta i wartości gradientu,

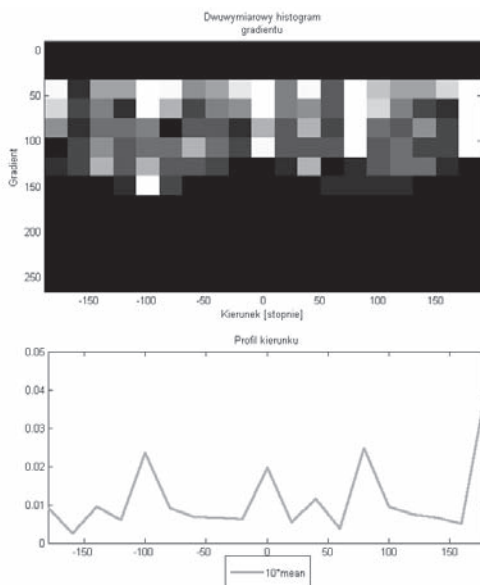
k, l, K, L – odpowiednio współrzędne i rozmiary obrazu wejściowego,

M – amplituda gradientu,

Θ – kierunek amplitudy gradientu,

Na podstawie tak przygotowanego histogramu wyznaczany jest wektor cech w postaci profilu średnich wartości kierunku (3), które powstają poprzez rzutowanie wartości średnich na oś kierunku (Rys. 3):

gdzie:



Rys. 3. Przykładowy histogram gradientu wraz z profilem średnich wartości kierunku dla fotopunktu z agregacją kąta 20°.

$$d_{sr}(j) = \frac{\sum_{i=1}^n (w_{ij})}{n}, \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

d_{sr} – wartość średnia kierunku.

Przykładowy histogram gradientu wraz z profilem średnich wartości kierunku dla fotopunktu przedstawiono na rysunku 3.

5. KLASYFIKACJA FRAGMENTÓW ZDJĘCIA CYFROWEGO

Klasyfikację fragmentów zdjęcia cyfrowego przeprowadzono metodami nadzorowanymi z wykorzystaniem sieci o architekturze wielowarstwowego perceptronu MLP ze wsteczną propagacją błędów oraz sieci z radialnymi funkcjami bazowymi RBF.

Baza danych została poddana wstępnemu przetwarzaniu, na który składała się standaryzacja oraz analiza składowych głównych (ang. *Principal Component Analysis*) dla uczenia sieci MLP oraz normalizacja do wartości 0÷1 dla sieci RBF.

Dla celów uczenia i testowania sieci MLP bazę danych podzielono na trzy podzbiory: uczący, walidacyjny oraz testowy. Na podstawie zbioru uczącego obliczany jest gradient oraz wyliczane są wagi i wartości obciążenia (*bias*) dla sieci. Na podzbiórze walidacyjnym kontrolowany jest błąd uczenia sieci w trakcie procesu uczenia. Jeżeli błąd dla tego zbioru zaczyna rosnąć przez kolejne 6 epok, proces uczenia zostaje zatrzymany, a dla neuronów przywrócone zostają wartości wag oraz obciążenie uzyskane dla najniższego błędu otrzymanego na zbiorze walidacyjnym. Zastosowanie zbioru walidacyjnego minimalizuje zjawisko przeuczenia sieci. Podzbiór testowy nie bierze udziału w procesie uczenia, służy ocenie jakości nauczonej sieci.

Dla celów uczenia sieci RBF baza danych została podzielona na dwa podzbiory: uczący oraz testowy.

Do wyznaczenia optymalnych współczynników wag, sieci uczono z wykorzystaniem walidacji skośnej (ang. *crossvalidation*). Zbiór danych podzielono na 10 części. Każda struktura sieci uczona była dziesięciokrotnie. W przypadku sieci MLP każdorazowo 9 części zbioru stanowiło zbiór uczący, zaś 1 część stanowiła zbiór testowy. Ze względów systemowych dla sieci RBF jedna część stanowiła zbiór uczący, dziewięć zaś zbiór testowy. Końcowe wagi uzyskano uśredniając wartości wag z wszystkich 10 uczeń.

Dokładność klasyfikacji opisano współczynnikiem globalnego rozpoznania obliczanym na podstawie wzoru (4).

gdzie:

r – globalny współczynnik rozpoznania,

$$(4) \quad r = \frac{TP + TN}{a}$$

a – liczba wszystkich próbek,

TP – (ang. *True Positive*) odpowiedź pozytywna, którą stanowią próbki klasy korzystnej rozpoznane przez sieć prawidłowo,

TN – (ang. *True Negative*) odpowiedź negatywna dodatnio, którą stanowią próbki klasy niekorzystnej rozpoznane przez sieć jako niekorzystne.

5.1. Klasyfikacja fragmentów zdjęcia cyfrowego z wykorzystaniem sieci MLP ze wsteczną propagacją błędów

Jednym z najlepiej znanych algorytmów uczenia sieci neuronowej jest metoda wstecznej propagacji błędów. Sieci uczy się na zbiorze składającym się z wektora wejściowego i odpowiadającego mu wektora wyjściowego. Uczenie odbywa się metodą nadzorowaną i polega na takim doborze wag neuronów, by w efekcie końcowym błąd popełniany przez sieć był mniejszy od zadanego. Błędy w poszczególnych warstwach sieci obliczane są począwszy od warstwy ostatniej w kierunku warstwy wejściowej. Liczba warstw może być dowolna. W prezentowanych badaniach wykorzystano sieć o jednej oraz dwóch warstwach ukrytych.

Ważną składową wpływającą na proces uczenia jest funkcja transferu. Funkcja transferu to funkcja określająca zazwyczaj nieliniową zależność między pobudzeniem neuronu, a jego wyjściem. W badaniach zastosowano dwa typy funkcji transferu: logistyczną oraz liniową.

Przetestowano dziewięć różnych algorytmów obliczania gradientu podczas procesu uczenia. Są to:

- algorytm ze zmiennym współczynnikiem uczenia (ang. *Variable Learning Rate Backpropagation*) (oznaczenie GDX),
- przyspieszony algorytm uczenia (oznaczenie RP),
- metoda gradientów sprzężonych z algorytmem Polak – Ribiera (oznaczenie CGP),
- metoda gradientów sprzężonych z algorytmem Powell – Beale’a (oznaczenie CGB),
- metoda gradientów sprzężonych (ang. *Conjugate Gradient*) z algorytmem Fletcher – Powell’a (oznaczenie CGF),
- metoda skalowanego gradientu sprzężonego (ang. *Scaled Conjugate Gradient*) (oznaczenie SCG),
- metody Quasi-Newtona:
 - *One Step Secant* (oznaczenia OSS),
 - *BFGS Quasi – Newton* (oznaczenia BFG)
 - *Levenberg – Marquardt* (oznaczenia LM).

5.1.1. Wyniki uczenia sieci MLP ze wsteczną propagacją błędów dla celów rozpoznania fotopunktów oraz markerów

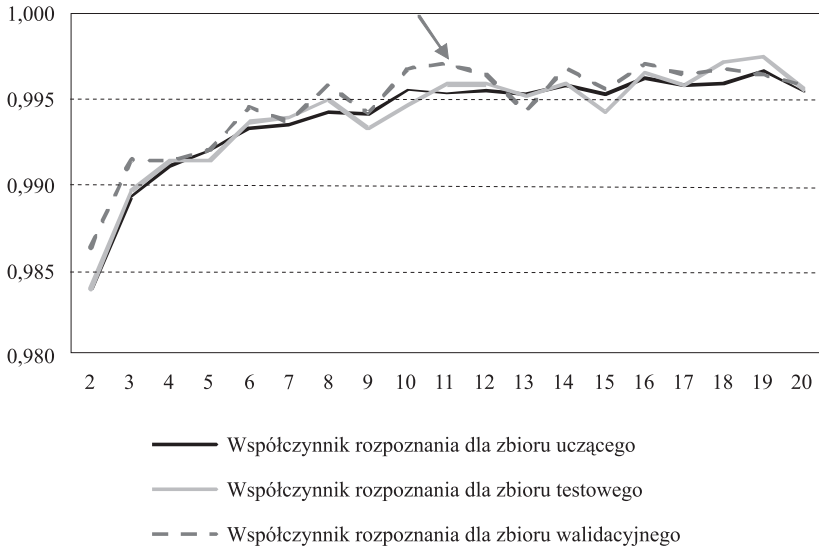
Sieci uczono zmieniając liczbę neuronów w warstwie ukrytej od 2÷20. Optymalną ich liczbę wytypowano na podstawie maksymalnej wartości globalnego współczynnika rozpoznania (4), minimalnej różnicy między maksymalną a minimalną wartością globalnego współczynnika rozpoznania w jednym cyklu walidacji krzyżowej oraz średniej wartości zdefiniowanej uprzednio różnicy dla neuronów od 2÷20. Dodatkowo uwzględniono liczbę neuronów, która powinna być jak najmniejsza ze względu na fakt, że sieć o mniejszej liczbie neuronów w warstwie ukrytej ma potencjalnie większą możliwość generalizacji.

Ze względu na znaczną liczbę wyników, poniżej zaprezentowane zostaną jedynie wybrane, reprezentatywne dla każdej ze zdefiniowanych klasyfikacji.

Dla celów rozpoznania fotopunktów, w przypadku uczenia sieci z jedną warstwą ukrytą dla 2÷20 neuronów, najwyższe współczynniki globalnego rozpoznania oraz minimalne jego różnice w jednym cyklu walidacji uzyskano dla algorytmu *Levenberg – Marquardt* i funkcji logistycznej na wejściu oraz liniowej na wyjściu. Na rysunku 4 przedstawiono wartość globalnego współczynnika rozpoznania dla zbiorów: uczącego, walidacyjnego i testowego w zależności od liczby neuronów w warstwie ukrytej.

Z wykresu wynika, że uzyskana efektywność klasyfikacji waha się w przedziale 0.984÷0.997, maksymalną wartość dla zbioru testowego uzyskuje się dla 20 neuronów. Jednak ze względu na wspomnianą generalizację, wybrano sieć LM_19_11_2 jako najlepszą wśród badanych sieci z jedną warstwą ukrytą rozpoznającą fotopunkty (wynik

Wartość globalnego współczynnika rozpoznania dla sieci LMw zależności od ilości neuronów



Rys. 4. Wartość globalnego współczynnika rozpoznania dla sieci LM w zależności od ilości neuronów. Strzałką zaznaczono strukturę dla której prezentowane są szczegółowe wyniki w Tab. 1.

wskazany na wykresie strzałką). Globalny współczynnik rozpoznania dla zbioru uczącego wynosi 0.995, walidacyjnego 0.997, testowego zaś 0.996.

Jeżeli chodzi o uczenie sieci z dwoma warstwami ukrytymi najefektywniejsza okazała się sieć uczona metodą *Resilient Backpropagation* o 20 i 2 neuronach w warstwie ukrytej oraz funkcji logistycznej w warstwach ukrytych i liniowej w warstwie wyjściowej. Globalny współczynnik rozpoznania dla zbioru uczącego wynosi 1.00, walidacyjnego 1.00, testowego zaś 0.997.

W tabeli 1 zestawione są macierze pomyłek dla sieci z dwoma warstwami ukrytymi. Wartości powinny być odczytywane następująco (patrz. Tab. 1, zbiór testowy): 1 próbka fotopunktu (f) została zaklasyfikowana jako nie-fotopunkt (n-f), 200 uzyskało prawidłową klasyfikację. Wśród próbek nie-fotopunkt wszystkie, tj. 118 zostały zaklasyfikowane prawidłowo (0 próbek nie-fotopunkt zostało przyporządkowanych do klasy fotopunkt). Przekątna macierzy pomyłek zawiera poprawną klasyfikację. Wartości na niej umieszczone służą obliczeniu globalnego współczynnika rozpoznania.

Procedurę uczenia powtórzono dla celów rozpoznania markerów. W tym przypadku zastosowana reprezentacja okazała się opisem mało charakterystycznym i głównie ona wpłynęła na niskie wyniki uczenia. Dla wszystkich badanych metod globalny współczynnik rozpoznania dla zbiorów uczącego, walidacyjnego oraz testowego lokował się w okolicy wartości odpowiednio 0.520, 0.517 oraz 0.515 (Tab. 2).

Tab. 1. Macierz pomyłek rozpoznania fotopunktów dla sieci MLP ze wsteczną propagacją błędu.

		RP_19_20_2_2					
		Zbiór uczący		Zbiór walidacyjny		Zbiór testowy	
		f	n-f	f	n-f	f	n-f
Macierz pomyłek	f	3631	0	198	0	200	0
	n-f	2	2055	0	115	1	118

f– fotopunkt

n-f – nie-fotopunkt

Tab. 2. Globalny współczynnik rozpoznania dla sieci MLP dla celów rozpoznania markerów.

Globalny współczynnik rozpoznania		
Zbiór uczący	Zbiór walidacyjny	Zbiór testowy
0.520	0.517	0.515

Ze względu na reprezentację zaniechano badań nad wykorzystaniem sieci RBF dla celów rozpoznania markerów.

5.1.2. Wstępne badania nad wykorzystaniem sieci RBF do rozpoznania fotopunktów

Sieci RBF są przykładem sieci iteracyjnych. Sieci te mają zawsze tylko trzy warstwy: warstwę wejściową, warstwę ukrytą mającą neurony radialne oraz liniową warstwę wyjściową. Neuron w warstwie ukrytej realizuje funkcję zmieniającą się radialnie wokół wybranego centrum i przyjmuje wartości niezerowe tylko w jego otoczeniu. Każdy neuron wyznacza odległość (będącą miarą dystansu między aktualnym wektorem wejściowym i centrum reprezentowanym przez zestaw wag neuronu), która jest modulowana przez wartość progową. Wartość progowa jest maksymalnym odchyleniem, powyżej którego odległość uważana jest za tak dużą, że sygnał wyjściowy neuronu przyjmuje wartości bardzo bliskie zera. Zastosowanie funkcji radialnych i wartości progowej powoduje, że sieć RBF tworzy lokalne obszary wokół klastrów danych, dzięki czemu możliwe jest uzyskanie odpowiedzi stwierdzającej brak przynależności próbki do zdefiniowanych klas.

Dobór liczby neuronów warstwy ukrytej w sieciach radialnych zależy od przyjętego błędu. Neurony są dodawane iteracyjnie, 1 neuron w jednej iteracji, aż do osiągnięcia błędu średniokwadratowego podanego przez użytkownika lub osiągnięcia maksymalnej liczby neuronów. Maksymalna liczba neuronów równa jest liczbie wektorów wejściowych.

W badaniach zastosowano następujące wartości: maksymalna ilość neuronów 1000, maksymalny błąd 0.0001, wartości progowe 0.5, 1.0. W tabeli 3 zestawiono wartości globalnego współczynnika rozpoznania. W tabeli 4 zestawiono macierze pomyłek. Wartości powinny być odczytywane następująco (patrz. Tab. 4, RBF_0.5 zbiór testowy): 46 próbek fotopunktów (f) zostało zaklasyfikowanych błędnie i uzyskało klasę nie-fotopunkt (n-f),

Tab. 3. Globalny współczynnik rozpoznania dla sieci RBF i dwóch wartości progowych.

Wartość progowa	Globalny współczynnik rozpoznania	
	Zbiór uczący	Zbiór testowy
0.5	1.000	0.964
1.0	1.000	0.956

Tab. 4. Macierz pomyłek rozpoznania fotopunktów dla sieci RBF.

		RBF_0.5			
		Zbiór uczący		Zbiór testowy	
		f	n-f	f	n-f
Macierz pomyłek	f	409	0	3473	158
	n-f	0	223	46	2011
		RBF_1.0			
		f	n-f	f	n-f
		f	n-f	f	n-f
Macierz pomyłek	f	409	0	3587	44
	n-f	0	223	204	1853

f – fotopunkt
n-f – nie-fotopunkt

3473 zaś zostało zaklasyfikowanych prawidłowo jako fotopunkt (f). Wśród próbek nie-fotopunkt 158 zostało przyporządkowane do klasy fotopunkt, 2011 zaś uzyskało prawidłową klasyfikację.

5.2. Wyniki rozpoznania

Na rysunku 5 przedstawiono przykładowe rozpoznanie fotopunktów siecią RP_19_20_2_2.

Jak widać, wśród obszarów rozpoznanych jest kilka, które nie zawierają obrazu fotopunktu (otoczone białym prostokątem). Obszary te zostaną wyeliminowane w następnym etapie przy dokładnym pomiarze fotopunktu na przykład metodą wagowanego środka ciężkości lub LSM.



Rys. 5. Przykład rozpoznania fotopunktów na stereogramie zdjęć zbieżnych siecią RP_19_20_2_2.

6. WNIOSKI

Podsumowując zaprezentowane badania można wyciągnąć następujące wnioski:

- 1) Weryfikacja reprezentacji w postaci profilu średniej wartości kierunku gradientu z agregacją kąta 20° zakończyła się pozytywnym rezultatem dla rozpoznania fotopunktów oraz negatywnym dla rozpoznania markerów. W przypadku markerów jest ona mało charakterystyczna i nie pozwala odróżnić klasy „marker” od klasy „nie-marker”.
- 2) Sieć MLP z wsteczną propagacją błędów daje pozytywne wyniki dla rozpoznania fotopunktów i może być z powodzeniem wykorzystywana do takich celów. Sieć BP z dwoma warstwami ukrytymi uczona metodą *Resilient Backpropagation* o strukturze 19-20-2-2 rozpoznaje fotopunkty w zbiorze testowym na poziomie 99.7%.
- 3) Sieć typu RBF wymaga dalszych testów. Wstępne badania dla rozpoznania fotopunktów dają pozytywne rezultaty na poziomie 96.4% dla zbioru testowego przy współczynniku progowym 0.5. Przy wzroście współczynnika obserwuje się spadek wartości globalnego współczynnika rozpoznania oraz negatywne zjawisko jakim jest przyporządkowanie większej liczby próbek fotopunkt do klasy nie-fotopunkt

(patrz. Tab. 4, wartość 204). Zdecydowanie bardziej korzystna jest sytuacja odwrotna, gdy sieć zaklasyfikuje większą ilość próbek nie-fotopunkt do klasy fotopunkt, gdyż próbki te w dalszym etapie, zostaną wyeliminowane metodą np. wagowanego środka ciężkości lub LSM. Badania powinny być prowadzone przy współczynniku mniejszym niż 0.5.

- 4) Testy dotyczące wykorzystania sieci RBF do celów klasyfikacji markerów powinny zostać podjęte po uprzednim dobraniu charakterystycznej dla markerów reprezentacji.

7. LITERATURA

Czechowicz A., Mikrut Z., 2007a. Wykorzystanie sieci Kohonena do selekcji podobrazów na potrzeby dopasowania zdjęć lotniczych. *Automatyka: półrocznik Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie*, Kraków.

Czechowicz A., Mikrut Z., 2007b. Selekcja podobrazów dla potrzeb dopasowywania zdjęć lotniczych oparta na histogramach gradientu i sieci neuronowej. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol.17a, Kraków.

Parker J.R., 1996. *Algorithms for Image Processing and Computer Vision*, Wiley

Tokarczyk R., Huppert M., Koprowski R., Mazur T., Mierzwa W., Mikrut S., Wróbel Z., 2007. *Automatyzacja pomiaru na obrazach cyfrowych w systemie fotogrametrycznym do badania wad postawy*. Praca zbiorowa pod redakcją Reginy Tokarczyk, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Techniczne AGH, Kraków.

DETECTION OF MEASUREMENT POINTS IN A 3D BODY POSITIONING SYSTEM BY MEANS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE

KEY WORDS: Photogrammetry, Body Positioning, Neural Networks, Multi Layer Perceptron, Error Back-Propagation, Radial Basis Function Networks

SUMMARY: A digital photogrammetric system for making measurements of the human body for the purpose of studying faulty posture is designed to determine the three-dimensional location of selected points in the human body. It requires the measurement of three groups of points on digital images, points referred to in this paper's title as measurement points, i.e. control points, markers indicated on the patient's body and pupils of the eyes. Control points are black and white signals permitting the correct orientation in space of a model created from the images. The markers are balls of polystyrene foam of 4-5 mm diameter, placed on the body, which indicate selected elements of the human skeleton. This paper describes the utilisation of neural networks to locate control points and markers. The aim of the networks is to classify consecutive fragments of an image as containing control points, containing markers or not containing any of these features. The research covered evaluation of the possibility of conducting this classification using Multi Layer Perceptron Networks with back propagation of errors as well as with Radial Basis Function Networks. The usefulness

of a representation based on information about the distribution of gradient value and direction for the purpose of the detection of measurement points has been verified. This representation comes from earlier research on the selection of subimages for the purpose of matching the aerial pictures

mgr inż. Anna Czechowicz
an.czechowicz@gmail.com
telefon: +48 12 6173993
fax: +48 12 6173993

dr hab. inż. Regina Tokarczyk
tokarcz@agh.edu.pl
telefon: +48 12 6172288
fax: +48 12 6173993

**ZMIANY UŻYTKOWANIA ZIEMI W TRZECH GMINACH KARPACKICH
(NIEDŹWIEDŹ, SZCZAWNICA I TRZCIANA)
W DRUGIEJ POŁOWIE XX WIEKU***

**LAND USE CHANGE IN THREE CARPATHIAN COMMUNITIES
(NIEDŹWIEDŹ, SZCZAWNICA AND TRZCIANA)
IN THE SECOND PART OF THE 20TH CENTURY***

**Michał Dec¹, Żaneta Kaszta¹, Karolina Korzeniowska¹, Adam Podsada¹,
Szymon Sobczyszyn-Żmudź¹, Anna Wójtowicz¹, Elżbieta Zimna¹,
Katarzyna Ostapowicz²**

¹ Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytet Jagielloński

² Zakład Systemów Informacji Geograficznej, Kartografii i Teledetekcji,
Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytet Jagielloński

SŁOWA KLUCZOWE: zmiany użytkowania ziemi, zdjęcia lotnicze, Karpaty

STRESZCZENIE: Celem niniejszej pracy jest określenie kierunków zmian użytkowania ziemi w ostatnim trzydziestoleciu XX wieku, w Karpatach, na przykładzie trzech gmin (Niedźwiedź, Szczawnica i Trzciana). Materiałem źródłowym dla przeprowadzanych badań były czarno-białe zdjęcia lotnicze (lata 70.) i ortofotomapy (rok 2003). Przeprowadzone analizy wykazały wzrost powierzchni leśnej, nieużytków z obszarami porzuconymi oraz obszarów zabudowanych i infrastruktury technicznej a także spadek powierzchni obszarów użytkowanych rolniczo. Największą dynamiką zmian charakteryzowały się obszary poniżej 600-700 m n.p.m. na stokach o nachyleniach poniżej 10°.

1. WSTĘP

Zmiany użytkowania ziemi przez człowieka są istotnym czynnikiem kształtującym środowisko przyrodnicze. Zarówno w skali lokalnej, jak i globalnej oddziałują one na zmiany bilansu węgla, obieg wody, zmiany bioróżnorodności i krajobrazu (Verburg *et al.*, 2009). W związku z tym są przedmiotem intensywnych badań, możliwych m.in. dzięki rozwojowi technik pozyskiwania, przetwarzania, analizy i modelowania informacji geograficznej (Turner II *et al.*, 2007).

Karpaty Polskie, podobnie jak wiele innych obszarów górskich Europy, podlegają współcześnie szybkim zmianom użytkowania ziemi, m.in. w związku porzucaniem ziemi użytkowanej rolniczo i wzrostem powierzchni lasów (MacDonald *et al.*, 2000; Kuemmerle *et al.*, 2008; Kaim, 2009; Ostafin, 2009; Kozak, 2010). Do zmian związanych z porzucaniem ziemi i naturalną sukcesją leśną dochodzą inne zmiany na obszarach wiejskich, wynikające z rozwoju gospodarczego, wzrostu w sektorze usług lub też wdrażania różnego typu programów rozwojowych (Bański, 2005; Węclawowicz *et al.*, 2006). Znaczne rozproszenie przestrzenne różnego typu oddziaływań i będących ich skutkiem zmian użytkowania ziemi wpływa na dużą niepewność co do obecnego tempa i kierunku zmian m.in. w skali całych Karpat. Podobna niepewność sygnalizowana jest na przykład w odniesieniu do tempa przyrostu powierzchni lasów w Polsce (Szwagrzyk, 2004). Istotne jest więc uzyskanie na poziomie lokalnym informacji przestrzennej o przeszłych zmianach i obecnym stanie użytkowania ziemi w polskiej części Karpat.

Celem niniejszego opracowania jest wyodrębnienie głównych kierunków zmian użytkowania ziemi w Karpatach Polskich w ostatnim trzydziestolecu XX wieku (lata 1963/1977-2005) na podstawie badań przeprowadzonych w wybranych gminach karpackich z wykorzystaniem zdjęć lotniczych. Analizę zmian przeprowadzono dla siedmiu klas użytkowania ziemi: wody (1), lasu (2), zabudowy i użytków technicznych (3) – dla uproszczenia, w dalszej części opracowania, przede wszystkim w tabelach, używana jest tylko pierwsza część nazwy tej klasy – zabudowa, parków (4), obszarów rekreacyjnych (5), użytków rolnych (6) oraz nieużytków z obszarami porzucenymi (7) – dla uproszczenia, w dalszej części opracowania, przede wszystkim w tabelach, używana jest tylko pierwsza część nazwy tej klasy – nieużytki.

2. OBSZAR BADAŃ

Do analiz wybrano trzy gminy w województwie małopolskim (Niedźwiedź, Szczawnica i Trzciana). Każdą z tych gmin charakteryzują inne warunki naturalne i społeczno-ekonomiczne (Rys. 1).

Gmina Niedźwiedź (powiat limanowski) jest gminą wiejską o powierzchni 74.44 km² (GUS, 2008b), liczącą 6893 mieszkańców (GUS, 2008a), położoną w Gorcach (Kondracki, 1998). Wysokości bezwzględne na terenie gminy wahają się od 400 do 1270 m n.p.m. Dominującą klasą użytkowania ziemi w gminie jest las.

Gmina Szczawnica (powiat nowotarski) to gmina miejsko-wiejska zajmująca powierzchnię 87.89 km² (GUS, 2008b), jest zamieszkała przez 7453 mieszkańców (GUS 2008a). Pod względem fizycznogeograficznym gmina jest położona na granicy dwóch mezoregionów, zachodnia część wchodzi w skład Małych Pienin, a wschodnia - Beskidu Sądeckiego (Kondracki, 1998). Wysokości bezwzględne na terenie gminy mieszczą się w przedziale od 419 do 1262 m n.p.m. Dominującą klasą użytkowania ziemi w gminie jest las.

Gmina Trzciana (powiat bocheński) jest gminą wiejską o najmniejszej powierzchni 44.09 km² (GUS, 2008b), liczy 5180 mieszkańców (GUS, 2008a). Pod względem fizycznogeograficznym gmina jest usytuowana w obrębie dwóch makroregionów Karpat Zachodnich: Pogórza Zachodniobeskidzkiego i Beskidów Zachodnich (Kondracki, 1998).



Rys. 1. Obszar badań.

1 – granica Karpat (Kondracki, 1998), 2 – granica państwa, 3 – gminy, 4 – badane gminy

Wysokości bezwzględne w obrębie gminy wahają się od 220 do 780 m n.p.m. Około 95% jej obszaru leży poniżej 500 m n.p.m. Użytki rolne są dominującą klasą użytkowania ziemi w gminie.

3. MATERIAŁY ŹRÓDŁOWE

Źródłem informacji o użytkowaniu ziemi w badanych gminach, w latach 70. XX w. były biało-czarne zdjęcia lotnicze z Centralnego Oddziału Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej. Dla gminy Niedźwiedź wykorzystano 11, a dla gminy Szczawnica 14 zdjęć lotniczych w skali 1:20 000 z roku 1977, natomiast dla gminy Trzciana 8 zdjęć lotniczych w skali 1:19 000 z roku 1963. Dla roku 2003 informacja o użytkowaniu ziemi pochodziła z ortofotomap w skali 1:5 000 w układzie 1992 (terenowa wielkość piksela wynosi 0.25 m) zakupionych razem z numerycznym modelem terenu (NMT) wykonanym na potrzeby LPIS (Systemu Identyfikacji Działek Rolnych) w Wojewódzkim Oddziale Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej w Krakowie. Granice administracyjne gmin pochodziły z Państwowego Rejestru Granic (stan na rok 2008) udostępnianego w układzie 1992.

4. METODY

4.1. Przetworzenie materiałów źródłowych

Przetwarzanie materiałów rozpoczęto od integracji wszystkich posiadanych danych cyfrowych do układu 1992. Pierwszy etap prac obejmował konwersję modelu LPIS do

Tab. 1. Klasy użytkowania ziemi.

ID	klasa użytkowania ziemi	opis
1	wody	obszar o powierzchni wodnej co najmniej 0.10 ha i szerokości większej niż 5 m
2	lasy	obszar o zwartej powierzchni co najmniej 0.10 ha i szerokości większej niż 50 m, pokryty roślinnością leśną
3	zabudowa i użytki techniczne	obszar zabudowany (zabudowa i użytki techniczne) o powierzchni co najmniej 0.10 ha i szerokości większej niż 5 m. Odległość pomiędzy pojedynczymi budynkami nie może przekraczać 20 m
4	parki miejskie	obszar o zwartej powierzchni co najmniej 0.10 ha pokryty roślinnością wewnątrz obszarów zabudowanych
5	obszary rekreacyjne	wyciągi narciarskie, boiska oraz inne kompleksy sportowe o powierzchni co najmniej 0.10 ha
6	użytki rolne	grunty orne, łąki, pastwiska, sady o powierzchni co najmniej 0.10 ha
7	nieużytki z obszarami porzuconymi	obszary o wyraźnej sukcesji leśnej o powierzchni co najmniej 0.10 ha

formatu rastrowego (rozdzielczość przestrzenna 0.5 m) oraz ortorektifikację zdjęć lotniczych z lat 1963 oraz 1977. Ortorektifikacja została wykonana w programie ILWIS v.3.4 z wykorzystaniem funkcji *GeoRef Direct Linear*. Terenowe punkty kontrolne (*Ground Control Points; GCP's*) wektoryzowano na ortofotomapach z roku 2003. *Punkty kontrolne* rozmieszczono równomiernie na obszarze całego zdjęcia, w miejscach charakterystycznych, które nie uległy zmianie w analizowanym przedziale czasowym, takich jak: przecięcia dróg, narożniki budynków lub mosty. Wartości wysokości bezwzględnej były automatycznie wprowadzone z posiadanego NMT. Minimalna ilość *punktów kontrolnych* dla pojedynczego zdjęcia wynosiła 25. Wartości sigmy, określającej dokładność ortorektifikacji, wahały się między 2.6 a 80.0 mm/piksel.

Drugim etapem przetwarzania danych była wektoryzacja informacji o użytkowaniu ziemi na ortofotomapach. Założono, że minimalna jednostka kartowania dla wszystkich analizowanych klas będzie wynosić 0.1 ha oraz przeprowadzona wektoryzacja będzie pełna (Tab. 1). Dodatkowo zwektoryzowano punktową warstwę zabudowy. Przyjęto, że wektoryzowany punkt reprezentujący budynek będzie lokalizowany w środku ciężkości danego budynku, a granica budynku wyznaczona zostanie wzdłuż przebiegu jego dachu.

4.2. Analiza zmian użytkowania ziemi

Zmiany użytkowania ziemi w badanym przedziale czasowym określono wykorzystując metodę nakładania map. Szczegółowe, ilościowe analizy kierunków zmian oparto na czterech wskaźnikach zmian:

- powierzchnia zmian (PZ):

$$(1) \quad PZ[\text{ha}] = \frac{P_{t+1} - P_t}{10000}$$

gdzie P_t to powierzchnia danej klasy użytkowania ziemi w momencie czasowym t wyrażona w pikselach,

- powierzchnia zmian w odniesieniu do powierzchni gminy (PZG):

$$PZG [\%] = \frac{P_t}{P_g} * 100 \quad (2)$$

gdzie P_g to powierzchnia gminy [piksele],

- powierzchnia zmiany w odniesieniu do początkowej powierzchni danej klasy użytkowania ziemi (KZ):

$$KZ [\%] = \frac{P_{t+1} - P_t}{P_t} * 100 \quad (3)$$

- procentowa zmiana poszczególnych klas użytkowania ziemi pomiędzy momentami czasowymi $t + 1$ i t (KZU).

$$KZU [\%] = P_{t+1} - P_t \quad (4)$$

gdzie P_t to powierzchnia danej klasy użytkowania ziemi w momencie czasowym t wyrażona w jako udział procentowy w powierzchni analizowanej gminy.

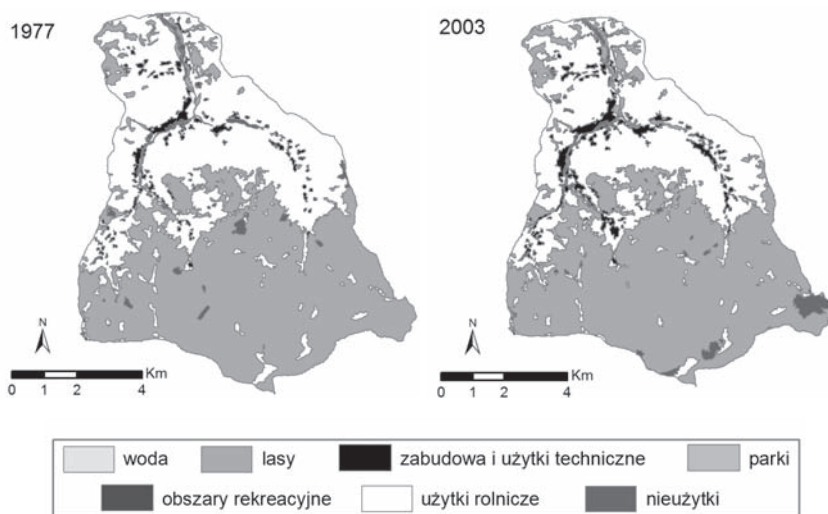
Zmiany analizowano dla całej powierzchni gminy oraz w odniesieniu do czynników przyrodniczych uwzględnianych m.in. przy delimitacji obszarów o niekorzystnych warunkach dla gospodarowania (ONW) – wysokości bezwzględnej i nachylenia stoków. Opisane powyżej wskaźniki zmian obliczono w czterech klasach wysokości bezwzględnej (w każdej gminie całkowity zakres wartości wysokości bezwzględnych został podzielony na cztery równe klasy) oraz dwóch klasach nachyleń stoków (poniżej i powyżej 10°)

Dodatkowo analizie poddano również zmiany zabudowy (warstwa punktowa zabudowy). Wyznaczono gęstość zabudowy ($GZ = \text{liczba budynków}/\text{km}^2$) i jej zmiany w poszczególnych klasach wysokości bezwzględnej oraz nachyleń stoków, a także odsetek budynków na obszarach o danej wysokości bezwzględnej i nachyleniach stoków.

5. WYNIKI

5.1. Zmiany użytkowania ziemi w gminie Niedźwiedź

Dominującą klasą użytkowania ziemi w gminie Niedźwiedź są lasy, których udział w analizowanym przedziale czasowym nieznacznie wzrósł z 53.7% do 54.2% kosztem przede wszystkim użytków rolnych i nieużytków. Użytki rolne stanowiły 42.1% powierzchni gminy w roku 1977 i 39.5% w roku 2003. Obszar zajmowany przez nieużytki w obu momentach czasowych wynosił około 2.0%, z zaobserwowanym nieznacznym wzrostem w roku 2003 kosztem użytków rolnych i powierzchni leśnej. Udział zabudowy i użytków technicznych wzrósł z 2.4% na 4.0% powierzchni gminy kosztem powierzchni zajmowanej przez użytki rolne. Wody zajmowały poniżej 1.0% badanego obszaru (Rys. 2, Tab. 2).



Rys. 2. Użytkowanie ziemi w gminie Niedźwiedź, w latach 1977-2003.

Tab. 2. Zmiany użytkowania ziemi w gminie Niedźwiedź, w latach 1977-2003.

rok 1977/2003		klasy użytkowania ziemi – rok 2003						Razem
		wody	las	zabudowa	u. rolne	nieużytki	pozostałe	
klasy użytkowania ziemi – rok 1977	wody	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.2%
	las	0.0%	51.7%	0.0%	0.6%	1.4%	0.0%	53.7%
	zabudowa	0.0%	0.0%	2.2%	0.1%	0.0%	0.0%	2.4%
	u. rolne	0.0%	1.4%	1.7%	38.7%	0.3%	0.0%	42.1%
	nieużytki	0.0%	1.1%	0.1%	0.1%	0.4%	0.0%	1.7%
	pozostałe	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Razem		0.1%	54.2%	4.0%	39.5%	2.1%	0.0%	100.0 %

Zmiany użytkowania ziemi objęły prawie 7.0% powierzchni badanej gminy. Największe zmiany odnotowano w przypadku użytków rolnych, których powierzchnia, w latach 1977-2003, zmniejszyła się o 192.18 ha. Z kolei najbardziej przyrosła powierzchnia obszarów zabudowanych i infrastruktury technicznej, lasów oraz nieużytków (Tab. 3). Ma to odzwierciedlenie również w zmianach wskaźnika KZU, największy spadek tego

Tab. 3. Wskaźniki zmian użytkowania ziemi w gminie Niedźwiedź, w latach 1977-2003.

klasy użytkowania ziemi	wskaźniki				
	U 1977 [%]	U 2003 [%]	KZ [%]	KZU [%]	PZ [ha]
wody	0.2	0.1	93.9	0.0	-0.72
lasy	53.7	54.2	101.0	0.5	38.12
zabudowa	2.4	4.0	169.5	1.6	122.16
użytki rolne	42.1	39.5	93.8	-2.6	-192.18
nieużytki	1.7	2.1	125.9	0.4	32.61
pozostałe	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00

Tab. 4. Użytkowanie ziemi w latach 1977-2003, w gminie Niedźwiedź a wysokość bezwzględna.

wysokość w m, n.p.m.		wody	lasy	zabudowa	u. rolne	nieużytki	pozostałe
408–623	1977	0.5%	11.7%	6.3%	78.9%	2.7%	0.0%
	2003	0.4%	13.9%	10.7%	73.4%	1.6%	0.0%
623–838	1977	0.0%	58.3%	0.6%	39.2%	1.9%	0.0%
	2003	0.0%	60.4%	1.2%	37.8%	0.6%	0.0%
838–1054	1977	0.0%	94.8%	0.0%	4.5%	0.6%	0.0%
	2003	0.0%	95.5%	0.0%	3.8%	0.6%	0.0%
1054–1269	1977	0.0%	89.4%	0.0%	10.6%	0.0%	0.0%
	2003	0.0%	74.8%	0.0%	9.7%	15.5%	0.0%

wskaźnika 2.6%, odnotowano dla użytków rolnych, a największy wzrost dla zabudowy i lasów, odpowiednio o 1.6 i 0.5% (Tab. 3).

Analizując strukturę użytkowania ziemi w poszczególnych klasach wysokości bezwzględnej odnotowano występowanie obszarów zabudowanych i infrastruktury technicznej w dwóch najniższych klasach wysokości bezwzględnej, i ich największą koncentrację do wysokości 623 m n.p.m. Jednocześnie dla najniżej położonych obszarów charakterystyczny jest znacznie niższy udział lasów i dominacja użytków rolnych (powyżej 70%). Powierzchnia lasów wzrosła we wszystkich przedziałach poza obszarami położonymi najwyżej, gdzie nastąpił spadek ich udziału o 14.6% oraz dynamiczny przyrost powierzchni nieużytków (Tab. 4).

Najsilniejszą zależność od nachyleń stoków wykazują obszary zabudowane i infrastruktura techniczna, których udział na stokach o nachyleniu do 10° jest prawie dwukrotnie większy, w dwóch badanych momentach czasowych, i wykazywał tu większą dynamikę wzrostu niż na stokach o nachyleniu powyżej 10°. Kolejna odnotowana pra-

widłowość to wyższy o około 12.0% udział lasów na stromych stokach oraz nieznaczny wzrost ich powierzchni w badanym przedziale czasowym. Odwrotnie w przypadku użytków rolnych, które dominują na stokach o mniejszych nachyleniach, przy czym obserwowany jest spadek ich powierzchni kosztem powierzchni lasów, obszarów zabudowach i infrastruktury technicznej oraz nieużytków (Tab. 5).

Udział procentowy budynków w klasach wysokości bezwzględnej i nachyleń w badanym przedziale czasowym jest podobny. Ponad 85% budynków znajduje się na obszarach położonych poniżej 623 m n.p.m., a 75% na stokach o nachyleniu do 10°. W wymienionych klasach nastąpił dwukrotny wzrost zabudowy w badanym przedziale czasowym. Obserwujemy także znaczący przyrost gęstości zabudowy dla klasy wysokości 623-838 m n.p.m. (z 7.9 do 14.7), dla kolejnej klasy wzrost jest marginalny, natomiast powyżej 1054 m n.p.m. zanotowano jej spadek (Tab. 6, Tab. 7).

Tab. 5. Użytkowanie ziemi w latach 1977-2003, w gminie Niedźwiedź a nachylenia stoków.

nachylenie terenu		wody	lasy	zabudowa	u. rolne	nieużytki	pozostałe
<10°	1977	0.3%	47.5%	3.5%	46.6%	2.1%	0.0%
	2003	0.3%	48.0%	6.0%	43.3%	2.4%	0.0%
≥10°	1977	0.1%	60.7%	1.2%	38.4%	1.3%	0.0%
	2003	0.0%	61.2%	2.1%	36.4%	1.9%	0.0%

Tab. 6. Udział zabudowy w klasach wysokości bezwzględnej i nachyleń stoków w gminie Niedźwiedź.

	nachylenie terenu [°]		wysokość bezwzględna [m n.p.m.]			
	<10°	≥10°	408-623	623-838	838-1054	1054-1269
1977	74.8%	25.2%	86.0%	13.1%	0.5%	0.4%
2003	73.8%	26.2%	85.5%	13.9%	0.4%	0.1%

Tab. 7. Gęstość zabudowy [liczba budynków/km²] a wysokość bezwzględna i nachylenia stoków w gminie Niedźwiedź.

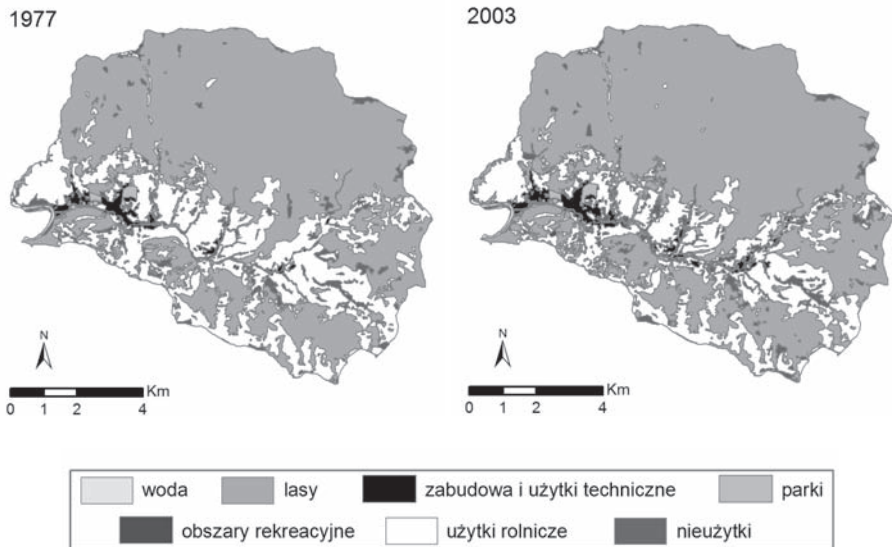
	nachylenie terenu [°]		wysokość bezwzględna [m n.p.m.]			
	<10°	≥10°	408-623	623-838	838-1054	1054-1269
1977	31.3	10.4	53.0	7.9	0.4	1.0
2003	54.6	19.0	92.8	14.7	0.7	0.7

5.2. Zmiany użytkowania ziemi w gminie Szczawnica

W gminie Szczawnica dominującą klasą użytkowania ziemi są lasy, które pokrywały 64.2% powierzchni gminy w roku 1977 i 67.7% w roku 2003. Wzrost powierzchni leśnej nastąpił przede wszystkim kosztem użytków rolniczych, które w roku 1977 zajmowały 28.9% powierzchni gminy, a w roku 2003 już tylko 23.7%. Powierzchnia użytków rolnych zmniejszyła się również kosztem nieużytków, które w 1977 roku obejmowały 4.7% powierzchni gminy, a w 2003 roku 5.5%, oraz zabudowy, której udział wyniósł odpowiednio 1.7% i 2.4%. Łączny udział pozostałych klas użytkowania ziemi w powierzchni gminy ogółem nie przekraczał 1% (Rys. 3, Tab. 8).

Zmiany użytkowania ziemi w latach 1977-2003 objęły blisko 8.7% powierzchni gminy (764 ha). Największe dotyczyły użytków rolnych, których powierzchnia zmniejszyła się o ponad 451.05 ha, w znacznej części w wyniku konwersji na powierzchnię leśną. Użytki rolne były jedyną formą użytkowania ziemi, której powierzchnia spadła. Z pozostałych klas zaobserwowano wzrost powierzchni nieużytków i zabudowy (Tab. 9).

Odmienne kształtowała się dynamika przyrostu powierzchni poszczególnych form użytkowania, co odzwierciedla wskaźnik KZ. Najszybciej rozwijały się obszary rekreacyjne osiągając ponad trzykrotny wzrost powierzchni. Nastąpił również szybki rozwój zabudowy, której powierzchnia wzrosła o 42.4%. Wśród pozostałych klas użytkowania ziemi odnotowano istotny wzrost powierzchni nieużytków oraz spadek powierzchni użytków rolnych. W klasie lasów można zauważyć dosyć niską dynamikę zmian pomimo największych przyrostów bezwzględnych (Tab. 9).



Rys. 3. Użytkowanie ziemi w gminie Szczawnica, w latach 1977-2003.

Tab. 8. Zmiany użytkowania ziemi w gminie Szczawnica, w latach 1977-2003.

rok 1977/2003		klasy użytkowania ziemi – rok 2003						Razem
		wody	lasy	zabudowa	u. rolne	nieużytki	pozostałe	
klasy użytkowania ziemi – rok 1977	wody	0.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.3%
	lasy	0.0%	63.4%	0.0%	0.4%	0.4%	0.0%	64.2%
	zabudowa	0.0%	0.0%	1.6%	0.0%	0.0%	0.0%	1.7%
	u. rolne	0.0%	2.6%	0.7%	23.1%	2.5%	0.0%	28.9%
	nieużytki	0.0%	1.7%	0.1%	0.3%	2.6%	0.0%	4.7%
	pozostałe	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.3%	0.3%
Razem		0.3%	67.7%	2.4%	23.7%	5.5%	0.3%	100.0%

Tab. 9. Wskaźniki zmian użytkowania ziemi w gminie Szczawnica, w latach 1977-2003.

klasy użytkowania ziemi	wskaźniki				
	U 1977 [%]	U 2003 [%]	KZ [%]	KZU [%]	PZ [ha]
wody	0.3	0.3	0.5	0.0	0.14
lasy	64.2	67.7	5.5	3.6	312.03
zabudowa	1.7	2.4	42.4	0.7	62.56
u. rolne	28.9	23.7	-17.8	-5.1	-451.05
nieużytki	4.7	5.5	17.5	0.8	72.04
parki	0.3	0.3	3.6	0.0	0.88
o. rekreacyjne	0.0	0.1	310.7	0.0	3.41

Tab. 10. Użytkowanie ziemi w latach 1977-2003, w gminie Szczawnica a wysokość bezwzględna.

wysokość w m, n.p.m.		wody	lasy	zabudowa	u. rolne	nieużytki	pozostałe
408–623	1977	1.4%	26.6%	7.8%	53.7%	9.2%	1.4%
	2003	0.4%	30.6%	11.0%	43.6%	11.9%	1.5%
623–838	1977	0.0%	66.1%	0.1%	29.8%	4.1%	0.0%
	2003	0.0%	70.6%	0.2%	25.1%	4.0%	0.1%
838–1054	1977	0.0%	84.4%	0.0%	13.4%	2.1%	0.0%
	2003	0.0%	86.6%	0.0%	10.3%	3.1%	0.0%
1054–1269	1977	0.0%	95.0%	0.0%	0.0%	5.0%	0.0%
	2003	0.0%	95.0%	0.0%	0.0%	5.0%	0.0%

Wraz ze wzrostem wysokości bezwzględnej zaobserwowano spadek powierzchni użytków rolnych i wzrost powierzchni leśnej. Połowę powierzchni w klasie wysokości do 629.5 m n.p.m. zajmowały użytki rolne, a w najwyższym z wyznaczonych przedziałów wysokości bezwzględnej nie odnotowano użytkowania rolniczego. Odwrotnie jest w przypadku lasu, którego udział rośnie wraz z wysokością bezwzględną do blisko 95% w najwyższej klasie (pozostały teren zajmują tam wyłącznie nieużytki). Rozmieszczenie obszarów zabudowy (powierzchniowej i punktowej) i infrastruktury technicznej również przedstawia silna zależność od wysokości rozwijając się prawie wyłącznie na najniższych położonych obszarach (Tab. 10). Podobnie w odniesieniu do nachylenia stoków, odnotowano duży udział użytków rolnych oraz zabudowy (powierzchniowej i punktowej) na terenach o mniejszym nachyleniu (do 10°), a dominującą powierzchnię leśną na bardziej stromych stokach (Tab. 11, Tab. 12, Tab. 13).

Tab. 11. Użytkowanie ziemi w latach 1977-2003, w gminie Szczawnica a nachylenia stoków.

nachylenie terenu		wody	lasy	zabudowa	u. rolne	nieużytki	pozostałe
<10°	1977	1.4%	31.6%	7.7%	51.6%	6.9%	0.8%
	2003	1.4%	34.6%	10.7%	43.9%	8.4%	1.0%
≥10°	1977	0.1%	70.0%	0.6%	24.8%	4.3%	0.2%
	2003	0.1%	73.6%	0.9%	20.1%	5.0%	0.2%

Tab. 12. Udział zabudowy w klasach wysokości bezwzględnej i nachyleń stoków w gminie Szczawnica.

	nachylenie terenu [°]		wysokość bezwzględna [m n.p.m.]			
	<10°	≥10°	408–623	623–838	838–1054	1054–1269
1977	65.7%	34.3%	90.9%	8.3%	0.6%	0.2%
2003	63.5%	36.5%	92.1%	7,6%	0.2%	0.1%

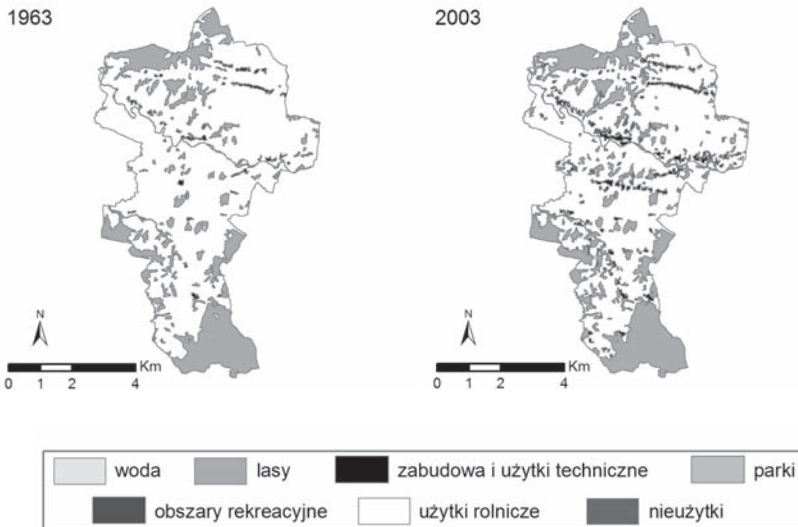
Tab. 13. Gęstość zabudowy [liczba budynków/km²] a wysokość bezwzględna i nachylenia stoków w gminie Szczawnica.

	nachylenie terenu [°]		wysokość bezwzględna [m n.p.m.]			
	<10°	≥10°	408–623	623–838	838–1054	1054–1269
1977	113.5	10.6	113.6	4.6	0.6	1.1
2003	165.9	17.0	173.9	6.3	0.3	1.1

5.3. Zmiany użytkowania ziemi w gminie Trzciana

W roku 1963, 76.8% powierzchni gminy Trzciana zajmowały użytki rolne, 21.4% lasy, 1.4% zabudowa, a pozostałe formy użytkowania ziemi (wody, parki, obiekty rekreacyjne oraz nieużytki) zajmowały łącznie zaledwie 0.4% powierzchni gminy. Natomiast w roku 2003, 70.5% powierzchni gminy stanowiły użytki rolne, 24.0% lasy, 4.0% zabudowa, a pozostałe formy użytkowania ziemi zajmowały łącznie 1.5% powierzchni gminy (Rys. 4, Tab. 14).

W latach 1963-2003 zmiany użytkowania ziemi objęły 7.0% powierzchni gminy, największa z nich, nastąpiła w klasie nieużytków. W roku 1963 zajmowały one zaledwie 1.5 ha powierzchni, a w roku 2003 już 53.4 ha, co oznacza prawie 35-krotny przyrost powierzchni. Blisko 180% wzrostem zajmowanej powierzchni odznacza się także klasa zabudowy i użytków technicznych. W roku 1963 zajmowała ona 62.8 ha, a w 2003 już 174.6 ha. Powierzchnia zajmowana przez wody zmniejszyła się o 3.6% w stosunku do pierwotnej powierzchni (zaledwie o 0.43 ha), zajmowana przez las wzrosła o 12.0% (113.42 ha), zajmowana przez parki wzrosła o 52.6% (0.87 ha), a zajmowana przez użytki rolne spadła o 8.2% (spadek o 277.63 ha – największa zmiana bezwzględna). Przyrost powierzchni lasu i nieużytków odbywał się wyłącznie kosztem redukcji użytków rolnych. Blisko 117 ha powierzchni zaklasyfikowanych w roku 1963 jako użytek rolny, w roku 2003 zostało zaklasyfikowanych jako las, a 51.9 ha użytków rolnych uległo konwersji do klasy nieużytki. Również zabudowa i infrastruktura techniczna zajmowała głównie tereny użytkowane rolniczo (123 ha; Tab. 15).



Rys. 4. Użytkowanie ziemi w gminie Trzciana, w latach 1963-2003.

Tab. 14. Zmiany użytkowania ziemi w gminie Trzciana, w latach 1963-2003.

rok 1963/2003		klasy użytkowania ziemi 2003						Razem
		woda	las	zabudowa	u. rolne	nieużytki	pozostałe	
klasy użytkowania ziemi – rok 1963	woda	0.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.3%
	las	0.0%	21.3%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	21.4%
	zabudowa	0.0%	0.0%	1.2%	0.3%	0.0%	0.0%	1.4%
	u. rolne	0.0%	2.7%	2.8%	70.2%	1.2%	0.0%	76.8%
	nieużytki	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	pozostałe	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Razem		0.3%	24.0%	4.0%	70.5%	1.2%	0.1%	100.0%

Tab. 15. Wskaźniki zmian użytkowania ziemi w gminie Trzciana, w latach 1963-2003.

klasy użytkowania ziemi	wskaźniki				
	U 1963 [%]	U 2003 [%]	KZ [%]	KZU [%]	PZ [ha]
wody	0.3	0.3	96.4	0.0	-0.43
lasy	21.4	24.0	112.0	2.6	113.42
zabudowa	1.4	4.0	278.1	2.5	111.42
użytki rolne	76.8	70.5	91.8	-6.3	-277.63
nieużytki	0.0	1.2	3587.7	1.2	51.92
pozostałe	0.0	0.1	152.6	0.0	0.87

W analizowanym przedziale czasowym zmianie uległo użytkowanie tylko w dwóch najniższej położonych klasach wysokości bezwzględnej (Tab. 16). Na obszarach położonych na wysokości do 360 m n.p.m. powierzchnia zajmowana przez las wzrosła o 87.7 ha (wzrost o 17.0% w stosunku do pierwotnej powierzchni zajmowanej przez las) a powierzchnia zajmowana przez użytki rolne spadła o 231 ha (7.8%). Na obszarach położonych na wysokości od 360 do 500 m n.p.m. powierzchnia lasu wzrosła o 25.7 ha (wzrost o 13.2%), a powierzchnia zajęta przez użytki rolne spadła o 44.7 ha (spadek o 10.2%). Zmiany powierzchni poszczególnych klas użytkowania ziemi nie wykazały natomiast zróżnicowania w zależności od nachylenia stoków (Tab. 16, Tab. 17).

W roku 1963 zdecydowana większość zabudowań znajdowała się na obszarach o wysokości do 360 m n.p.m. i w przedziale wysokości 360-500 m n.p.m. (Tab. 18). Większość budynków zlokalizowana była na terenach o nachyleniu nie przekraczającym

Tab. 16. Użytkowanie ziemi w latach 1963-2003 w gminie Trzciana a wysokość bezwzględna.

wysokość w m. n.p.m.		wody	las	zabudowa	u. rolne	nieużytki	pozostałe
408–623	1963	0.3%	14.5%	1.6%	83.5%	0.0%	0.0%
	2003	0.3%	17.0%	4.5%	76.9%	1.2%	0.1%
623–838	1963	0.0%	30.5%	0.8%	68.5%	0.2%	0.0%
	2003	0.0%	34.6%	2.6%	61.5%	1.3%	0.0%
838–1054	1963	0.0%	98.5%	0.0%	1.5%	0.0%	0.0%
	2003	0.0%	98.5%	0.4%	1.1%	0.0%	0.0%
1054–1269	1963	0.0%	98.4%	0.0%	1.6%	0.0%	0.0%
	2003	0.0%	98.4%	0.0%	1.6%	0.0%	0.0%

Tab. 17. Użytkowanie ziemi w latach 1963-2003 w gminie Trzciana a nachylenia stoków.

nachylenie terenu		wody	las	zabudowa	u. rolne	nieużytki	pozostałe
<10°	1963	0.3%	20.9%	1.4%	77.3%	0.0%	0.0%
	2003	0.3%	23.5%	4.0%	71.0%	1.2%	0.1%
≥10°	1963	0.3%	23.9%	1.3%	74.4%	0.0%	0.0%
	2003	0.3%	26.8%	3.5%	68.1%	1.3%	0.1%

Tab. 18. Udział zabudowy w klasach wysokości bezwzględnej i nachyleń stoków w gminie Trzciana.

	nachylenie terenu [°]		wysokość bezwzględna [m n.p.m.]			
	<10°	≥10°	408–623	623–838	838–1054	1054–1269
1963	85.4%	14.6%	86.6%	13.4%	0.0%	0.0%
2003	85.5%	14.5%	88.1%	11.8%	0.0%	0.1%

Tab. 19. Gęstość zabudowy [liczba budynków/km²] a wysokość bezwzględna i nachylenia stoków w gminie Trzciana.

	nachylenie terenu [°]		wysokość bezwzględna [m n.p.m.]			
	<10°	≥10°	408–623	623–838	838–1054	1054–1269
1963	34	33	36	31	0	0
2003	67	64	73	54	0	0

10°. W badanym przedziale czasowym największy przyrost liczby budynków miał miejsce na obszarach o wysokości do 360 m n.p.m. Nowe budynki powstawały także na obszarach o stosunkowo niskim nachyleniu (Tab. 18, Tab. 19).

6. DYSKUSJA I WNIOSKI

Wykorzystanie zdjęć lotniczych w analizie użytkowania pozwoliło na wyróżnienie głównych kierunków jego zmian na poziomie lokalnym, w gminach. Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że na obszarze badanych gmin (Trzciana, Niedźwiedź i Szczawnica), niezależnie od ich typu (wiejskiego lub wiejsko-miejskiego), warunków naturalnych oraz społeczno-ekonomicznych, nastąpił wzrost powierzchni trzech klas użytkowania ziemi: powierzchni lasów, nieużytków z obszarami porzuconymi oraz obszarów zabudowanych i użytków technicznych natomiast spadek powierzchni użytków rolnych (Rys. 5).

Zaniechanie użytkowania rolniczego na części obszarów badanych gmin wpłynęło na wzrost powierzchni nieużytków, a w dalszych etapach wzrost powierzchni leśnej, związany m.in. z naturalną sukcesją lub planowanymi zalesieniami nieużytków (Kozak, 2005). Tendencja ta pokrywa się z ogólnym trendem obserwowanym w ostatnich dekadach, w Polsce i w Karpatach (Kozak, 2003; Kozak *et al.*, 2004; Bański, 2005; Woś, 2005; Kuemmerle *et al.*, 2008; Ostafin, 2009; Kaim, 2009; Kozak, 2010).

Wykazano, że lasy rozwijają się głównie w wyniku sukcesji wtórnej zajmując były obszary połąkowe i popastwiskowe (wcześniej należące do klasy użytki rolne), które



Rys. 5. Główne kierunki zmian użytkowania ziemi w analizowanych gminach, w latach 19(63)77-2003.

w wyniku zaprzestania użytkowania przeszły do klasy nieużytków. Przy czym najczęściej jako pierwsza na tereny porzucone wkracza roślinność darniowa, a dopiero następnie leśna (Kopacz, Twardy 2006). Wyraźny spadek areалу użytków rolnych należy wiązać ze zmianami zachodzącymi w lokalnych społecznościach, a zwłaszcza z odchodzeniem od rolnictwa i zmianą typu produkcji na ekstensywny (Kopacz, Twardy, 2006). Widoczne jest to zwłaszcza w ośrodkach posiadających możliwości rozwoju innych gałęzi gospodarki, jak np. turystyka w gminie Szczawnica (zaobserwowany wzrost powierzchni obszarów rekreacyjnych). Na przestrzenne zróżnicowanie użytkowania ziemi w badanych gminach silnie wpływa rzeźba terenu (wysokości bezwzględne i nachylenia stoków). W każdym z analizowanych przypadków udział powierzchni leśnej wzrastał wraz ze wzrostem wartości wysokości bezwzględnych oraz nachyleń stoków, co jest charakterystyczne dla większości obszarów górskich w Europie (MacDonald *et al.*, 2000; Twardy, 2008).

7. LITERATURA

Bański J., 2005. Przestrzenny wymiar współczesnych procesów na wsi. *Studia Obszarów Wiejskich* 9.

Główny Urząd Statystyczny, 2008a. Ludność. *Stan i struktura w przekroju terytorialnym*. Stan w dniu 31 VI 2008r., ISSN 1734-6118, Warszawa.

Główny Urząd Statystyczny, 2008b. *Podział terytorialny*. Stan w dniu 31 VI 2008r., ISSN 1734-6118, Warszawa.

Kaim D., 2009. Zmiany pokrycia terenu na pograniczu polsko-słowackim na przykładzie Małych Pienin. *Przegląd Geograficzny*, Vol. 81, z. 1, s. 93-105.

Kondracki J., 1998. *Geografia regionalna Polski*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 441 ss.

Kopacz M., Twardy S., 2006. Zmiany użytkowania ziemi w zlewni górnego Dunajca w aspekcie wybranych parametrów wód powierzchniowych. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, t. 6 z.2, s.191-202.

Kozak J., 2003. Forest cover changes in the Western Carpathians over the past 180 years: a case study from the Orawa region in Poland. *Mountain Research and Development*, Vol. 23, s. 369-375.

Kozak J., 2005. *Zmiany powierzchni lasów w Karpatach Polskich na tle innych gór świata*. Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków, 135 ss.

Kozak J., 2010. Forest cover changes and their drivers in the Polish Carpathian Mountains since 1800. [w:] Nagendra H, Southworth J (red.), *Reforesting Landscape: Linking pattern and process*. Springer Dordrecht Heidelberg London New York, s. 253-274.

Kozak J., Ostapowicz K., Szablowska-Midor A., Widacki W., 2004. Environmental background of land abandonment in the western Beskidy Mts. *Ekologia Bratislava*, Vol. 23, (1), s. 116-126.

- Kuemmerle, T., Hostert, P., Radeloff, V.C., Perzanowski, K., and Kruhlov, I., 2008. Post-socialist farmland abandonment in the Carpathians. *Ecosystems*, Vol. 11, s. 614-628.
- MacDonald D., Crabtree J., Wiesinger G., Dax T., Stamou N., Fleury P., Lazpita J.G., Gibon A., 2000. Agricultural abandonment in mountain areas of Europe: Environmental consequences and policy response. *Journal of Environmental Management*, Vol. 59, s.47-69.
- Ostafin K., 2009. *Zmiany granicy rolno-leśnej w środkowej części Beskidu Średniego od połowy XIX wieku do 2005 roku*. Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków, 180 ss.
- Szwagrzyk J., 2004. Sukcesja leśna na gruntach porolnych; stan obecny, prognozy i wątpliwości. *Sylwan*, Vol. 4, s. 53-59.
- Turner II B. L., Lambin E. F., Reenberg A., 2007. The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. *PNAS*, Vol. 104, s. 20666-20671.
- Twardy S., 2008. Karpackie użytki rolne jako obszary o niekorzystnych warunkach gospodarowania. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, t. 8, z. 2b, s. 191-202.
- Verburg P. H., van de Steeg J., Veldkamp A., Willemsen L., 2009. From land cover to land function dynamics: A major challenge to improve land characterization. *Journal of Environmental Management*, Vol. 90, s. 1327-1335.
- Węclawowicz G., Bański J., Degórski M., Komornicki T., Korcelli P., Śleszyński P., 2006. Przestrzenne zagospodarowanie Polski na początku XXI wieku. *Polska Akademia Nauk, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania, Monografie 6*, Warszawa.
- Woś B., 2005. Zmiany pokrycia terenu w wybranych gminach Beskidów w drugiej połowie XX w. na podstawie analizy zdjęć lotniczych. *Teledetekcja środowiska*, Vol. 35, s. 1-114.

**LAND USE CHANGE IN THREE CARPATHIAN COMMUNITIES
(NIEDŹWIEDŹ, SZCZAWNICA AND TRZCIANA)
IN THE SECOND PART OF THE 20TH CENTURY**

KEY WORDS: land-use/land cover change, aerial photography, the Carpathians

SUMMARY: The aim of this paper is to analyse the main trends in land use change in the last thirty years of the 20th century in the Carpathians, based on the assessment of change in three communities: Niedźwiedź, Szczawnica and Trzciana. The research focused on two points in time; the 1970s and the year 2003. The sources of information about land use in the periods analysed period were aerial photographs (1970s) and orthophotomaps (2003). The results show an increase in forest cover, the abandonment of land and built-up areas, and a decrease in agricultural land. The most dynamic changes occurred in the areas below 600-700 m a.s.l. and on slopes below 10°.

Michał Dec
michal.dec@uj.edu.pl

Żaneta Kaszta
zaneta.kaszta@uj.edu.pl

Karolina Korzeniowska
k.korzeniowska@uj.edu.pl

Adam Podsada
adam.podsada@uj.edu.pl

Szymon Sobczyszyn-Żmudź
szymon.sobczyszyn-zmudz@uj.edu.pl

Anna Wójtowicz
anulka.wojtowicz@uj.edu.pl

Elżbieta Zimna
ela.zimna@uj.edu.pl

dr Katarzyna Ostapowicz
kostapowicz@gis.geo.uj.edu.pl
telefon: +48 12 6645300
fax: +48 12 6645385

* Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2008-2010 jako projekt badawczy N N306 050034.

OGÓLNODOSTĘPNE MAPY POWIATÓW JAKO ŚRODEK PRZEKAZU INFORMACJI O INFRASTRUKTURZE SPOŁECZNEJ*

GENERALLY AVAILABLE MAPS OF POLISH DISTRICTS AS A MEDIUM OF INFORMATION ON SOCIAL INFRASTRUCTURE

Jacek Górski

Instytut Geodezji, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

SŁOWA KLUCZOWE: mapa powiatu, mapa tematyczna, infrastruktura społeczna

STRESZCZENIE: Powiat stanowi wyraźnie wyodrębniony fragment przestrzeni geograficznej, który może być przedmiotem wielu prezentacji kartograficznych. Charakter rozważanych map można określić wymieniając ich dwie zasadnicze cechy: zasięg opracowania obejmuje pełny obszar powiatu, a w treści dominują zagadnienia turystyczne i dotyczące obiektów użyteczności publicznej. Aczkolwiek są to mapy opracowywane przede wszystkim z myślą o turystach, niektóre z nich zawierają rozszerzony zakres informacji. W artykule zwrócono szczególną uwagę na przedstawienie składników niezwiązanych ściśle z turystyką. Głównymi kategoriami tematycznymi są: oświata, kultura, ochrona zdrowia, bezpieczeństwo i prawo. Sygnatury a także dodatkowe informacje opisowe odnoszące się do analizowanych obiektów zostały omówione w odniesieniu do 15 przykładowych map, pochodzących z różnych wydawnictw.

1. POJĘCIE I ZAKRES INFRASTRUKTURY SPOŁECZNEJ

O ile zasadnicze określenie istoty i charakteru infrastruktury społecznej nie budzi kontrowersji, dyskusyjne okazuje się wytyczenie zakresu i szczegółowe wyliczenie należących do niej komponentów, tym bardziej, że jej skład zwiększa się w miarę postępu socjalno-ekonomicznego. Sama geneza pojęcia wiąże się z precyzowaniem rodzajów infrastruktury i jej specjalizacją funkcjonalną.

Infrastruktura społeczna obejmuje ogół instytucji i urzędzeń o przeznaczeniu powszechnym, zapewniających zaspokojenie potrzeb osobistych i gospodarstw domowych (Ciechocińska, 1985), istotny jest przy tym brak bezpośredniego związku z produkcją materialną, a jednocześnie wyraźna więź z człowiekiem: przyczynianie się do wzbogacenia jego osobowości i wiedzy oraz dobroczynnie oddziaływanie na kondycję (Kubów, 1996).

Zakres przedmiotowy przyjmowany w pierwszej kolejności, analizowany na przykład przez Danutę Kołodziejczyk (1999), uwzględnia oświatę, naukę, kulturę, służbę zdrowia i opiekę społeczną. Podobne kategorie podaje również Adam Kubów (1996): oświata i wychowanie, kultura i sztuka, ochrona zdrowia i opieka społeczna oraz kultura fizyczna, turystyka i wypoczynek; ponadto autor wzmiankuje usługi z dziedziny prawa. Znacznie obszerniejsze ujęcie (z odwołaniem do kształtu gospodarki narodowej sprzed przemian roku 1989) wskazuje Maria Ciechocińska (1985), wymieniając mieszkalnictwo (na przykład A. Kubów odrzuca ten dział z powodu zamkniętego kręgu użytkowników danego obiektu), szkolnictwo i wychowanie, ochronę zdrowia i opiekę społeczną, infrastrukturę czasu wolnego, a w jej ramach placówki kulturalne, rekreacyjne, turystyczne i sportowe oraz placówki handlowe i usługowe. W związku z tym uzasadnione wydaje się przyjęcie za Maciejem Cesarskim (2004) węższego i szerszego rozumienia infrastruktury społecznej: poczynając od bazy świadczenia głównych usług ogólnego użytku (oświata, opieka zdrowotna i społeczna, kultura i sztuka, rekreacja i sport), poprzez handel, transport osobowy oraz gospodarkę komunalną (elementy zaliczane w zasadzie do infrastruktury ekonomicznej ze względu na techniczny charakter urządzeń), po wszelkie dziedziny socjalne, obejmujące również zagadnienia mieszkaniowe, bezpieczeństwo oraz porządek publiczny itd. Ten sam autor oprócz klasyfikacji funkcjonalnej wymienia podział o naturze podmiotowej: niektóre rodzaje infrastruktury są domeną państwa i samorządu, inne – prywatne, działają według praw wolnego rynku.

Obecnie rozwój infrastruktury społecznej jest akcentowany wśród celów Narodowej Strategii Spójności 2007-2013, a inwestycje z tego zakresu finansowane z funduszy europejskich mieszczą się w ramach programów operacyjnych *Infrastruktura i Środowisko* oraz *Innowacyjna Gospodarka*.

Przekaz informacji o infrastrukturze społecznej za pomocą map wiąże się głównie z publikacjami przeznaczonymi do powszechnego użytku, spełniającymi funkcję środka informacji miejscowej. Dobrym przykładem mogą być mapy powiatów; ich opracowanie często odbywa się z pewnym zaangażowaniem starostwa (inicjatywa wydania, dostarczenie materiałów), a właśnie w gestii samorządu powiatowego na podstawie ustawy z 5 czerwca 1998 roku pozostaje realizacja zadań publicznych o charakterze ponadgminnym, w tym związanych z ponadpodstawową infrastrukturą społeczną (Witkowski, 2005), do której zalicza się przede wszystkim edukację publiczną na poziomie przekraczającym obowiązek szkolny, ponadstandardową opiekę zdrowotną (szpitale) i pomoc społeczną (domy opieki). Wskutek przemian następujących od roku 1989 „samorząd terytorialny stał się głównym właścicielem infrastruktury społecznej”, a powiaty jej „lokalnymi centrami” (Cesarski, 2004), toteż informacje z tej dziedziny nie powinny być zaniedbywane przy kształtowaniu kartograficznej prezentacji powiatu.

Celem pracy jest przedstawienie wyników badań map powiatów pod względem obecności w ich treści danych o obiektach infrastruktury społecznej, prowadzące do potwierdzenia tezy o użyteczności tych map jako środka informacji o infrastrukturze. Analiza obejmuje ustalenie rodzajów obiektów oraz częstości ich występowania i formy prezentacji na mapach, a także określenie udziału infrastruktury społecznej w odniesieniu do innych działów treści mapy.

Obiekty składające się na infrastrukturę społeczną zajmują ściśle określone miejsce w przestrzeni geograficznej (Ciechocińska, 1985); jeden z kierunków badań w dziedzinie

nauk społecznych obejmuje analizę usytuowania i dostępności tych obiektów, konfrontację z rozmieszczeniem użytkowników, a więc z siecią jednostek osadnictwa, i poszukiwanie prawidłowości w tym zakresie. Wynika stąd drugi związek z kartografią (nie rozpatrywany szerzej w niniejszej pracy) i jej stroną poznawczą – kartograficzną metodą badań: mapy stanowią podstawę pracy naukowej i formę przedstawiania jej efektów; często spotyka się na przykład wykorzystanie metody kartogramu przy prezentacji różnorodnych wskaźników odniesionych do jednostek podziału administracyjnego (np. Kłodziejczyk, 1999).

2. MATERIAŁY I METODY

Podstawę badań stanowi zestaw 15 map, dobranych z myślą o jak najpełniejszym oddaniu różnorodności tych publikacji; przedstawiają one powiaty z różnych części kraju, ukazały się w latach 1999-2009, a reprezentują dorobek następujących wydawców: BiK (Piła), Compass (Kraków), Eko-Kapio (Gdańsk), Ilustrator (Kraków), LoboSoft (Kraków), Pietruska & Mierkiewicz (Poznań), Plan (Wrocław), Pod Aniołem (Kraków), Północ (Złocieńiec), Promo (Kraków), Region (Gdynia), Regraf (Warszawa), Rokart (Koszalin), Sygnatura (Zielona Góra), Witański (Katowice).

W zakresie tematycznym rozważanych map, jak zaznaczono w następnym rozdziale, jest wyraźnie akcentowany jeden składnik zaliczany do infrastruktury społecznej: turystyka i wypoczynek. Można uznać, że treść mapy standardowo obejmuje hotele, schroniska młodzieżowe, gospodarstwa agroturystyczne, ośrodki sportu, pływalnie itd. Uwzględnienie informacji o pozostałych obiektach staje się zatem kluczowe przy szacowaniu poziomu rozbudowy merytorycznej konkretnych opracowań. W celu przeprowadzenia analizy treści wybranych map przyjęto podstawowe działy infrastruktury społecznej (a w ich ramach zestawy obiektów), kierując się głównie podejściem, które przedstawił A. Kubów (1996), ale z pominięciem urządzeń obsługujących przede wszystkim ruch turystyczny oraz służących bezpośrednio rekreacji i sportowi. Dokonano przeglądu obiektów wymienionych w legendzie oraz objaśnionych bezpośrednio na rysunku, biorąc pod uwagę zasadnicze przedstawienie kartograficzne oraz kartony. Uwzględniono również informacje z części opisowej, zawarte w charakterystyce powiatu, a zwłaszcza w zestawieniach adresowych.

3. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA MAP POWIATÓW

Wprowadzenie reformy administracji publicznej i ustroju samorządowego, powiązane ze zmianą podziału terytorialnego Polski od 1 stycznia 1999 r., sprawiło, że w ofercie wydawców map pojawiły się odpowiednie opracowania, zarówno prezentujące ogólnie cały kraj, jak i poświęcone poszczególnym jednostkom (Durajczyk-Starościak, 2000). Mapy powiatów należą do tej nowej grupy publikacji (Górski, 2006). O potrzebie obecności na rynku wydawniczym map przeznaczonych do powszechnego użytku

dobitnie świadczy fakt, że pojawienie się ich wyprzedziło moment formalnego powrotu powiatów na administracyjną mapę Polski. Można uznać, że rozwój współczesnych map powiatów trwa już ponad dziesięć lat.

Charakter omawianych map można sprecyzować dołączając do oczywistej zasady doboru zasięgu opracowania do rozciągłości geograficznej powiatu założenia merytoryczne wynikające z przeznaczenia publikacji. Biorąc pod uwagę szeroki krąg odbiorców – mapy są ogólnie dostępne, można je znaleźć nie tylko w księgarniach, ale i w kioskach z prasą – treść powinna odpowiadać różnorodnym oczekiwaniom, ale w praktyce zakłada się, że będą z nich korzystać zwłaszcza odwiedzający i przede wszystkim z myślą o ich potrzebach jest kształtowana treść całego opracowania. Na pierwszy plan są zwykle wysuwane zagadnienia związane z turystyką i rekreacją, aby mapa świadczyła o atutach powiatu oraz spełniła funkcję informacyjno-reklamową, wzbudzając zainteresowanie i zachęcając do odwiedzin. Profil turystyczny jest najczęściej sygnalizowany w tytule mapy.

Głównym składnikiem całej publikacji jest mapa obejmująca cały obszar powiatu, przeważnie z uwzględnieniem jego najbliższego sąsiedztwa – rysunek jest wykonywany do ramki, nie urywa się przy granicy administracyjnej. Najczęściej przyjmowane skale zawierają się w przedziale od 1:50 000 do 1:100 000. Treść podkładowa obejmuje elementy ogólnogeograficzne o szczegółowości dorównującej mapom topograficznym albo ukazane z uproszczeniami, wyraźnymi zwłaszcza w obrazie zabudowy jej rodzajów i konturów. W zakresie treści tematycznej należy wymienić obiekty obsługujące ruch turystyczny, stanowiące atrakcję i inne o charakterze użyteczności publicznej, analizowane poniżej (Rys. 1).

Podstawowe przedstawienie kartograficzne mogą uzupełniać kartony. Niewątpliwie najistotniejszym dodatkiem jest plan stolicy powiatu (zamieszczany również w przy-



Rys. 1. Fragment mapy „Powiat sławieński”, Wyd. Region (2002).

padku ustanowienia siedziby starostwa w mieście o statusie powiatu grodzkiego); plan taki w niektórych publikacjach jest składnikiem niemal tej samej rangi co główna mapa powiatu. Wyrazem dążenia do wzbogacenia prezentacji poszczególnych miejscowości jest wprowadzenie całego zestawu planów miast, a także wybranych wsi. Odrębnymi rodzajami kartonów są drobne opracowania tematyczne, na przykład eksponujące szlaki turystyczne lub ukazujące położenie powiatu na tle kraju.

Składnikom kartograficznym towarzyszy część opisowa. Typowym elementem jest charakterystyka powiatu (warunki naturalne, zarys dziejów, rozwój gospodarczy), często dopełniona omówieniami poszczególnych gmin. Walory użytkowe całego opracowania poprawiają się dzięki informatorowi odpowiadającemu tematycznie obiektom oznaczonym na mapie, a zawierającemu przede wszystkim zestawienia adresowe według gmin lub w układzie przedmiotowym. Spośród dodatków można wymienić też wykaz miejscowości, ilustracje (w tym zdjęcia i herby) oraz ogłoszenia reklamowe.

4. PREZENTACJA INFRASTRUKTURY SPOŁECZNEJ NA MAPIE POWIATU

Rodzaje obiektów występujące na analizowanych mapach, pogrupowane w ramach czterech działów infrastruktury społecznej są zestawione w Tab. 1. Zostało zachowane ich oryginalne ujęcie – zgodnie z legendą lub objaśnieniami znaków bezpośrednio na rysunku. Uwzględniono wszystkie instytucje, zarówno spotykane powszechnie, jak i specyficzne dla większych ośrodków (np. teatr) lub pewnych regionów (placówka GOPR).

Kompletna prezentacja obiektu na mapie składa się z elementów zawartych w części kartograficznej (zasadniczy rysunek oraz kartony) i opisowej. W praktyce można przyjąć pięć wariantów zamieszczenia informacji o instytucjach i urządzeniach publicznych; stosownie do tego w dalszych kolumnach Tab. 1 jest podana liczba map z obiektami:

- oznaczonymi na głównej mapie;
- oznaczonymi na głównej mapie i wymienionymi w informatorze adresowym;
- oznaczonymi wyłącznie na kartonie prezentującym miasto (miejscowość);
- oznaczonymi na kartonie prezentującym miasto i wymienionymi w informatorze;
- wymienionymi wyłącznie w informatorze adresowym.

Ostatnia kolumna zawiera podsumowanie, czyli ogólną liczbę opracowań na których w jakiegokolwiek formie są uwzględnione informacje o obiektach danego rodzaju.

Częstością występowania na mapach wyróżniają się komisariaty bądź posterunki policji (z najmniej licznej grupy dotyczącej bezpieczeństwa i prawa). Stałym składnikiem treści można też nazwać muzea, istotne jako atrakcja turystyczna. Rzadziej pojawiają się kina oraz ośrodki kultury; są to obiekty spotykane najczęściej na szczegółowych kartonach miast. Najbardziej rozbudowaną grupę tworzą obiekty ochrony zdrowia, spośród których są uwzględniane przede wszystkim szpitale, dodatkowo apteki. Skromniej jest prezentowany dział dotyczący szkolnictwa; rodzaje szkół zostały ukazane na kartonie tylko jednej mapy.

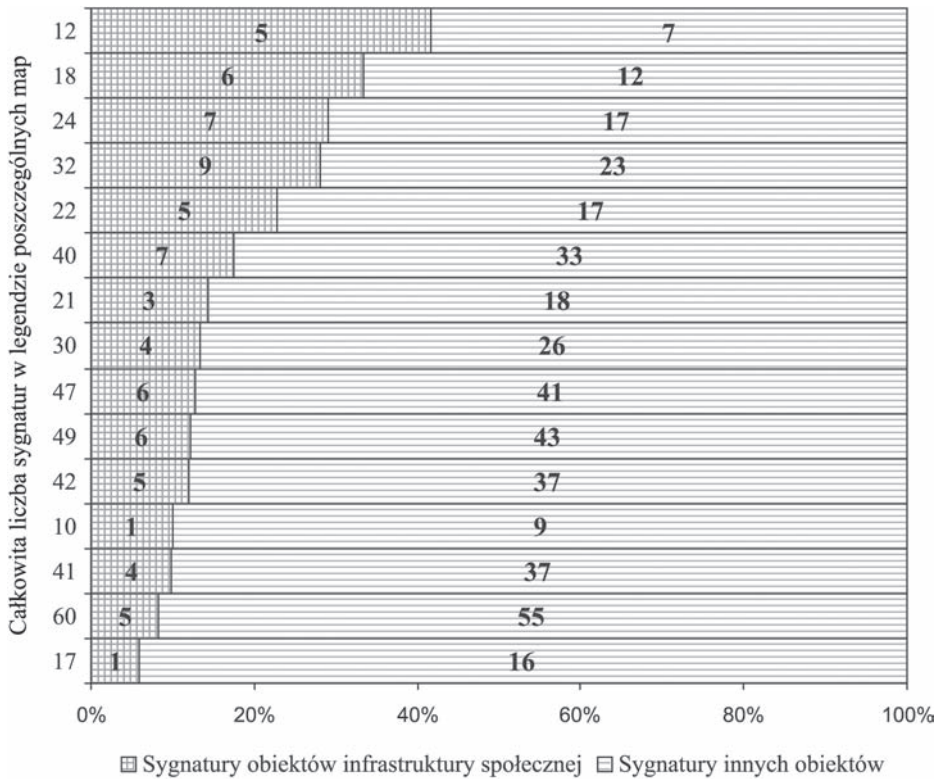
W części opisowej obiekty infrastruktury społecznej nie są szczególnie akcentowane (standardowo jest podawany adres i telefon); rzadko można znaleźć na przykład wzmiankę o muzeum wplecioną w ogólną charakterystykę gminy, a wyjątkiem jest mapa z obszerną prezentacją powiatowego centrum pomocy rodzinie. Również tylko jedno opracowanie zawiera w informatorze adresowym wyodrębnione zestawienie pod tytułem „Jednostki organizacyjne powiatu”.

Kartograficzna prezentacja obiektów infrastruktury społecznej przyjmuje dwie postacie: mogą być zastosowane sygnatury punktowe (zwykle symboliczne lub obrazkowe, ujęte w legendzie) lub wyróżnienie i opis na tle zabudowy (spotykane zwłaszcza na kartonach miejscowości – ośrodków koncentracji usług). Przedstawione niżej porównanie dotyczy metody sygnaturowej.

Przykładowe mapy wyraźnie różnią się pod względem liczebności zbioru sygnatur punktowych – legenda obejmuje od 10 do 60 pozycji, a wśród nich znajduje się 1÷9 oznaczeń dotyczących infrastruktury. Na Rys. 2 jest uwidoczniiony udział sygnatur przypisanych obiektom należącym do czterech analizowanych działów infrastruktury w ogólnej liczbie sygnatur; minimalnie wynosi on 6%, maksymalnie sięga 42%. Zmienna jest więc

Tab. 1. Obiekty infrastruktury społecznej i ich prezentacja na analizowanych mapach.

Dział treści	Rodzaj obiektu	Mapa	Mapa + Inf.	Kart.	Kart. + Inf.	Inf.	Razem
szkolnictwo i wychowanie	szkoła (ogólnie)	3	0	2	0	2	7
	szkoła podstawowa	0	0	1	0	0	1
	gimnazjum	0	0	1	0	0	1
	liceum/szkoła ponadgimnazjalna	0	0	1	0	1	2
	przedszkole	0	0	2	0	0	2
kultura i sztuka	muzeum	6	6	0	0	0	12
	muzeum lub galeria/wystawa	1	1	0	0	1	3
	izba regionalna	1	0	0	0	0	1
	teatr	1	0	0	0	0	1
	kino	3	0	3	1	1	8
	biblioteka	0	0	1	1	3	5
	ośrodek/centrum/dom kultury	0	1	2	2	2	7
ochrona zdrowia i opieka społeczna	szkoła (ogólnie)	1	2	0	0	0	3
	szpital lub pogotowie	0	1	0	0	1	2
	szpital	4	4	1	1	0	10
	pogotowie ratunkowe	1	2	0	0	2	5
	sanatorium	2	1	0	0	0	3
	GOPR	1	1	0	0	1	3
	przychodnia/ośrodek zdrowia	3	2	1	0	0	6
	przychodnia specjalistyczna	0	1	0	0	0	1
	apteka	2	4	2	0	0	8
	dom/ośrodek pomocy społecznej	0	1	1	0	1	3
centrum pomocy rodzinie	0	1	0	0	4	5	
bezpiecz. i prawo	policeja	3	9	0	1	0	13
	sąd	0	0	2	0	1	3



Rys. 2. Sygnatury dotyczące infrastruktury społecznej w stosunku do pozostałych znaków.

nie tylko liczba bezwzględna, ale także proporcja: nie można dostrzec prawidłowości między wzrostem całkowitej liczby znaków a rozszerzaniem się badanej grupy. Przegląd treści przykładowych map pozwala zatem stwierdzić, że zakres i sposób przedstawienia informacji o infrastrukturze społecznej jest indywidualną cechą każdego opracowania.

5. KONKLUZJA

Mapy powiatów stanowią stosunkowo niedawno powstałą grupę wydawnictw kartograficznych, ale liczba publikacji szybko wzrasta: można mówić o kształtowaniu się swoistych cech tych opracowań oraz podejmować próby metodycznego opisu tworzących się profili tematycznych.

W pracy została podana propozycja interpretacji składników infrastruktury społecznej z perspektywy doboru treści map powiatów, która posłużyła następnie do analizy występowania obiektów na mapach w ramach ustalonych działów tematycznych.

W analizowanych opracowaniach zidentyfikowano 25 rodzajów obiektów, które zostały przyporządkowane do czterech działów. Dziedziną najobszerniej prezentowaną okazała się ochrona zdrowia i opieka społeczna. Wyróżniono pięć wariantów prezentacji obiektu, rozpatrując główny rysunek mapy, kartony i informator adresowy. Biorąc pod uwagę ogólną częstość występowania, wyraźnie dominującą pozycję zajmują trzy obiekty: posterunki policji, muzea i szpitale. Ocena zestawu sygnatur punktowych pod kątem reprezentacji składników infrastruktury społecznej prowadzi do stwierdzenia, że zarówno liczba znaków, jak i udział procentowy mieszczą się w szerokich przedziałach: infrastrukturze poświęcono od 1 do 9 sygnatur (średnio 5), a w stosunku do ogółu znaków – od 6% do 42% (średnio 18%). Chociaż infrastruktura społeczna nie jest dominującym działem treści badanych map, jej obecność wyraźnie się zaznacza; mapy powiatów spełniają zatem rolę środka przekazu informacji o infrastrukturze, można też założyć, że dalsze rozszerzanie prezentacji infrastruktury wyznaczy jeden z kierunków rozwoju tych map.

Rozważane mapy są przeznaczone do powszechnego użytku, a zatem grono ich użytkowników jest szerokie i zróżnicowane. Koncepcja mapy powiatu nie powinna sprowadzać się do klasycznej mapy turystycznej wyróżniającej się jedynie sposobem wydzielenia obszaru opracowania. W obrębie powiatu istnieją struktury instytucji publicznych, których prezentacja dopełnia treść mapy, podwyższa użyteczność oraz uściśla jej specyfikę jako rodzaju publikacji kartograficznej. Rozwinięta treść mapy powiatu prezentuje w pełnym zakresie elementy infrastruktury społecznej obejmując obiekty związane z oświatą, kulturą i sztuką, ochroną zdrowia i opieką społeczną, administracją, prawem i bezpieczeństwem. Dzięki temu mapa może odgrywać rolę źródła przekrojowych informacji o powiecie, a dodatkowym uzasadnieniem takiej rozbudowy merytorycznej jest podleganie wielu instytucji samorządowi powiatowemu.

6. LITERATURA

- Cesarski M., 2004. Infrastruktura społeczna w Polsce po 1989 r. *Zasób i jego zmiany. Polityka społeczna*, r. XXXI, nr 7, s. 7-11.
- Ciechocińska M., 1985. Metody geograficzne w badaniach nad infrastrukturą społeczną. *Człowiek i Środowisko*, t. 9, nr 3, s. 277-293.
- Durajczyk-Starościak E., 2000. Mapy nowego podziału administracyjnego Polski. *Polski Przegląd Kartograficzny*, t. 32, nr 4, s. 316-318.
- Górski J., 2006. Maps of Districts as a New Kind of Cartographic Publication in Poland. *Reports on Geodesy*, nr 2 (77), s. 153-160.
- Kołodziejczyk D., 1999. Infrastruktura społeczna a rozwój społeczno-gospodarczy. *Studia i monografie*, nr 95, Instytut Ekonomiki Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej, Warszawa.
- Kubów A., 1996. *Infrastruktura społeczna w okresie transformacji. Wybrane dziedziny*. Wyd. Akademii Ekonomicznej im. O. Langego we Wrocławiu.
- Witkowski K., 2005. Zarządzanie zasobami infrastruktury gminy i powiatu. *Studia Lubuskie*, nr 1, s. 121-131.

**GENERALLY AVAILABLE MAPS OF POLISH DISTRICTS AS A MEDIUM
OF INFORMATION ON SOCIAL INFRASTRUCTURE**

KEY WORDS: map of district, thematic map, public service

SUMMARY: The administrative district (powiat) is a clearly distinguished fragment of geographical space, which may be regarded as the subject of various cartographic representations. It is possible to define the character of the maps being considered by the specification of two essential features: the geographical extent comprises the full area of a district and, secondly, the contents are focused on tourism and other public utilities. Although the maps are primarily designed for tourists, some of these give a wider range of information. The representation of facilities that are not purely oriented at tourists is the subject of particular discussion in the current paper. Education, culture, healthcare, security and law are the main thematic categories. Map symbols as well as additional descriptions representing such features are reviewed on the basis of 15 sample maps produced by different Polish publishing houses.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2009-2010 jako projekt badawczy.

dr inż. Jacek Górski
jastagor@moskit.uwm.edu.pl
telefon: +48 89 5234433

* wersja kolorowa artykułu jest dostępna na stronie <http://www.sgp.geodezja.org.pl/pfit>

**WIELOKRYTERIALNA ANALIZA LOKALIZACJI ZABUDOWY
NA PRZYKŁADZIE GMINY PODEGRODZIE***

**MULTI-FACTORAL EVALUATION OF RESIDENTIAL AREA LOCATIONS:
CASE STUDY OF PODEGRODZIE LOCAL AUTHORITY**

Beata Hejmanowska, Ewelina Hnat

Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska
Zakład Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej, Akademia Górniczo-Hutnicza

SŁOWA KLUCZOWE: GIS, analiza wielokryterialna, planowanie przestrzenne

STRESZCZENIE: Jedną z dziedzin nauki, w której GIS ma szerokie pole zastosowania jest planowanie przestrzenne. Obecnie w Polsce technologia GIS wykorzystywana jest w procesie tworzenia dokumentacji planistycznej głównie jako narzędzie do gromadzenia i prezentacji wejściowych danych przestrzennych oraz wyników ich przetworzeń. Podstawowym celem artykułu jest prezentacja innych możliwości zastosowania technologii GIS - jako narzędzia do wspomagania procesu podejmowania decyzji planistycznych. Szczególną uwagę zwrócono na lokalizację zabudowy. Ponadto sprawdzono możliwość zastosowania analiz przestrzennych m.in. w celu automatyzacji pewnych etapów prac planistycznych. Skupiono się na wykorzystaniu analizy wielokryterialnej. Spośród trzech rodzajów tej analizy przetestowano metodę nakładkowania (ang. *Boolean*) będącą metodą twardą oraz metodę liniowego wagowania (ang. *WLC Weighted Linear Combination*) należącą do metod miękkich. Wybór kryteriów do analiz został przeprowadzony w oparciu o zebraną dokumentację w postaci przepisów prawnych oraz konsultacje z planistami. Istotne dla wyniku pracy było bowiem to, aby kryteria pokrywały się z czynnikami branżowymi pod uwagę w trakcie tworzenia studium. Dane wykorzystane w pracy zostały udostępnione przez Instytut Rozwoju Miast w Krakowie. Poszczególne warianty obu metod analizy wielokryterialnej pokazały, że analiza WLC jest bardziej odpowiednia do ustalania tendencji występującej w lokalizacji terenów zabudowanych, natomiast do wspomagania procesu tworzenia studium korzystniej zastosować metodę Boolean. Ponadto badania metody twardej pokazały różnorodność zastosowania analiz przestrzennych w planowaniu, jak też możliwość zautomatyzowania niektórych etapów tworzenia studium. Prace finansowane w ramach badań statutowych AGH 11.11.150.949.

1. WPROWADZENIE

Odpowiednie zlokalizowanie zabudowy mieszkaniowej jest niezwykle istotną kwestią. Ważne jest, aby znaleźć takie miejsce, na którym bez obaw będzie można umieścić budynek mieszkalny. Na podjęcie decyzji o lokalizacji zabudowy składa się bardzo wiele czynników. Zebranie pełnej dokumentacji charakteryzującej dany teren jest pracochłonne i czasochłonne. Sedno sprawy tkwi jednak w dalszym etapie polegającym na przeanalizowaniu wszystkich czynników warunkujących możliwość zabudowy i podjęciu decyzji o wyborze odpowiednich terenów. O interdyscyplinarnym charakterze takiej pracy świadczy różnorodność kryteriów (kryteria związane z dotychczasowym zagospodarowaniem terenu, planowane przedsięwzięcia, czynniki związane ze środowiskiem przyrodniczym czy też kulturowym). Dziedzina nauki zajmującą się powyżej przedstawioną problematyką jest planowanie przestrzenne.

Obecnie technologia GIS wykorzystywana jest w procesie tworzenia dokumentacji planistycznej głównie jako narzędzie do gromadzenia i prezentacji danych przestrzennych, jak również uzyskanych wyników.

Niniejszy artykuł przedstawia próbę zastosowania technologii GIS jako narzędzia do wspomagania procesu podejmowania decyzji planistycznych. Sprawdzono możliwość zastosowania analiz przestrzennych m.in. w celu automatyzacji pewnych etapów prac planistycznych. Artykuł powstał na podstawie pracy magisterskiej pt. „Wielokryterialna analiza GIS lokalizacji zabudowy na przykładzie gminy Podegrodzie” (Hnat, 2009).

W pracy skupiono się na analizach wielokryterialnych. Zbadano możliwość wykorzystania metody nakładkowania (ang. *Boolean*) - metodę tę przetestowano w czterech wariantach oraz metody liniowego wagowania (ang. *WLC - Weighted Linear Combination*) – zbadano dwa jej przypadki.

2. MATERIAŁY

Dane do badań zostały udostępnione przez Instytut Rozwoju Miast (IRM) w Krakowie. Wykorzystano zarówno graficzne materiały jak i część opisową dokumentacji składającej się na opracowane przez IRM Studium Uwarunkowań i Kierunków Zagospodarowania Przestrzennego Gminy Podegrodzie [załącznik nr 1 (Tekst: Ustalenia Studium) do Uchwały nr 154/XXIV/2008 Rady Gminy Podegrodzie z dnia 17 lipca 2008 roku w sprawie uchwalenia studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego Gminy Podegrodzie]. Gmina Podegrodzie znajduje się w województwie małopolskim, w powiecie nowosądeckim (Rys. 1, Rys. 2).

Dodatkowo wykorzystano Numeryczny Model Terenu o rozdzielczości geometrycznej 30 m, pozyskany z Wojewódzkiego Ośrodka Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej w Krakowie.



Rys. 1. Podział województwa małopolskiego na powiaty

[http://www.kwietnybieg.pl/images/wp_woj_malopolskie.gif]



Rys. 2. Podział powiatu nowosądeckiego na gminy

[<http://www.osp.org.pl/hosting/mapy/malopolskie/novosadecki.jpg>]

3. ANALIZA WIELOKRYTERIALNA

Jednym z zastosowań narzędzi GIS jest wspomaganie procesu podjęcia decyzji. Analiza wielokryterialna (MCE, *Multi-Criteria Evaluation*) polega na wspomaganiu procesu decyzyjnego w przypadku dysponowania kilkoma lub kilkunastoma kryteriami. Jej celem jest osiągnięcie jednego wspólnego rezultatu. Metodyka przeprowadzania analizy MCE opisana poniżej pochodzi z podręcznika IDRISI (Eastman, 2001).

Przeprowadzenie analizy MCE polega, w pierwszej kolejności, na określeniu kryteriów prowadzących do osiągnięcia zaplanowanego celu. Zanim kryteria te zostaną połączone i podjęta będzie decyzja, które obszary spełniają ustalone warunki, musi zostać przeprowadzony proces normalizacji (proces przeskalowania wartości poszczególnych kryteriów do określonego zakresu).

Kryteria występujące w analizie MCE mogą mieć charakter twardej (bariery, ograniczenia, w języku angielskim stosuje się termin *constraint*) bądź miękkiej (parametry, czynniki, w języku angielskim używane też określenie *factor*). Korzystając z twardych kryteriów analizy uzyskuje się mapę przedstawiającą tereny spełniające oraz niespełniające postawione warunki. Stosując miękkie kryteria otrzymuje się stopień przydatności danych obszarów dla określonego w trakcie analizy celu (wynik nie jest tak jednoznaczny jak w przypadku kryteriów twardych).

Przydatność można obliczyć na podstawie wzoru:

$$(1) \quad S = \sum w_i * x_i \quad i \in \langle 1, n \rangle$$

gdzie:

- S – przydatność,
- w – waga kryterium,
- x – wartość parametru,
- i – kryterium,
- n – ilość kryteriów.

Gdy w analizie występują także kryteria typu „bariera” wówczas wzór wygląda następująco: gdzie dodatkowo występuje c_j – j-te ograniczenie, Π - iloczyn logiczny (koniunkcja)

$$(2) \quad S = \sum w_i * x_i \Pi c_j$$

Kryteria przyjmowane do analiz dotyczą konieczności spełnienia przez daną lokalizację określonych warunków. W metodzie twardej, nakładkowania definiuje się je jako bariery, na przykład dalej niż 250 m od wody, obszar o nachyleniu powierzchni terenu nie większym niż 2.5° . W tym przypadku mapa przydatności jest zero - jedynkowa, obszar jest przydatny (1) - nie przydatny (0). Wynikowa mapa przydatności jest prostym iloczynem jednostkowych map przydatności (tylko koniunkcja we wzorze 2). W ogólności kryteria mogą być definiowane w sposób miękki, np. im dalej od drogi oraz im teren bardziej płaski tym lepiej. Bezpośrednie porównanie odległości od wody i kąta nachylenia powierzchni terenu w danym punkcie jest niemożliwe. Dlatego też istnieje konieczność pewnej standaryzacji tak zdefiniowanych kryteriów, która może odbywać się według wzoru:

$$(3) \quad x_i = (R_i - R_{\min}) / (R_{\max} - R_{\min}) * d$$

gdzie:

- x_i - parametr odpowiadający danemu warunkowi po standaryzacji,
- R_i – wartość parametru przed standaryzacją,
- R_{\min}, R_{\max} – minimalna i maksymalna wartość parametru kryterium,
- d – przedział standaryzacji.

Standaryzację przeprowadza się do założonego zakresu, np. 0-255. Oznacza to, że maksymalna przydatność wynosi 255, a minimalna 0. Po standaryzacji każdy piksel analizy ma przyporządkowaną wartość przydatności w zakresie 256. Standaryzacja kryteriów może odbywać się nie tylko w sposób liniowy (wzór 3) ale również z wykorzystaniem innych nieliniowych funkcji. Więcej na temat różnych funkcji standaryzacyjnych można znaleźć np. w publikacji (Eastman, 2001).

Można wyróżnić 3 metody wielokryterialnej analizy MCE:

- 1) metoda nakładkowania (ang. *Boolean*) - metoda twarda,
- 2) metoda liniowego wagowania (ang. *WLC, Weighted Linear Combination*) – metoda miękka,

- 3) metoda uporządkowanej średniej ważonej (ang. OWA, *Ordered Weighted Average*) - metoda miękka.

Metoda nakładkowania

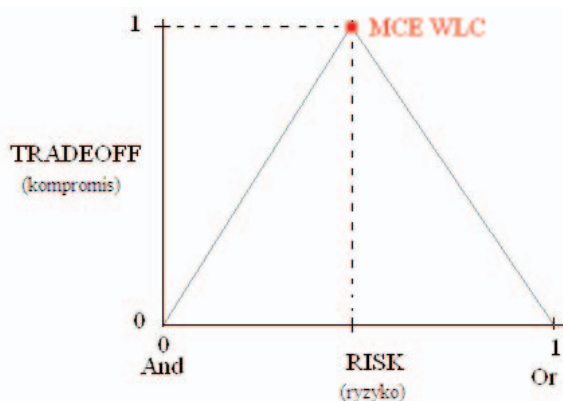
W przypadku metody Boolean nakładkowania standaryzacja oznacza redukcję wszystkich kryteriów do map binarych (przykładowo wartości 0 – tereny nieprzydatne, 1 – obszary przydatne), czyli przekształcenie parametrów do kryteriów twardych. Takie postępowanie umożliwia połączenie w łatwy sposób wszystkich kryteriów (przy użyciu algebry Boole’a). Najbardziej popularną metodą łączenia kryteriów jest operacja AND (iloczyn logiczny). Operacja ta wyznacza obszary, na których spełnione są jednocześnie wszystkie kryteria (każde z ograniczeń ma na tym obszarze wartość 1). Kryteria mogą być też łączone przy użyciu funkcji OR (suma logiczna) - wystarczy, że jedno kryterium zostanie spełnione i obszar taki uznany jest już za przydatny.

Metoda liniowego wagowania

W tym sposobie analizy miękkie kryteria, czyli parametry nie są przekształcane na bariery, należące do kryteriów twardych. W metodzie tej czynniki normalizuje się do ciągłej skali przydatności mieszczącej się w zakresie od 0 (najmniej przydatne) do 255 (najbardziej przydatne). To przeskalowanie pozwala, podobnie jak w metodzie nakładkowania, na połączenie i porównanie kryteriów ze sobą.

W metodzie WLC dla kryteriów będących parametrami używa się „nieostrej” koncepcji definiowania obszarów przydatnych i granic pomiędzy przydatnymi i nieprzydatnymi terenami. Natomiast ograniczenia, podobnie jak w poprzedniej metodzie, mają charakter kryteriów twardych.

Analiza WLC jest techniką znajdującą się dokładnie pomiędzy operacją AND oraz OR (Rys. 3). Powstały w jej konsekwencji wynik nie jest zatem ani ekstremalnie ryzykowny, ani pozbawiony ryzyka.



Rys. 3. Określenie ryzyka i kompromisu w metodzie WLC.

4. PRZEBIEG BADAŃ

W pracy podjęto próbę uwzględnienia czynników (uwarunkowań), branych pod uwagę przez planistę w trakcie opracowywania studium, w celu określenia terenu pod potencjalną zabudowę mieszkaniową. Ponadto analizy zostały wykorzystane do wsparcia procesu weryfikacji wniosków składanych przez zainteresowane osoby. Próbowano sprawdzić, czy automatyczne analizy wykonywane przy użyciu technologii GIS mają szansę wspomóc decyzje podejmowane w trakcie tworzenia studium (jak na razie są one podejmowane osobiście przez planistę).

Wykorzystanie GIS dla potrzeb planowania lokalizacji zabudowy polega każdorazowo na tworzeniu zestawu tzw. map przydatności.

Mapa przydatności jest to mapa przedstawiająca stopień przydatności terenu dla potrzeb wyboru nowej lokalizacji zabudowy przy uwzględnieniu określonego kryterium. Mapy przydatności mogą przedstawiać teren jako przydatny lub nieprzydatny (metoda twarda) albo mogą przedstawiać stopień przydatności terenu ze względu na dane kryterium (metoda miękka).

Dane wykorzystane w badaniach pozwoliły na definiowanie kryteriów a co za tym idzie także ich map przydatności. Kryteria zdefiniowano zgodnie z obowiązującymi przepisami prawnymi i praktyką planistyczną.

Niektóre klasy obiektów przyjmowano w analizach jako kryteria (metoda twarda jak i metoda miękka), a niektóre pozostawiono jako czynniki do weryfikacji.

Do klas obiektów wziętych do weryfikacji zaliczono:

- obiekty punktowe i liniowe (stanowiska archeologiczne, pomniki przyrody oraz ciągi widokowe), gdyż po przeprowadzeniu procesu rasteryzacji nie były widoczne na mapie,
- Południowomałopolski Obszar Chronionego Krajobrazu (czynnik ten eliminuje z analizy prawie połowę obszaru gminy, a nie jest to kryterium jednoznacznie zakazujące lokalizowania zabudowy),
- decyzje o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu oraz wnioski do studium lub planu składane przez zainteresowane osoby,
- zabudowę istniejącą i planowaną,
- nachylenie terenu (uzyskane z NMT).

Analizy zostały przeprowadzone według założonego schematu. Dane pozyskane z IRM zostały w pierwszej kolejności poddane wstępnej selekcji. Ważne było wyodrębnienie warstw zawierających kryteria lub mogących pomóc w stworzeniu map przydatności. Mapy te wykonano w oparciu o obowiązujące przepisy prawne oraz praktykę planistyczną, a następnie użyto w przeprowadzonych wariantach analizy wielokryterialnej. W pracy przebadano metodę nakładkowania oraz metodę WLC. Kryteria do weryfikacji pozyskano w podobny sposób jak mapy przydatności. W wynikach przeprowadzonych analiz uwzględniono czynniki do weryfikacji i w oparciu o taki rezultat wyciągnięto wnioski.

Celem pracy było przebadanie dwóch metod analizy wielokryterialnej: metody nakładkowania oraz metody WLC. Poniżej przedstawiono pełen zakres przeprowadzonych prac, a z uwagi na ograniczone możliwości niniejszej publikacji zaprezentowano jedynie

wybrane wyniki badań.

Metodę nakładkowania testowano w czterech wariantach:

- wariant 1 – analiza wstępna możliwości wykorzystania metody do wspomagania prac związanych z planowaniem przestrzennym,
- wariant 2 – sprawdzenie zgodności wyniku wyboru lokalizacji zabudowy z wykorzystaniem metody nakładkowania z zabudową już istniejącą oraz planowaną w studium,
- wariant 3 – badanie możliwości wykorzystania metody nakładkowania do weryfikacji poprawności wydawania decyzji o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu,
- wariant 4 – zastosowanie metody nakładkowania do wspomagania różnych decyzji planistycznych.

Drugą badaną w pracy metodą była analiza WLC dla potrzeb wyboru nowej lokalizacji zabudowy. Analizę przeprowadzono według następujących etapów:

- 1) podział kryteriów – dokonano podziału analizowanych kryteriów na czynniki i bariery,
- 2) standaryzacja czynników – większość czynników została zestandaryzowana przy użyciu funkcji do standaryzacji, natomiast pozostałym czynnikom przyporządkowano konkretny stopień przydatności,
- 3) wagowanie czynników,
- 4) analiza WLC (wzór 1 lub wzór 2),
- 5) określenie wartości progowej i stworzenie mapy terenów przydatnych – wartość progową wyznaczano analizując rozkład histogramu mapy przydatności terenów pod lokalizację zabudowy; konkretne wartości progów obierano w miejscach charakterystycznych „załamań” histogramu.

W metodzie tej przeprowadzono dwa warianty:

- wariant 1 – w przypadku tym czynniki zestandaryzowano przy użyciu jednej tylko funkcji – funkcji liniowej; ponadto wszystkie czynniki otrzymały wagę 1; jest to wariant nie uwzględniający wiedzy planistycznej,
- wariant 2 – w tej analizie czynniki zestandaryzowano przy użyciu różnych funkcji do standaryzacji: funkcji sigmoidalnej („s-shaped”), funkcji „j-shaped”, funkcji liniowej, a także funkcji definiowanej przez użytkownika (sposób jej definiowania zaczerpnięty z publikacji Eastman, 2001). Dla niektórych czynników przyporządkowano każdej kategorii stopień przydatności. Czynniki te są: czynnik modelujący obszary leśne (tereny zadrzewione oraz Południowomałopolski Obszar Chronionego Krajobrazu) oraz czynnik modelujący obszary sąsiadujące z wodną (strefa ochronna ujęcia wody (pośrednia), tereny zmeliorowane oraz zbiorniki retencyjne). W wariantcie tym wagi czynników dobrano po konsultacji z planistą, który jest autorem analizowanego Studium.

5. WYNIKI

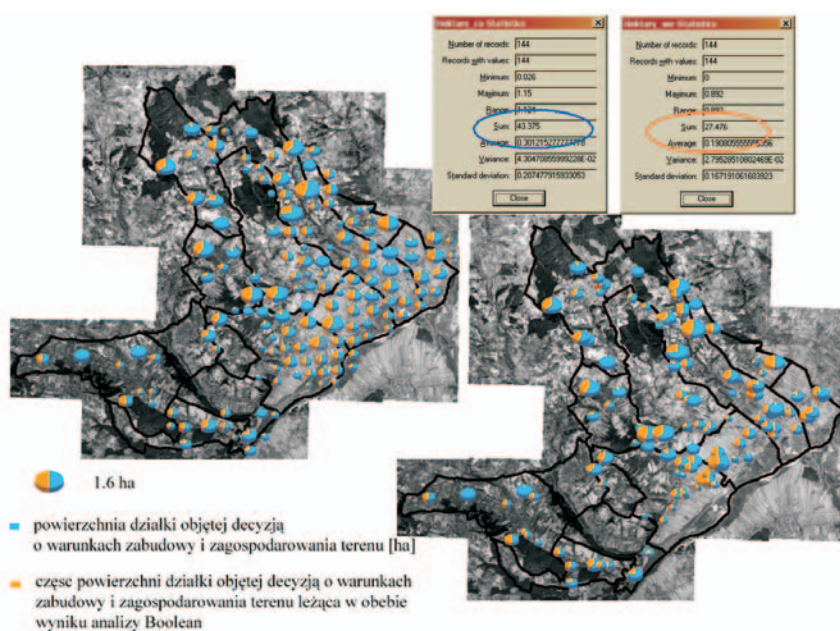
W ramach badań wykonano wiele wariantów analiz GIS z wykorzystaniem metody MCE. Poniżej zamieszczono tylko wybrane wyniki analiz.

5.1. Analiza nakładkowania

Poniżej szerzej zaprezentowano wariant 3 oraz wariant 4 analizy przeprowadzonej metodą nakładkowania.

Wariant 3 – weryfikacja poprawności wydawanych decyzji o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu.

Analizę tę przeprowadzono w oparciu o kryteria zgodne z przepisami prawnymi i praktyką planistyczną. Wynik analizy posłużył do sprawdzenia w jakim stopniu decyzje o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu spełniają te warunki. Rezultat został przedstawiony metodą kartodiagramów kołowych (Rys. 4). Każdy kartodiagram repre-



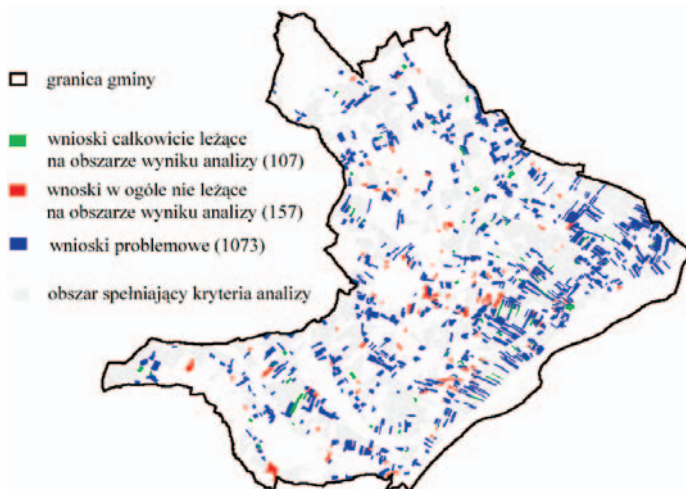
Rys. 4. Kartodiagramy kołowe przedstawiające decyzje na obszarze całej gminy. Po lewej stronie kartodiagramy równomiernie rozmieszczone na obszarze gminy z ewentualnymi odnośnikami do właściwej lokalizacji, po prawej stronie kartodiagramy umieszczone w miejscu faktycznej lokalizacji działki.

zentuje działkę, na którą wydano decyzję o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu. Wielkość kartodiagramu jest proporcjonalna do powierzchni działki. Kolor niebieski przedstawia wielkość całej działki, natomiast na pomarańczowo zaznaczona jest ta część powierzchni działki, która spełnia postawione w analizie GIS warunki lokalizacji zabudowy. Po przeprowadzeniu analizy zgodnie z tym wariantem okazało się, że około 63% powierzchni wszystkich działek z wydanymi dla nich decyzjami na obszarze gminy Podegrodzie spełnia warunki postawione w przeprowadzonej analizie nakładkowania.

Wariant 4 – próby zastosowania analizy wielokryterialnej do wspomaganie decyzji planistycznej w zakresie automatyzacji procesu rozpatrywania składanych wniosków o pozwolenie na zabudowę (Rys. 5, Rys. 6).

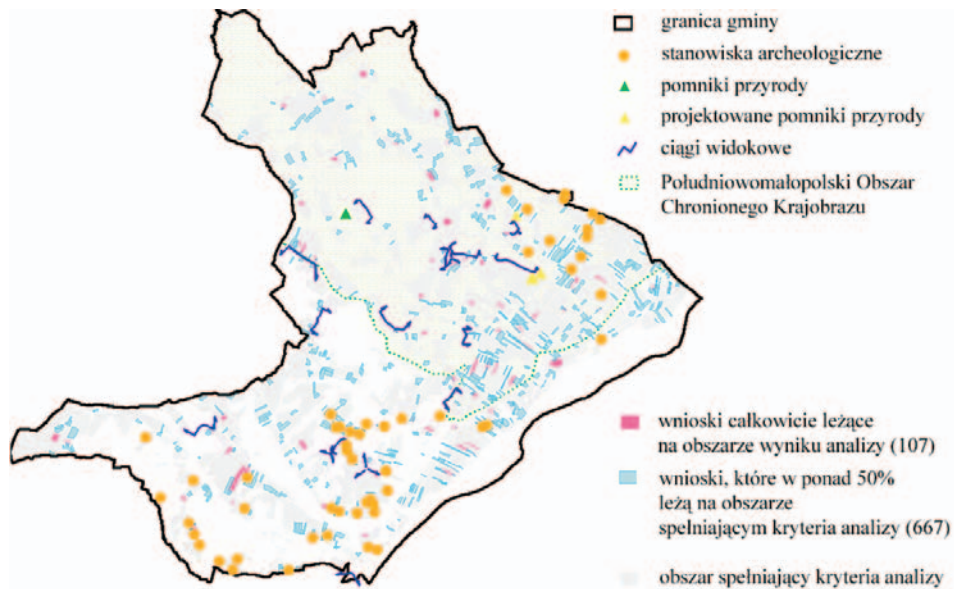
W przeprowadzonym wariantcie analizy dokonano próby ograniczenia ilości wniosków, które muszą zostać rozpatrzone przez planistę. W pierwszej kolejności wyodrębniono te wnioski, które w całości są zawarte w obszarze wyniku analizy, jak też wyeliminowano te, które w ogóle do niego nie należą. Pozostałe wnioski uznano za problemowe (Rys. 5). Założono, że jeżeli co najmniej 50% powierzchni wniosku zawiera się w obszarze wyniku analizy nakładkowania to taki wniosek może być jeszcze dodatkowo rozpatrzony przez planistę, natomiast pozostałe wnioski problemowe wyeliminowano. Wnioski do indywidualnego rozpatrzenia przez planistę, wyodrębnione spośród wszystkich, przedstawiono na Rys. 6. Ostatecznie planista zamiast analizować każdy wniosek po kolei (liczba tych wniosków wynosiła w momencie pozyskiwania danych z IRM – 1337)

Automatyczna weryfikacja wniosków – etap I (wstępny)



Rys. 5. Analiza wniosków i automatyczne wyłączenie części wniosków z weryfikacji przez planistę.

Automatyczna weryfikacja wniosków – etap II (końcowy)



Rys. 6. Wnioski, które w wyniku automatycznej eliminacji pozostały do dalszego rozpatrzenia przez planistę.

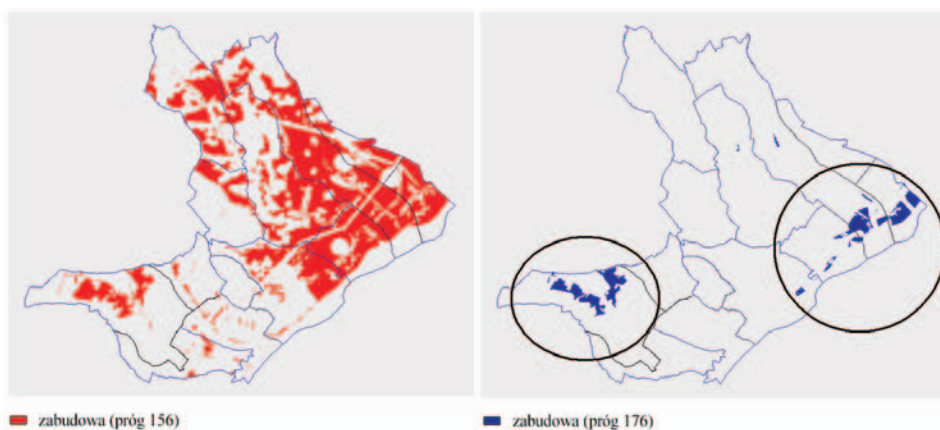
może zająć się tylko wnioskami całkowicie spełniającymi kryteria (107) oraz tymi, których powierzchnia w większości spełnia kryteria (667) i tylko te wnioski weryfikować w oparciu o pozostałe czynniki do weryfikacji. Zatem ponad 40% wszystkich wniosków nie musi już być rozpatrywanych przez planistę, gdyż zostały one automatycznie uznane jako niespełniające założonych warunków.

5.2. Analiza WLC dla potrzeb wyboru lokalizacji nowej zabudowy

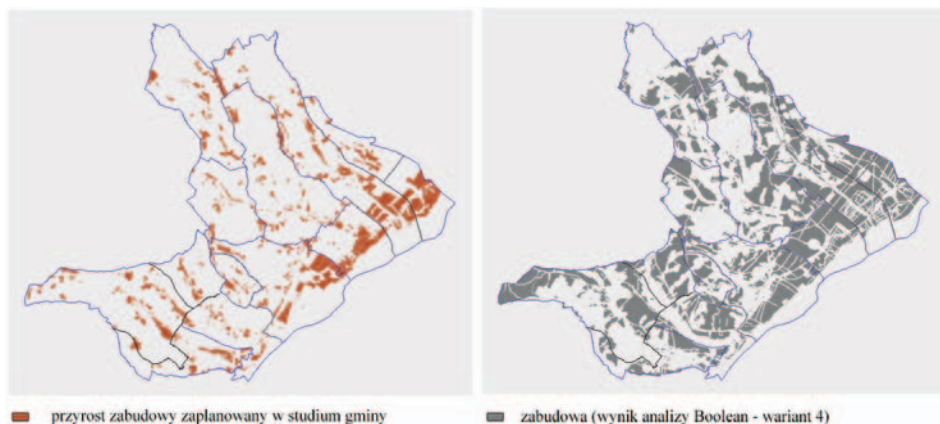
Poniżej przedstawiono rezultat uzyskany w wyniku przetestowania wariantu 2 metody WLC.

W wyniku tego wariantu uzyskano mapy prezentujące lokalizację nowej zabudowy (Rys. 7) z wykorzystaniem metody WLC dla dwóch dobranych empirycznie progów – 156 i 176 (etap „e” w metodzie WLC – analiza histogramu wynikowej mapy przydatności). Rezultaty przeprowadzonej analizy WLC porównano wizualnie z wynikiem analizy nakładkowania (wariant 4) oraz z przyrostem zabudowy zaplanowanym w studium gminy (Rys. 8). Analizując mapy lokalizacji nowej zabudowy uzyskane różnymi metodami można wyciągnąć następujące wnioski:

- Zastosowanie w metodzie WLC progu 156 pozwala na uzyskanie znacznie większych obszarów w porównaniu z progiem 176. Należy się tego spodziewać, ponieważ następuje w tym przypadku zaakceptowanie obszarów o mniejszej przydatności (odcięcie z histogramu wartości przydatności poniżej 156 w pierwszym, a 176 w drugim przypadku, przy maksymalnej wartości 255).
- Porównując Rys. 7 z Rys. 8 po prawej stronie (przyrost zabudowy zaplanowany w studium) można stwierdzić zgodność w obszarze południowo zachodnim oraz brak planowanej lokalizacji w studium w obszarze południowo zachodnim.



Rys. 7. Mapy lokalizacji nowej zabudowy uzyskane metodą WLC dla poszczególnych wartości progowych (próg 156 z lewej, 176 z prawej).



Rys. 8. Przyrost zabudowy zaplanowany w studium (ilustracja po lewej) oraz wynik metody nakładkowania (ilustracja po prawej) [dla porównania z Rys. 7].

- Wyniki metody WLC i nakładkowania (Boolean) różnią się znacznie od siebie, co wynika z innego zdefiniowania kryteriów analizy.
- Tendencja rozmieszczenia przestrzennego planowanej zabudowy jest podobna w studium i z analizy metoda twardą, nakładkowania. Jednakże w wyniku analizy metodą nakładkowania (Rys. 8 z prawej) uzyskano znacznie większy obszar planowanej zabudowy niż w studium (Rys. 8 z lewej). Wynika to z faktu, że w analizie metodą nakładkowania uzyskano maksymalny obszar spełniający zadane w studium warunki, podczas gdy studium jest opracowane dla określonego zakresu czasowego.

6. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Przeprowadzone w niniejszej pracy analizy wielokryterialne pozwalają stwierdzić, że można je wykorzystać zarówno do kontroli istniejącego zainwestowania terenu czy też wydawanych dokumentów, jak również jako narzędzie do wspomagania procesu podejmowania decyzji. W powyższym artykule, powstałym na podstawie pracy magisterskiej (Hnat, 2009), omówiono szerzej tylko wybrane warianty analiz.

Weryfikacja poprawności wydawania decyzji o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu jest o tyle ciekawa, że w przystępny wizualnie sposób (zastosowanie metody kartodiagramów kołowych) ukazuje potrzebne informacje.

Wariant dotyczący wsparcia procesu tworzenia studium wydaje się najciekawszy. Automatyczna selekcja wniosków złożonych do studium pozwala odrzucić na wstępie te, które nie spełniają postawionych kryteriów bądź znajdują się w niewielkim stopniu na obszarze spełniającym kryteria metody nakładkowania. Takie wykorzystanie GIS odciąża planistę, który nie musi przeglądać wniosków nienadających się do pozytywnego rozpatrzenia.

Biorąc pod uwagę fakt, że kryteria w trakcie tworzenia studium często mają charakter miękkie podjęto się przetestowania drugiego rodzaju analizy wielokryterialnej – analizy WLC. Można stwierdzić, że wynik tej analizy pokazuje tendencje lokalizowania nowych terenów budowlanych.

Początkowo uznano, że WLC jako metoda miękka lepiej dostosuje się do potrzeb planistycznych. Warto jednak zwrócić uwagę, że każdy etap tej analizy to podejmowanie kolejnych, merytorycznych decyzji (podział kryteriów, standaryzacja, wagowanie czynników). W ramach prac badawczych podjęto te decyzje w oparciu o uzyskaną wiedzę dotyczącą zagadnień urbanistycznych oraz konsultacje z planistami. Pomimo tego analiza WLC nie dała zadowalających wyników i nie okazała się w tym przypadku metodą spełniającą w pełni potrzeby urbanistyczne. Trudno jednak wyciągnąć kategoryczne wnioski o lepszej przydatności do tworzenia studium metody nakładkowania w stosunku do metody WLC na podstawie przeprowadzonych jednostkowych badań. Wyniki należy raczej traktować, jako przyczynek do dalszych badań.

Mimo pewnych wątpliwości pojawiających się podczas interpretacji wyników przeprowadzonych prac warto wdrażać technologię GIS do planowania przestrzennego jako narzędzie do wspomagania decyzji oraz dalej badać różne metody GIS dla tych potrzeb.

7. LITERATURA

Eastman J. R., 2001. IDRISI 32 Release 2. Guide to GIS and Image Processing. Vol. 2, Clark Labs Clark University, USA.

Hnat E., 2009. *Wielokryterialna analiza GIS lokalizacji zabudowy na przykładzie gminy Podegrodzie*. (praca magisterska) Akademia Górniczo – Hutnicza im. S. Staszica, Kraków.

Załącznik nr 1 (Tekst: Ustalenia Studium) do Uchwały nr 154/XXIV/2008 Rady Gminy Podegrodzie z dnia 17 lipca 2008 roku w sprawie uchwalenia studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego Gminy Podegrodzie.

MULTI-FACTORAL EVALUATION OF RESIDENTIAL AREA LOCATIONS: CASE STUDY OF PODEGRODZIE LOCAL AUTHORITY

KEYWORDS: GIS, Multi - criteria analysis, spatial planning

SUMMARY: Spatial planning is one of the domains where GIS technology could be applied. Nowadays in Poland GIS is used in planning process as a tool for data gathering or/and for input/output data presentation. The main aim of the paper is to present GIS as a decision support in spatial planning. The research focuses on urban site selection. Besides, automation of some stages of planning process was tested. Multi - criteria analysis was chosen for the tests. Boolean and WLC (Weighted Linear Combination) methods were applied. Criteria in the analysis were delivered from existing legal regulations, technical specifications and planner's consultations. In this kind of research it is crucial to assume the same criteria, like during original planning procedure. Data used in the research were supported by Institute of City Development in Cracow. It can be concluded that WLC is adequate for the assessment of urbanization trends, while Boolean method is more proper for spatial planning study elaboration. The research showed various possibilities of applying GIS in spatial planning processes, and, among others, possibility to automate some planning processes.

Research financed by AGH grant: AGH 11.11.150.949.

dr hab. inż. Beata Hejmanowska, prof. AGH
gaila@agh.edu.pl
telefon: +48 605061510

mgr inż. Ewelina Hnat
e_hnat@wp.pl
telefon: +48 506557476

* wersja kolorowa artykułu jest dostępna na stronie <http://www.sgp.geodezja.org.pl/ptfit>

**INFLUENCE OF THE NUMBER OF MEASURED PARCEL BOUNDARY
POINTS ON THE ACCURACY OF LAND PARCEL AREA CALCULATION***

**ANALIZA WPLYWU LICZBY MIERZONYCH PUNKTÓW GRANICZNYCH
DZIAŁKI NA DOKŁADNOŚĆ OKREŚLANIA JEJ POŁA POWIERZCHNI**

Beata Hejmanowska, Wojciech Woźniak

Beata Hejmanowska
European Commission JRC, Institute for the Protection
and Security of the Citizen, MARS Unit,
Katedra Geoinformacji, Fotogrametrii i Teledetekcji Środowiska,
Akademia Górniczo-Hutnicza

KEYWORDS: GPS stand alone measurements, parcel area error, IACS

SUMMARY: The question which the research attempted to answer was to what degree the measurement of parcel boundary points influences the error in the calculation of the area of each land parcel. The field measurements relied on continuous GPS measurements of land parcels with various recording intervals. The accuracy of the simulated area as calculated from Gauss' formula increases with an increase in the number of boundary points. The experiment of using continuous measurement by GPS did not confirm the accuracy of the simulated area in all the point number ranges. The largest difference was observed where there was a small percentage of measurement points, where the prognosis error was much higher (almost two times) than the error obtained during measurement. The relationship between the number of points and accuracy of the area measurement was also compared with the literature. The results of our research partly confirmed results published in the literature with the main discrepancy being observed for a lower number of boundary points. In our research, area error increases with decreasing number of points; in the literature area error decreases with a decreasing number of boundary points. The explanation of this phenomenon requires further research especially as the field measurements from this research do not fully correlate with the simulations found in the literature.

1. INTRODUCTION

Global Positioning System (GPS) is applied in control procedures conducted in Integrated Administration and Control System (IACS). IACS is an information sys-

tem used for decision support in EU agricultural financial subsidies. Each year farmers declare areas of crops. Some of declarations are checked in situ or using remote sensing data. Cultivated parcels are measured and their area is compared to the area declared by the farmer. There are some discrepancies allowed between the two values. It should not be greater than 5% according to the technical specification for parcel area measurements. Also, other tolerances are defined, depending on the measurements' technology. In this case tolerance is defined as a width of buffer around the parcel perimeter.

The permitted discrepancy between area from the cadastre and from the field measurements is usually also defined. In Poland technical specification G-5 is now obligatory (5). According to the regulation (G-5) discrepancy defined above can be calculated from following equation:

$$(1) \quad \Delta P = 0.001P + 0.2\sqrt{P}$$

where: P – parcel area.

There are also other approaches, basing on empirical equations:

$$(2) \quad \Delta P = 0.4\sqrt{2P} + \sqrt{\frac{1+K^2}{2K}}$$

$$(3) \quad \Delta P = 2(0.002P + 0.2\sqrt{P})$$

$$(4) \quad \Delta P = 0.001P + 0.0002M\sqrt{P}$$

where:

P – parcel area

K – parcel elongation coefficient (ratio of the length of long to short side of the parcel)

M – denominator of map scale.

There is however a problem – the equation used for cadastre purposes (1) is very strict and could be used in the case where parcel vertexes are marked in the field by stones. Otherwise obtaining such a high accuracy is not possible because of difficulties in parcel border definition in the field. Equations (1-4) have empirical not analytical backgrounds. Nowadays parcel areas are still calculated in an analytic way, usually from the Gauss' formula on the bases of vertex coordinates. In this case the question is raised: why not to calculate the area error strictly from analytical equations? Based on our research (Hejmanowska, 2003, eq. 5) and some approach from literature (Bogaert *et. al.*, 2005, eq. 6) parcel area error ($m_p \sigma_s$) can be calculated from an analytical equation as follows:

$$(5) \quad m_p = m_{pkt} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_{i+1} - y_i)^2 + (x_{i-1} - x_{i+1})^2}{8}}$$

where:

m_{pkt} – point position error,

x_i, x_j, y_i, y_j – vertex coordinates in Cartesian coordinate system,

$$\sigma_s^2 = \frac{1}{2} \sigma_\varepsilon^2 \left(\sum_{i=1}^n \left(r_i^2 - r_i r_{i+2} \cos(\alpha_{i+2} - \alpha_i) \right) \right) \quad (6)$$

where:

σ_s – standard deviation of parcel area,

σ_ε – standard deviation of point position,

r_i, α_i – vertex coordinate in polar coordinate system (radius, angle).

The above two equations were tested on the basis of GPS measurements and using parcels obtained from ortho-photomaps (Hejmanowska *et al.*, 2005) and have given the same results. Some inconvenience appears occasionally in eq. 5 for small angles, as the results are unexpectedly high.

Three components: parcel area, point position error and number of vertexes influence the parcel area error. The first two components are evident but the influence of the third one on area error can be discussed. Each vertex is measured during normal surveying, for example by Total Station. Vertex is understood as a point where the change appears in parcel border direction. Any points where parcel border direction does not change are not included, so parcel border is defined by the minimum amount of measurements points (vertexes). However from standalone GPS measurements parcel area is defined by much more points on the border than normally obtained from tachymeter surveying. During GPS measurements operator walks or moves using some vehicle along the parcel border. GPS measures point position with assumed frequency. Some tests were performed with different speeds (v) of the operator moving along the parcel border (Bogaert *et al.*, 2005; Fig. 1; Fig. 2). As the speed of the operator increases the amount of points on the parcel border decreases (Fig. 1). There are many points on the border obtained with a speed of 0.25 m/s (Fig. 1, upper left) compared with a speed of 10 m/s (Fig. 1, bottom right). In the first case, variation of point position along the parcel border is high but the random errors do not influence the area because of the averaging process. In the last case, the averaging does not exist and some systematic error (shifts) can be noticed. In two cases area error is less than in the other, intermediate ones. If we have many points (v tends to 0) even that the variance of point position is high, area variance will drop to 0. On the other hand if speed of the operator is very high (v tends to ∞) only four corners area are measured. We can observe correlation of point position measurements and systematic error but it does not influence parcel area, variance of parcel area will be small. Based on the simulation parcel area variances tend to zero if the speed of operator tends to 0 or to infinity (Fig. 2).

Both formulas for parcel area error calculation are derived assuming lack of the cross-correlation between X and Y coordinates. Point position from GPS is influenced by ephemeris models, satellite clock drifts and ionospheric modelling, that may cause systematic errors. However it changes in time, if measurements are made quickly, there is a systematic point position error that does not influence parcel area. If the measurement time is long enough we observe lack of X, Y cross-correlation (Bogaert *et al.*, 2005).

Results presented in the paper (Bogaert *et al.*, 2005, Fig. 1, Fig. 2) are derived based on computer simulations. It encouraged us to test them in the field, so we performed a series of experiments on the football field (Woźniak, 2009).

We defined the following two questions:

- How does the difference in number of points influence the parcel area error?
- Is it possible to predict parcel area error in an analytical way (eq. 5 and 6)?

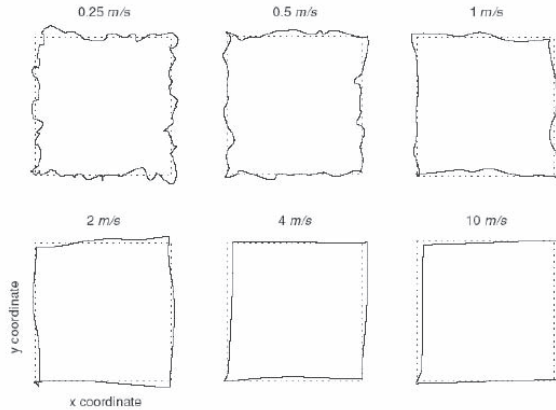


Fig. 1. Simulation of sequentially measured coordinates along the borders of a 100x 100 m parcel for an operator moving at a constant speed specified on the figures (in $m \cdot s^{-1}$) with a frequency of 1 measurement/s (Bogaert *et al.*, 2005).

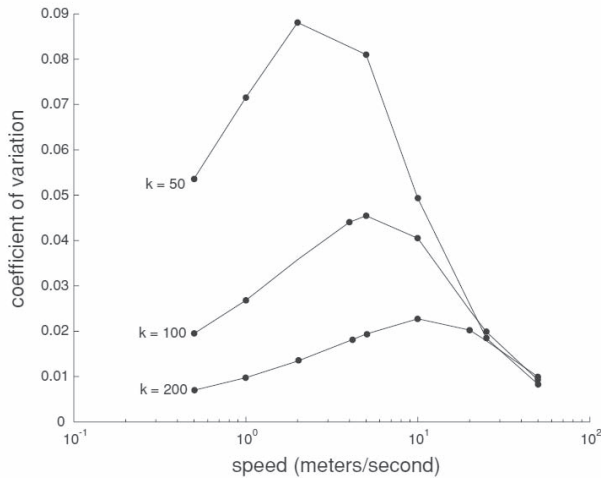


Fig. 2. Evolution of the coefficient of variation CVs for the area estimation of a $k \times k$ m parcel as function of the speed of an operator moving along the borders (in $m \cdot s^{-1}$); the operator is assumed to move at constant speed, with frequency of 1 measurement/s (Bogaert *et al.*, 2005).

2. METHODOLOGY

A football pitch, as a test field (Fig. 3), was measured using total station and stand alone GPS with different point registration speed (distance between neighbouring points on the border: respectively 1, 2, 3, 4, 5 m, Fig. 4). Also, area of the football pitch was calculated from GPS measurements performed on only 4 corners of the polygon. Different registration speeds lead to different quantities of points, each measurement gives slightly different amount of points; average values were 200, 110, 90, 70, 50 for intervals 1, 2, 3, 4 and 5 s, respectively.

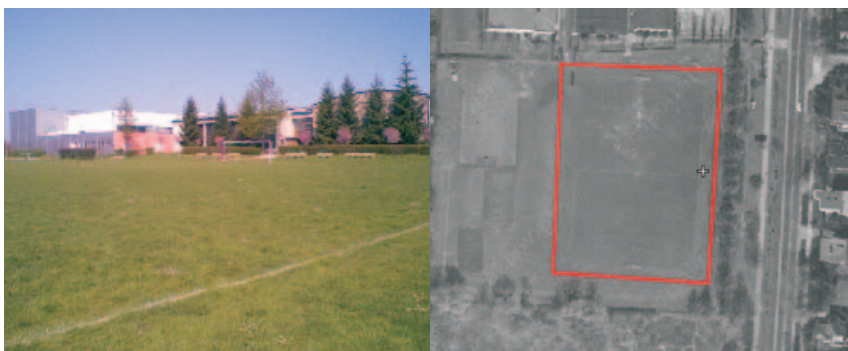


Fig. 3. Football pitch as a test field.

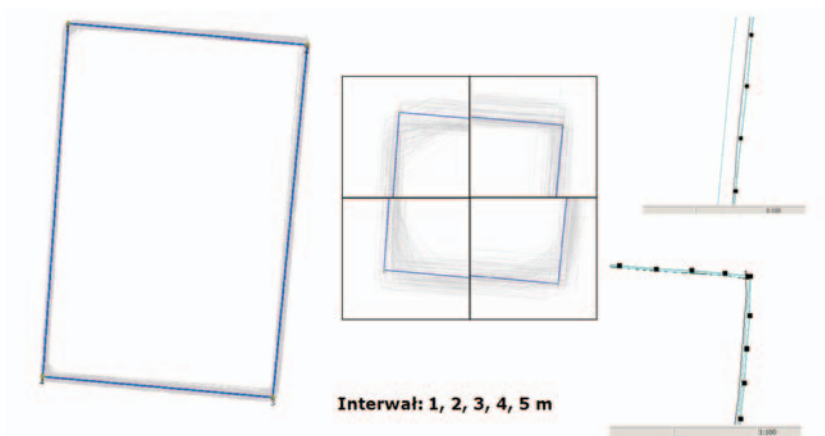


Fig. 4. GPS measurements of football pitch with different intervals of point registration, in the middle - zoom of the corners (see cut corners), on the right - example of point's position on the parcel border and also on the corner.

Accuracy of parcel area is the object of our research. As a reference area, the area calculated from total station measurement was assumed. Our test polygon was measured in 6 modes, with different registration speeds. Measurements with one mode were made 3 times. A set of 18 measurements (6 modes x 3 times) was made during one day. Since the experiment was performed over 3 days, we collected a total of 54 measurements (6 modes x 3 times x 3 days). Accuracy analysis were based on two kinds of relative discrepancies (errors - V_i) between areas calculated from GPS measurements (P_i) and:

- mean values of area measured in the experiment for each mode (P_r), variant 1,
- reference area (P_r), variant 2,

$$(7) \quad V_i = (P_i - P_r) / P_r$$

For the analysis, relative area error was taken into account. The following values of the area error, characterising this discrepancies, were calculated:

- mean error (ME)
- standard deviation (SD)
- root mean square (RMS)

$$(8) \quad ME = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{n}$$

$$(9) \quad SD = \sqrt{\frac{\sum (V_i - ME)^2}{n-1}}$$

$$(10) \quad RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n V_i V_i}{n-1}}$$

where: n – number of measurements in one mode.

Influence of the number of measured points on the area error was analysed on the charts. Finally, courses of the curves from our research were compared to the curves from the literature on Fig. 2.

3. RESULTS

On the charts below relationships between area error and numbers of points on the parcel border are presented. Influence of number of points on the area error is presented on Fig. 5, assuming as a reference mean value of the area (variant 1). Mean error (ME) is almost equal to 0 for all numbers of points, and standard deviation (SD) decreases from 0.7% to slightly more than 0.2%. In the case when we assumed measurements by total station as reference (variant 2), the relationship between error and number of points is something else because of consideration of mean error (Fig. 6). Mean error (ME),

understood as a bias or systematic error varies from about -0.4 to 0.2%. Standard deviation (SD) in this case decreases from 0.8 to 0.2% and the course of the curve is more flat in comparison to the one on Fig. 5.

Mean error (ME) and standard deviation (SD) could be expressed together as root mean square (RMS). On the chart (Fig. 7) two lines are also added for comparison of our results with allowed discrepancy according to technical specifications. One of them shows the limit of area error (for parcel with the area equal to the area of the football pitch) calculated on the basis of now obligatory regulation G-5 (eq. 1). Only the measurements with registration of 1 second fulfil the requirements of regulation G-5. The second one shows value of area error limit obtained from less rigorous regulation, (eq. 3), obligatory in the past (published in 1998). In this case measurements of all modes would be allowed.

Root mean square (RMS) of the measurements is shown on Fig. 8. Additionally parcel area error, calculated from the eq. 5, assuming point position error of 1m was also presented on the diagram. Runs of the two curves (modelled and measured) vary.

Area error modelling using eq. 5 overestimates the error for a number of points, less than 50 points. Slightly underestimation could be observed for more than 50 points with registration more quickly than each 5 s.

Speed of GPS signal registration influences the accuracy of calculated area. The relationship is not recognised well enough. On the chart Fig. 8 vertical line shows numbers of points corresponding to the speed marked on Fig. 9. Notice that on Fig. 8 amount of points increases to the right (x-axis), and corresponding speed of GPS signal registration decreases, and on Fig. 9 the opposite. Firstly, compare curve courses on the two charts starting from the vertical line – on the right at Fig. 8 and on the left at Fig. 9. The error decreases in both cases and the curve courses look more or less similar. However the phenomenon

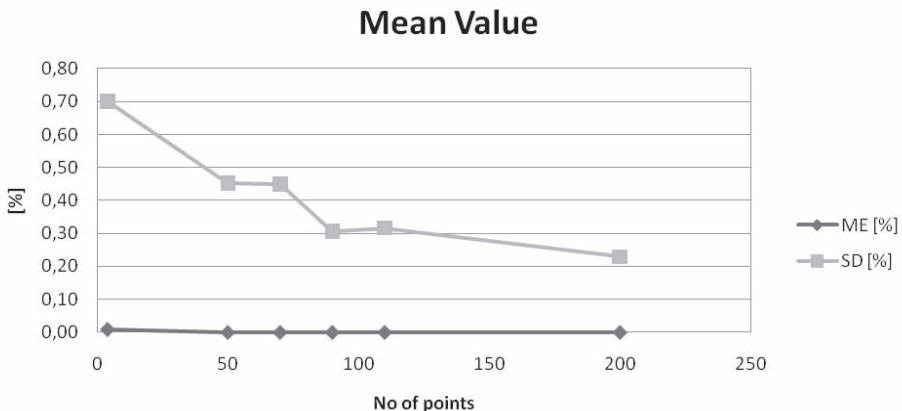


Fig. 5. Relationship between mean error (ME), standard deviation (SD) and number of points on the parcel area (variant 1).

changes on the opposite side of the vertical line. On the Fig. 8 (left from the vertical line), error increases continuously with decreasing of number of points. On the figure Fig. 9 (right from the vertical line), there is an inflection point on the error curve where the curve courses are changing, increasing speed (decreasing number of points) causes decreasing of the error.

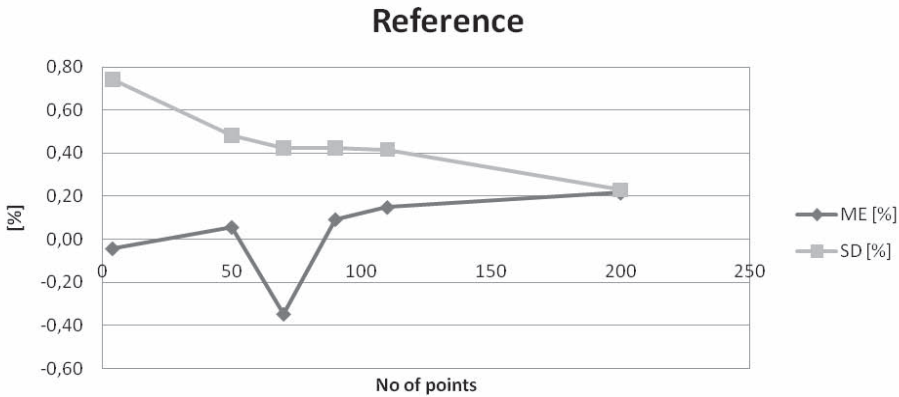


Fig. 6. Relationship between mean error (ME), standard deviation (SD) and number of points on the parcel area (variant 2).

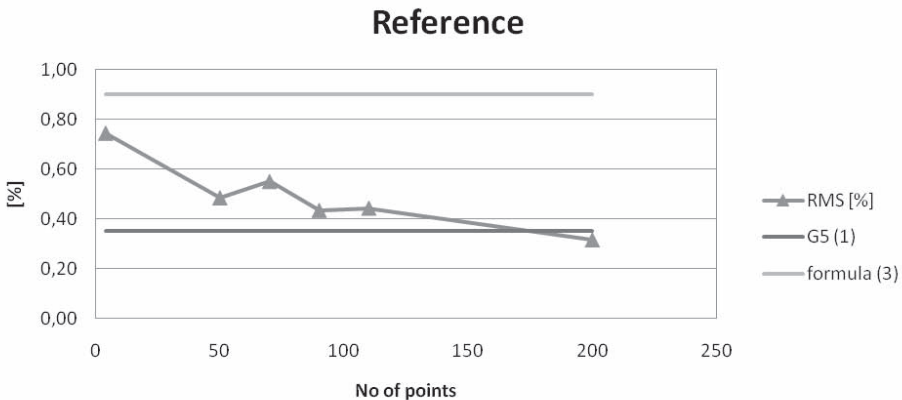


Fig. 7. Relationship between root mean square (RMS) and number of points on the parcel area; line presented allowed errors according technical specification G-5 (eq. 1) and eq. 3.

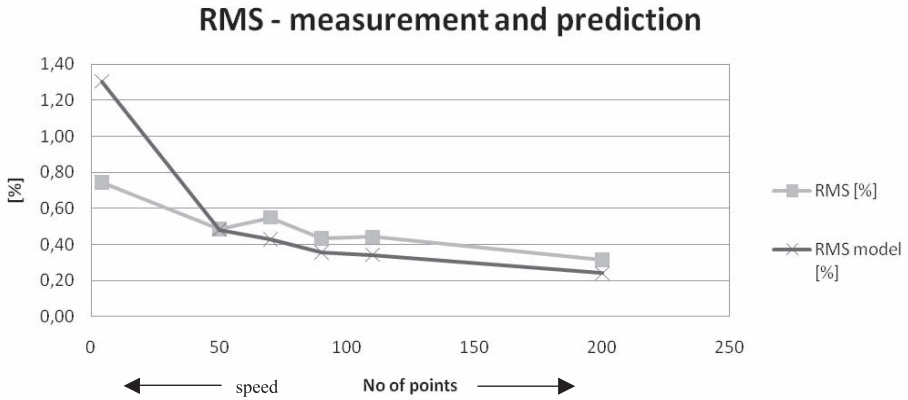


Fig. 8. Relationship between root mean square (RMS) from GPS measurements, RMS predicted from the model (eq. 4) and number of points on the parcel area; vertical line shows speed on Fig. 9.

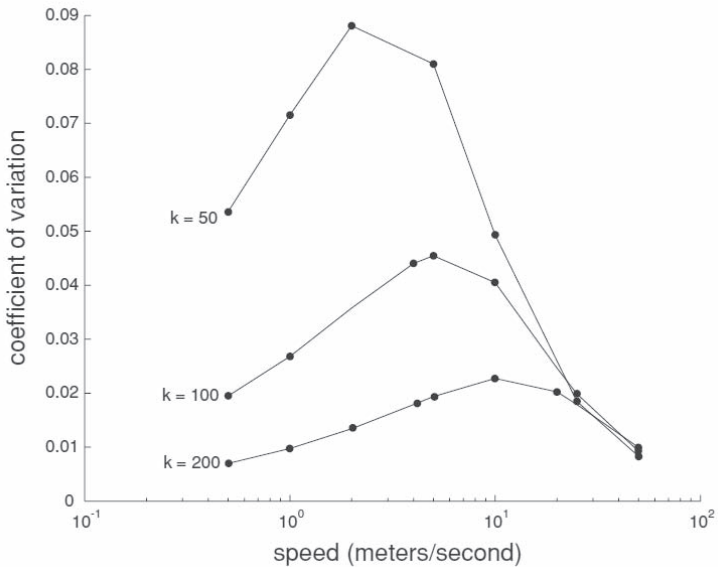


Fig. 9. Relationship between coefficient of variation and speed of point registration; vertical line shows respectively number of points on Fig. 8 (modified from Bogaert *et al.*, 2005).

4. CONCLUSIONS

In our research we have tested the influence of numbers of points defining the parcel border on the parcel area error. Different numbers of points can be caused by the decreasing of operator speed (with constant speed of GPS registration) or by different GPS speed registration with constant operator speed. The two cases are not identical but similar; the experiments however can give also the similar amount of points. Generally the more points on the parcel border the better, and parcel error decreasing. We have not obtained a clear answer about reducing the amount of registered on the parcel border points.

The explanation stated in the introduction is logic that in the case of only 4 corners measured we can expect correlation between measurements causing the small error of parcel area, but we have not confirmed it in the field. To determine the inconsistency new measurements are needed possibly in the same conditions as in the two above experiments.

Some discrepancies between errors obtained based on the field measurements and modelled from formula (5) should be noticed (especially for a small number of points). So in our opinion this registration conditions: speed of operator more than 10 m/s and registration frequencies less than 1 point/5 s should be taken into account in the future. Increasing speed of operator more than 10 m/s and register with frequencies less than 1point/5 s is not so realistic like corner GPS measurement, which should be treated as an especially case. However experiments should cover all ranges of the values of operator speed or point registration frequency to recognition of the discussed phenomenon.

5. REFERENCES

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, 1170–1178.

Hejmanowska B., 2003. Data inaccuracy in Geographical Information System - propagation of DTM and ortophotomap errors in the spatial analysis. *Geodesy 40: Geodesy, Photogrammetry and Monitoring of Environment*, Wydawnictwa PAN, Kraków.

Hejmanowska B., Palm R., Oszczak S., Ciećko A., 2005. Validation of methods for measurement of land parcel areas - FINAL REPORT. publikacja internetowa http://agrifish.jrc.it/Documents/lpis/ValidationMethodFinalVer2_2.pdf

Instrukcja Techniczna G-5. Ewidencja gruntów i budynków.

Woźniak W., 2009. *Analiza wpływu liczby mierzonych punktów granicznych działki na dokładność określania jej pola powierzchni*. AGH, Kraków (in Polish, unpublished Master Thesis).

6. ACKNOWLEDGMENTS

Authors would like to thank Ms. Cherith Aspinall (JRC, IPSC, Ispra, Italy) for corrections of English language.

ANALIZA WPLYWU LICZBY MIERZONYCH PUNKTÓW GRANICZNYCH DZIAŁKI NA DOKŁADNOŚĆ OKREŚLANIA JEJ POŁA POWIERZCHNI

SŁOWA KLUCZOWE: ciągły pomiar GPS, błąd powierzchni działki, IACS

STRESZCZENIE: Przeprowadzone badania miały odpowiedzieć na następujące pytanie: jaki jest wpływ liczby punktów pomierzonych na granicy działki na jej błąd powierzchni? Pomiary polowe metodą ciągłej rejestracji z wykorzystaniem ręcznego odbiornika GPS zostały przeprowadzone z różną częstotliwością rejestracji. Symulowany ze wzoru Gaussa błąd powierzchni maleje wraz ze wzrostem liczby punktów. Jednakże przeprowadzony eksperyment nie potwierdził modelowanej dokładności w całym zakresie liczby punktów. Największa różnica wystąpiła dla małej liczby punktów, gdzie prognozowana wartość błędu znacznie, niemal dwukrotnie, przekroczyła otrzymaną eksperymentalnie wartość błędu. Zależność pomiędzy liczbą zarejestrowanych punktów a błędem powierzchni została porównana z wynikami z literatury. Główna rozbieżność pojawiła się również w zakresie małej liczby punktów. Zgodnie z naszymi badaniami zmniejszanie liczby punktów powoduje zwiększanie się błędu powierzchni, podczas gdy na podstawie wyników zamieszczonych w literaturze można wyciągnąć wniosek, że powoduje to zmniejszanie się błędu powierzchni. Wyjaśnienie tego zjawiska wymaga przeprowadzenia dalszych badań, ponieważ nasze pomiary polowe nie w pełni odpowiadały warunkom symulacji z literatury.

dr hab. inż. Beata Hejmanowska, prof. AGH
beata.hejmanowska@jrc.ec.europa.eu
telefon: +48 605061510

mgr. inż. Wojciech Woźniak - dyplomant
wojciech_wozniak@op.pl
telefon: +48 664423377

* wersja kolorowa artykułu jest dostępna na stronie <http://www.sgp.geodezja.org.pl/ptfit>

**ROLA PODGIK W FUNKCJONOWANIU KRAJOWEJ
INFRASTRUKTURY DANYCH PRZESTRZENNYCH***

**THE ROLE OF DISTRICT CENTERS OF GEODETIC
AND CARTOGRAPHIC DOCUMENTATION IN THE FUNCTIONING
OF NATIONAL SPATIAL DATA**

Waldemar Izdebski

Geo-system Sp. z o.o.

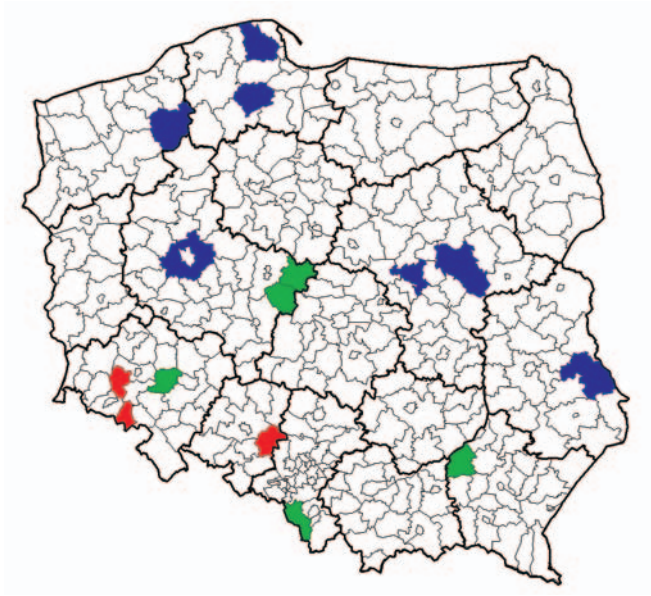
SŁOWA KLUCZOWE: zasób geodezyjny, iGeoMap, PODGIK, dane przestrzenne, GIS, WMS

STRESZCZENIE: Powiatowe Ośrodki Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej są w Polsce podstawą funkcjonowania Krajowego Systemu Informacji o Terenie. Zgromadzone w nich dane są ciągle aktualizowane w wyniku realizacji prac geodezyjnych. W przyszłości dane te zapewne będą stanowiły podstawą Krajowej Infrastruktury Danych Przestrzennych. Aby tak się stało muszą zostać jednak przetworzone do postaci numerycznej. W wielu powiatach wymaga to jeszcze dużego nakładu pracy, ale są również takie, w których dane osiągnęły już pełną postać numeryczną. W referacie autor zwraca uwagę na wykorzystanie dostępnych technologii geoinformacyjnych nie tylko do prezentacji danych w Internecie, ale również na usprawnienie procesu zasilania zasobu. W szczególności dotyczy to zautomatyzowania procesu wydawania materiałów, dostępu do specjalistycznych informacji i funkcjonalności oraz zautomatyzowanego przyjmowania zaktualizowanych danych do zasobu.

**1. AKTUALNE WYKORZYSTANIE SERWISÓW POWIATOWYCH
W GEOPORTALU**

Obecnie do Krajowej Infrastruktury Danych Przestrzennych (na zasadach tzw. węzłów powiatowych) włączonych jest 18 powiatów, których wykaz i rozmieszczenie przedstawiono na Rys. 1 i Rys. 2.

Z dostępnych obecnie 18-tu serwisów powiatowych (stan na 25 lipca 2009 r.), 10 jest zrealizowanych przez firmę Geo-System Sp. z o.o. (kolor niebieski) w ramach wdrożeń własnych związanych z automatyzacją pracy ośrodków dokumentacji, obejmującej



Rys. 1. Mapa węzłów powiatowych wykorzystywanych w geoportal.gov.pl.

Usługi (wyników: 18)

Nazwa	Typ				
Miasto Chełm, mapa ewidencyjna: usługa przeglądania (WMS)	WMS				
Powiat Chełmski, mapa ewidencyjna: usługa przeglądania (WMS)	WMS				
Powiat Cieszyński, mapa ewidencyjna: usługa przeglądania (WMS)	WMS				
Powiat Kamienna Góra, mapa ewidencyjna: usługa przeglądania (WMS)	WMS				
Powiat Kolski, mapa ewidencyjna: usługa przeglądania (WMS)	WMS				
Powiat Kościerski, mapa ewidencyjna: usługa przeglądania (WMS)	WMS				
Powiat Mielecki, mapa ewidencyjna: usługa przeglądania (WMS)	WMS				
Powiat Miński, mapa ewidencyjna: usługa przeglądania (WMS)	WMS				
Powiat Poznański, mapa ewidencyjna: usługa przeglądania (WMS)	WMS				
Powiat Pruszkowski, mapa ewidencyjna: usługa przeglądania (WMS)	WMS				
Powiat Strzelecki, mapa ewidencyjna: usługa przeglądania (WMS)	WMS				
Powiat Szczecinecki, mapa ewidencyjna: usługa przeglądania (WMS)	WMS				
Powiat Turecki, mapa ewidencyjna: usługa przeglądania (WMS)	WMS				
Powiat Warszawski Zachodni, mapa ewidencyjna: usługa przeglądania (WMS)	WMS				
Powiat Wejherowski, mapa ewidencyjna: usługa przeglądania (WMS)	WMS				
Powiat Wołomiński, mapa ewidencyjna: usługa przeglądania (WMS)	WMS				
Powiat Złotoryjski, mapa ewidencyjna: usługa przeglądania (WMS)	WMS				
Powiat Średzki, mapa ewidencyjna: usługa przeglądania (WMS)	WMS				

Rys. 2. Serwis geoportal.gov.pl – wykaz węzłów powiatowych.

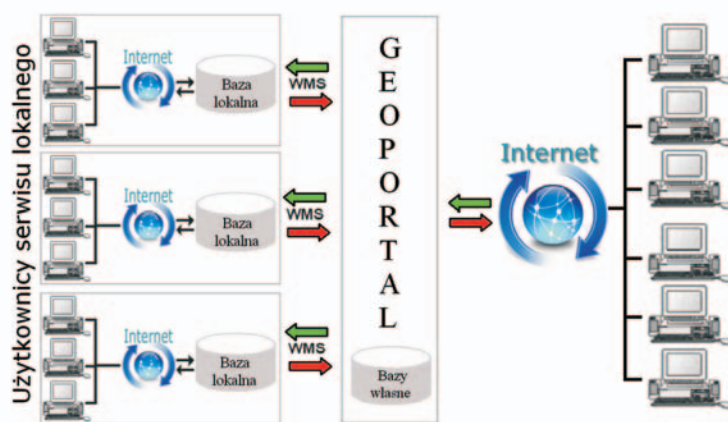
oprócz publikacji danych również wspomaganie obsługi prac geodezyjnych. Ponieważ wszystkie te serwisy spełniły techniczne oczekiwania GUGiK, bez problemu zostały włączone do funkcjonującego według nowej koncepcji geoportalu. Pięć serwisów zostało zrealizowanych w ramach projektu GUGiK związanego z konkursem na węzły powiatowe (kolor zielony) oraz trzy w ramach innych projektów.

Schematycznie aktualną koncepcję funkcjonowania geoportalu przedstawiono na (Rys. 3).

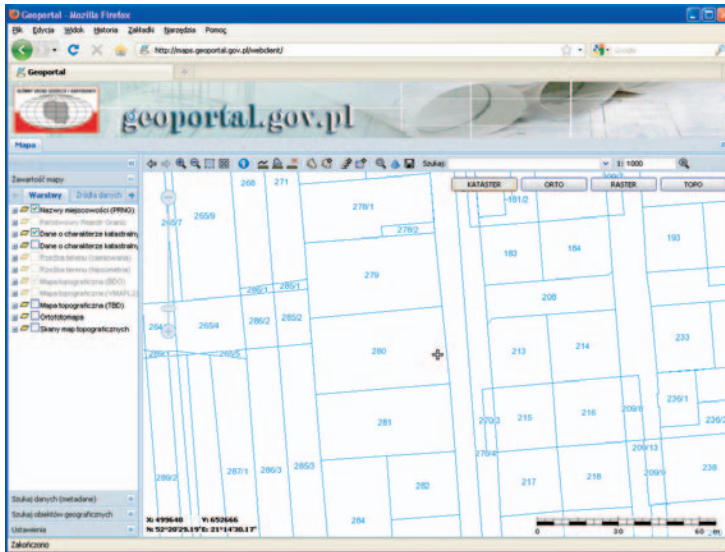
Istotą obecnego serwisu geoportal.gov.pl (Rys. 4) jest to, że oprócz prezentacji danych w swej standardowej postaci, udostępnia usługi sieciowe pozwalające wykorzystywać dane centralne w innych serwisach i oprogramowaniu posiadającym funkcje klienta WMS (Izdebski, 2008b). Tworzenie serwisów powiatowych zgodnie z obowiązującymi standardami światowymi, jak np. WMS, WFS, w przyszłości będzie sprzyjało powiązaniu oferowanych danych z innymi serwisami krajowymi i światowymi.

Na obecną chwilę całe przedsięwzięcie należy traktować jako zbieranie doświadczeń związanych z budową takich serwisów. Wynika to z faktu, że wiele z nich nie zawsze działa, a przynajmniej nie funkcjonowały podczas przygotowywania materiałów do niniejszego referatu. Nie działały serwisy oznaczone na czerwono oraz serwis powiatu mieleckiego. Tak czy inaczej do zbudowania pełnej infrastruktury pozostało jednak jeszcze stworzenie ok. 360 serwisów. Ponieważ dzięki funkcjonującym serwisom są już znane wzorce postępowania oraz korzyści płynące z ich istnienia sądzą, że kolejne serwisy będą powstawały dosyć szybko nawet bez jakiegoś wielkiego wspomaganie ze strony GUGiK. Na pewno trzeba będzie zadbać o systematyczną aktualizację danych w serwisach oraz o niezawodność ich działania.

Jeśli oprogramowanie, z którego korzystają geodeci (nazywane potocznie geodezyjnym), będzie miało możliwość korzystania z danych WMS (Rys. 5), wtedy dostęp wy-



Rys. 3. Schemat funkcjonowania serwisu geoportal.gov.pl.



Rys. 4. Wygląd serwisu geoportal.gov.pl.



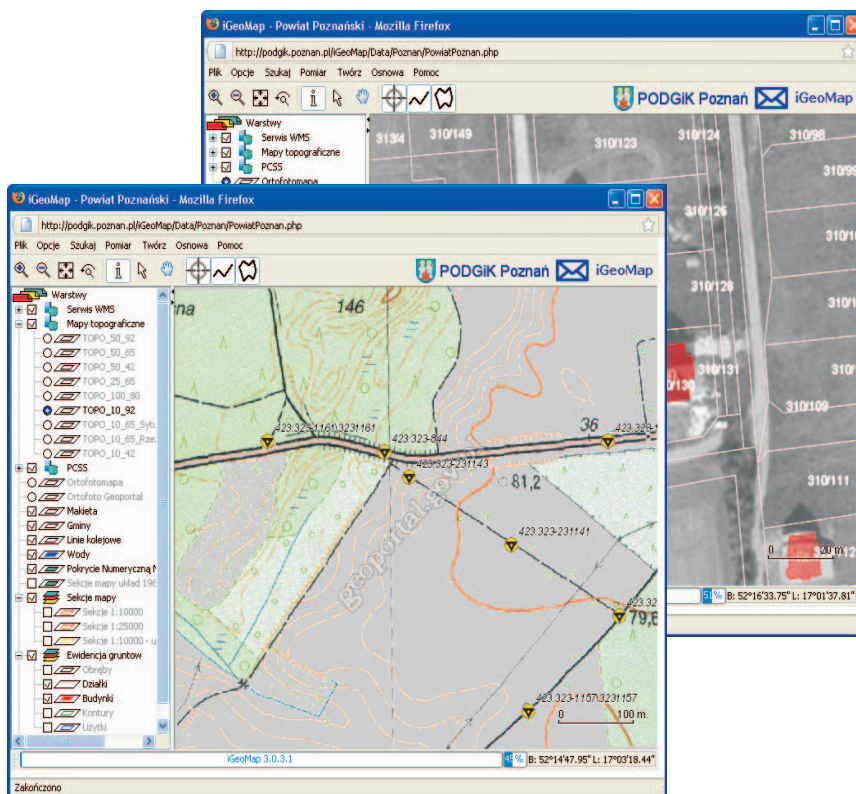
Rys. 5. Korzyści dla specjalistycznego oprogramowania wynikające z wykorzystania serwisów WMS.

konawców do PODGiK nabiera nowego znaczenia, pozwalając widzieć zasób PODGiK w dowolnym miejscu powiatu, bez jego fizycznego posiadania na własnym komputerze. Jednocześnie wykonawcy mogą również wykorzystywać różne inne serwisy WMS np. te z geoportalu czy innych instytucji.

2. WYKORZYSTANIE DANYCH Z SERWISU GEOPORTAL.GOV.PL W SERWISACH POWIATOWYCH

Dzięki usługom sieciowym dostarczanym przez geoportal.gov.pl, serwisy powiatowe dedykowane dla środowisk lokalnych (Rys. 6) mogą być odciążone z publikacji pewnych danych dostępnych w serwisie centralnym takich jak ortofotomapa czy mapy topograficzne.

Korzystając w serwisie lokalnym z danych serwisu centralnego, z jednej strony stajemy się od niego zależni, ale jednocześnie uzyskujemy możliwość korzystania z zasobów centralnych, które są aktualizowane przez powołane do tego instytucje.



Rys. 6. Ilustracja włączenia serwisów ortofotomapy i mapy topograficznej, pochodzących z serwisu geoportal.gov.pl, do serwisu lokalnego powiatu poznańskiego.

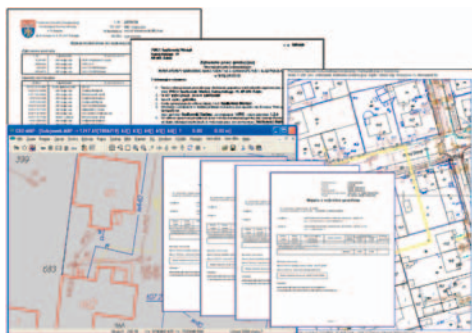
3. DANE I FUNKCJONALNOŚCI OCZEKIWANE W SERWISACH LOKALNYCH

Rola Powiatowych Ośrodków Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej to jednak nie tylko dostarczanie danych do geoportalu. Zresztą ta funkcja pojawiła się stonkowo niedawno. Obowiązujące od lat przepisy nakładają na PODGIK obowiązek przechowywania i aktualizacji szeregu danych, które wykorzystywane są w szeroko rozumianych procesach gospodarczych. Dzięki internetowi wiele czynności związanych z prowadzeniem zasobu może być znacznie usprawnionych. O ile dyrektywa INSPIRE jako podstawowy cel stawia sobie wykorzystanie danych przestrzennych pochodzących z różnych sektorów w ochronie środowiska, to serwisy powiatowe udostępniające wymagane dane geodezyjne warto jest równocześnie wyposażyć w specyficzne rodzaje danych i funkcjonalności potrzebne społeczności lokalnej, a w szczególności wykonawcom geodezyjnym. W kwestii danych niewątpliwie są to osnowa geodezyjna, zakresy prac geodezyjnych, dokumenty archiwalne czy treść mapy zasadniczej. Jeśli chodzi o funkcjonalności to na szczególną uwagę zasługuje automatyzacja procesu zgłaszania prac geodezyjnych i wydawania dokumentów elektronicznych niezbędnych do jej wykonania. W rozwiązaniach proponowanych przez firmę Geo-System Sp. z o.o., zgłaszanie prac i udostępnianie dokumentów elektronicznych oparto na dwóch serwisach: serwisie iGeoMap dedykowanym dla poszczególnych powiatów i ogólnym serwisie dostępowym dla geodetów ePODGIK (Izdebski, 2008a).

W celu zgłoszenia pracy geodezyjnej wymagana jest jednorazowa rejestracja firmy we właściwym Ośrodku Dokumentacji. Ma ona dwojaki charakter. Rejestrowany jest geodeta posiadający niezbędne uprawnienia geodezyjne oraz firma, która realizuje prace i tym samym wnosi przewidziane przepisami opłaty. Przy zgłaszaniu pracy w serwisie iGeoMap należy odnaleźć obszar odpowiadający zgłoszeniu. Można w tym celu wykorzystać różne dostępne mechanizmy wyszukiwania np. na podstawie numerów działek czy numeracji adresowej. Pomocniczą rolę odgrywa ortofotomapa oraz inne treści udostęp-



Rys. 7. Ilustracja procesu zgłaszania pracy geodezyjnej.



Rys. 8. Ilustracja udostępnionych danych.

nione w serwisach. Zgłoszenie pracy rozpoczyna się od wskazania jej zakresu. System pozwala wyznaczyć go na wiele sposobów: poprzez podanie współrzędnych, wskazanie zakresu na ekranie lub przejęciu geometrii zakresu z istniejących obiektów, w razie potrzeby z dodanym marginesem. Geometria jest uzupełniana przez dane opisowe (Rys. 7), w tym dane mające na celu weryfikację geodety i firmy.

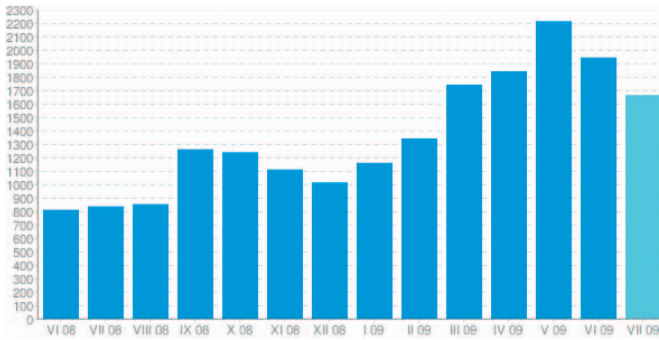
W wyniku tego działania zakres pracy wraz z niezbędnymi danymi opisowymi trafia na serwer ePODGiK, gdzie oczekuje na chwilę, kiedy oprogramowanie działające w PODGiK pobierze go, wygeneruje odpowiednie dokumenty i umieści je w miejscu dostępnym dla firmy zgłaszającej prace. Na dzisiaj dokumentami generowanymi dla wykonawców są: zgłoszenie pracy geodezyjnej, wykaz materiałów do wykorzystania, wydruk mapy do porównania z terenem, fragment bazy danych w formacie GEO-MAP (Rys. 8). W niektórych ośrodkach dokumentacji do danych dołączane są również zeskanowane operaty archiwalne, które mogą być wykorzystane w realizacji danej pracy. Dodatkowo na życzenie zgłaszającego udostępniane są opisy topograficzne punktów osnowy, a jeśli dla pracy powinny być wydane wypisy z ewidencji gruntów i budynków to również takie dane są generowane automatycznie.

4. STATYSTYKI WYKORZYSTANIA INTERNETOWEGO ZGŁASZANIA PRAC GEODEZYJNYCH

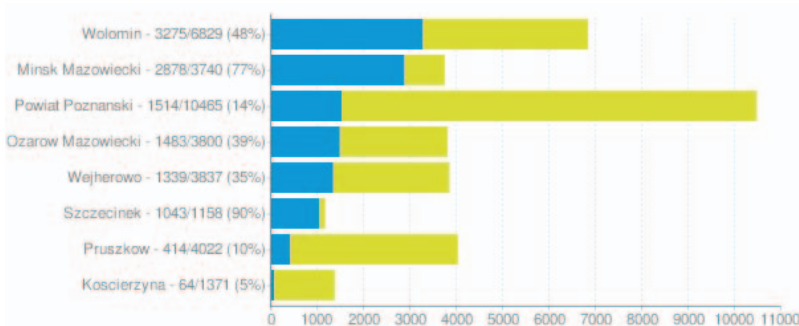
W uruchomionych dotychczas ośmiu serwisach powiatowych posiadających funkcjonalność zgłaszania prac geodezyjnych w przeciągu ostatniego roku zostało zgłoszonych ponad 14 000 prac. Wraz z wdrażaniem serwisu iGeoMap w kolejnych ośrodkach dokumentacji oraz przekonywaniem się do nowej formy komunikacji z PODGiK kolejnych geodetów, liczba zgłaszanych prac wyraźnie rośnie. Proponowana forma komunikacji spotkała się z pozytywnym odzewem ze strony wykonawców geodezyjnych. Świadczą o tym ich pozytywne opinie wyrażane pod adresem serwisów oraz liczny udział we

wszystkich dotychczasowych spotkaniach informacyjnych dotyczących internetowego zgłaszania prac geodezyjnych. Najlepszym jednak dowodem akceptacji serwisu jest liczba zgłoszonych prac i liczba zarejestrowanych firm i wykonawców. Obecnie w serwisie zarejestrowane są 372 firmy i 1020 geodetów uprawnionych. Dynamikę wzrostu liczby zgłaszanych internetowo prac w ciągu ostatniego roku przedstawiono na rysunku 9.

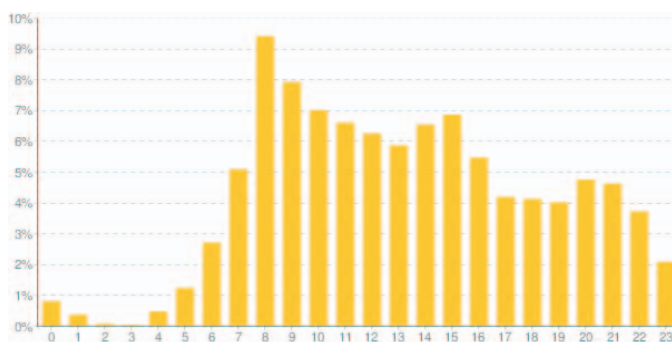
Jeśli chodzi o bezwzględną liczbę prac zgłoszonych w 2009 r. w serwisie iGeoMap to jak dotąd najwięcej (ponad 3000) jest ich w PODGiK w Wołominie. Analizując zrealizowane wdrożenia pod kątem udziału prac zgłoszonych internetowo w liczbie wszystkich prac geodezyjnych, największy udział notowany jest w Szczecinku, gdzie wynosi 91%. Przy takim współczynniku praktycznie całość prac związanych z obsługą zgłoszeń realizowana jest automatycznie. Mniejsze udziały prac internetowych również są znacząco odczuwalne w codziennej pracy PODGIK. Statystykę we wszystkich ośrodkach objętych wdrożeniem technologii przedstawia rysunek 10.



Rys. 9. Ilustracja liczby zgłaszanych prac w poszczególnych miesiącach.



Rys. 10. Udział prac internetowych w ogólnej licznie zgłoszonych prac.



Rys. 11. Rozkład zgłoszonych prac na poszczególne godziny doby.

Oprócz usprawnienia pracy PODGIK, technologia jest przede wszystkim wygodna dla geodetów, o czym świadczy chociażby wykres rozkładu zgłoszonych dotychczas prac na poszczególne godziny dnia przedstawiony na rysunku 11.

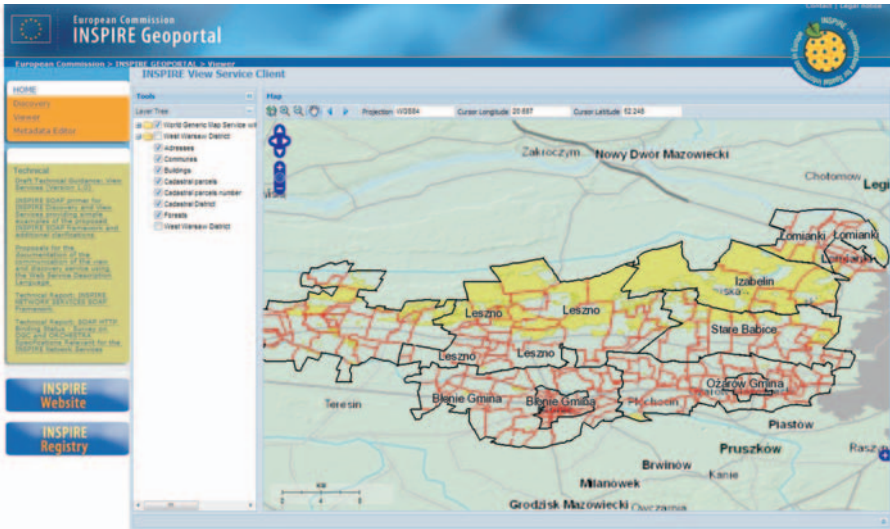
Analiza dotychczasowych danych wskazuje, że około 50% prac tzw. internetowych jest zgłaszanych poza godzinami pracy ośrodków dokumentacji.

5. WNIOSKI

Ze względu na dane zgromadzone w Powiatowych Ośrodkach Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej nie można pominąć ich w budowie Krajowej Infrastruktury Danych Przestrzennych. Uruchomione serwisy powiatowe (choć jest ich jeszcze mało) stanowią doskonały materiał doświadczalny i wzór do naśladowania. Doświadczenia zdobywane są również na forum europejskim, gdzie od kilku miesięcy dostępny jest serwis powiatu warszawskiego zachodniego.

Koncepcja geoportalu europejskiego wciąż jednak się zmienia i w chwili obecnej z całego serwisu widoczne są jedynie gminy, gdyż aktualne oprogramowanie nie pozwala na większe przybliżenia.

Przedstawione rozwiązanie związane z internetowym zgłaszaniem prac geodezyjnych spotyka się z pozytywnym odzewem w środowisku geodetów, dlatego że daje im dużą oszczędność czasu i pieniędzy wynikającą z ograniczenia wizyt w ośrodku dokumentacji oraz komfort ciągłego dostępu do danych ośrodka 7 dni w tygodniu 24 godziny na dobę. Ośrodki dokumentacji także korzystają na automatyzacji pracy, powodującej zmniejszenie obciążeń pracowników i infrastruktury, oraz wzrost prestiżu ośrodka. Niewątpliwym docenieniem działań firmy Geo-System Sp. z o.o. w zakresie publikacji danych i automatyzacji PODGiK jest fakt, że „Serwis iGeoMap powiatu warszawskiego zachodniego” uzyskał I miejsce w krajowej edycji konkursu eSDI-NET+ „The Best SDI Practice Award 2009” w dziedzinie „Innowacyjność”.



Rys. 12. Serwis powiatu warszawskiego zachodniego w geoportalu europejskim.

6. LITERATURA

Izdebski W., 2008a. Internetowe zgłaszanie prac geodezyjnych jako element usprawnienia funkcjonowania PODGiK. *Magazyn geoinformacyjny GEODETA*, czerwiec 2008, s. 42-44.

Izdebski W., 2008b. WMS – usługa z przyszłością. *Magazyn geoinformacyjny GEODETA*, grudzień 2008, s. 22-25.

THE ROLE OF DISTRICT CENTERS OF GEODETIC AND CARTOGRAPHIC DOCUMENTATION IN THE FUNCTIONING OF NATIONAL SPATIAL DATA

KEY WORDS: SDI, GIS, spatial data, WMS

SUMMARY: District Land Survey and Cartographic Information Centres form the basis for the operation of the National Land Information System. Pooled data from these centres is continuously updated as a result of land surveying and in future, this data will probably constitute the basis for the National Infrastructure of Spatial Information. However, in order for this to take place, it must be converted into digital format. In many districts, it still requires a substantial amount of work, but there are also those in which the data has already been converted to full digital character. In the paper the author draws attention to the use of the geoinformation technologies available not

only for the presentation of data on the Internet, but also to improve the process of expanding the resource. In particular this applies to automating the process of issuing materials, access to specialist information and functionality and automated integration of updated data into the resource.

dr inż. Waldemar Izdebski
izdebski@geo-system.com.pl
telefon: +48 22 8473580
fax: +48 22 8473580

* wersja kolorowa artykułu jest dostępna na stronie <http://www.sgp.geodezja.org.pl/ptfit>

**KONCEPCJA MODELU ANALIZ PRZESTRZENNYCH
DO IDENTYFIKACJI TERENÓW WYŁĄCZONYCH Z ZABUDOWY,
NA POTRZEBY STUDIÓW UWARUNKOWAŃ I KIERUNKÓW
ZAGOSPODAROWANIA PRZESTRZENNEGO GMIN MIEJSKICH**

**DESIGN OF A MODEL FOR SPATIAL ANALYSIS FOR USE IN IDENTIFYING
AREAS WHERE BUILDING DEVELOPMENT SHOULD BE PROHIBITED
OR FOR STUDIES OF SPATIAL PLANNING POLICIES
AND CONDITIONS AT LOCAL AUTHORITY LEVEL**

Joanna Jaroszewicz, Bożena Degórska

Katedra Gospodarki Przestrzennej i Nauk o Środowisku Przyrodniczym,
Wydział Geodezji i Kartografii, Politechnika Warszawska

SŁOWA KLUCZOWE: GIS, model analiz przestrzennych, planowanie przestrzenne, tereny wyłączone z zabudowy, tereny otwarte, Kraków

STRESZCZENIE: W artykule przedstawiono koncepcję modelu analiz przestrzennych, wspomagającego proces planowania przestrzennego w zakresie identyfikacji terenów wyłączonych z zabudowy. Koncepcja modelu została opracowana na podstawie kryteriów środowiskowych dla gmin miejskich oraz przypisanych im wag stopniujących konieczność wyłączenia lub ograniczenia zabudowy. Model może być wykorzystywany przy sporządzaniu studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego oraz opracowań ekofizjograficznych na poziomie gminy. Parametryzacja modelu umożliwia analizowanie różnych scenariuszy. Udostępnienie aplikacji opartych na sparametryzowanym modelu społecznościom lokalnym może zwiększać ich udział w procesie planowania przestrzennego. W artykule omówiono również problemy na jakie natrafiono przy weryfikacji modelu. Wskazano na konieczność zintegrowania danych o środowisku w gminie w systemach informacji przestrzennej przyjmując jako podstawę referencyjną bazę danych. W artykule zwrócono również uwagę na korzyści wynikające z wprowadzenie w szerszym zakresie zaawansowanych technik GIS do praktyki planowania przestrzennego.

1. WSTĘP

Jednym z bardziej deficytowych zasobów przyrodniczych w mieście jest przestrzeń otwarta, biologicznie czynna – decydująca w znacznym stopniu o jakości życia człowieka i funkcjonowaniu „ekosystemu miejskiego”. Wyznaczenie terenów wolnych od zabudowy pozwala na przeznaczenie ich dla celów ochrony wartości przyrodniczych i krajobrazowych, wzmocnienia funkcjonowania systemu przyrodniczego oraz tworzenia godziwych warunków zamieszkania i rekreacji w mieście. Wskazania do wyłączeń powinny być oparte na rzetelnej analizie uwarunkowań, a wyniki zobrazowane w sposób czytelny i łatwy w odbiorze. Właściwa wizualizacja wyników analiz ma duże znaczenie w procesie planowania przestrzennego oraz komunikacji społecznej w zakresie ustaleń dokumentów planistycznych, ponieważ zakaz lub ograniczanie zabudowy często znacznie ingeruje w prawo własności.

W literaturze brakuje opracowań poświęconych analizie danych przestrzennych, która prowadziłaby do wyznaczenia terenów wyłączonych z zabudowy. Istnieje jednak wiele publikacji poświęconych terenom zieleni miejskiej i zastosowaniu GIS w planowaniu, rozmieszczeniu i analizie zmian tych terenów. Można przytoczyć tu prace nad rolą parków miejskich w zrównoważonym rozwoju miasta (Chiesura, 2003), zastosowaniem GIS do oceny rozmieszczenia parków w mieście (Oh, Jeong, 2007) do badania czasowych zmian rozmieszczenia zieleni miejskiej i jej typu (Kong, Nakagoshi, 2005) czy wzbogacenia metod ankietyzacji postaw społecznych wobec terenów zieleni miejskiej (Balram, Dragicevic, 2004). W ostatnich latach coraz więcej uwagi poświęca się możliwościom wykorzystania narzędzi GIS do rozwiązywania konfliktów społecznych na styku właściciel/developer a ochroną środowiska, tworząc właściwe podstawy dla zrównoważonego rozwoju miasta. Do tego nurtu zaliczyć można prace poświęcone alternatywnym scenariuszom ochrony przyrody (Lathrop, Bognar, 1998), roli właściwej wizualizacji w partycypacji społecznej w planowaniu przestrzennym (Andrzejewska *et al.*, 2007; Duhr, 2007).

Numeryczne bazy danych przestrzennych, dane opisowe i analogowe dane kartograficzne gromadzone w biurach planowania przestrzennego i innych jednostkach, właściwie zorganizowane w system informacji geograficznej, pozwalają na opracowanie modelu analiz przestrzennych przydatnego do wytypowania terenów wyłączonych z zabudowy lub predysponowanych do jej ograniczenia. Szczególnego podejścia wymagają dwa zagadnienia. Pierwsze z nich związane jest z integracją danych przestrzennych, dotyczącą zarówno baz danych referencyjnych definiujących odniesienie przestrzenne badanych obiektów i zjawisk (Gotlib *et al.*, 2007), jak i tematycznych danych przestrzennych, w tym danych środowiskowych (Nałęcz, 2007). Drugie zagadnienie związane jest z zakresem i oceną kryteriów wyłączania terenów z zabudowy, z zastosowaniem podziału na tzw. kryteria „twarde” i kryteria „miękkie”.

Organizacja danych w systemie informacji geograficznej umożliwi opracowanie modelu pozwalającego uzyskać syntetyczne wyniki waloryzujące przestrzeń miasta względem kryteriów wskazujących tereny do wyłączenia z zabudowy oraz prześledzenie przenikania się zasięgów obszarów, na których występują zdefiniowane kryteria „miękkie” i „twarde”. Model ten nie może być zdefiniowany raz na zawsze, stanowi raczej

propozycję podejścia do zagadnienia. Różnice regionalne i lokalne wymuszają bowiem, znaczną elastyczność. Szczególnie istotne z punktu widzenia opracowania modelu jest: dokładne zdefiniowanie kryteriów, określenie odpowiednich wag dla kryteriów, opracowanie właściwego modelu waloryzacji przestrzeni oraz odpowiednia prezentacja wyników analizy umożliwiająca właściwy odbiór i zrozumienie proponowanych wyłączeń i ograniczeń zabudowy. Prawidłowa prezentacja jest tu rozumiana jako system map – od map analitycznych obrazujących poszczególne kryteria, po mapy syntetyczne – ukazujących wyniki analizy.

Opracowany model może stać się efektywnym narzędziem wspomagającym proces planowania przestrzennego w gminie. Do budowy i testowania modelu wykorzystano, między innymi dane przestrzenne o środowisku, udostępnione do badań naukowych przez Urząd Miasta Krakowa, a zgromadzone na potrzeby „Opracowania ekofizjograficznego do zmiany Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego Miasta Krakowa” (Degórska, 2009). Niniejszy model, mimo że skonstruowany na potrzeby ochrony środowiska, może być rozszerzany o inne kategorie obszarów i zastosowany dla innych miast, przy uwzględnieniu lokalnych uwarunkowań przestrzennych.

2. KRYTERIA POTENCJALNYCH WYŁĄCZEŃ I OGRANICZEŃ ZABUDOWY

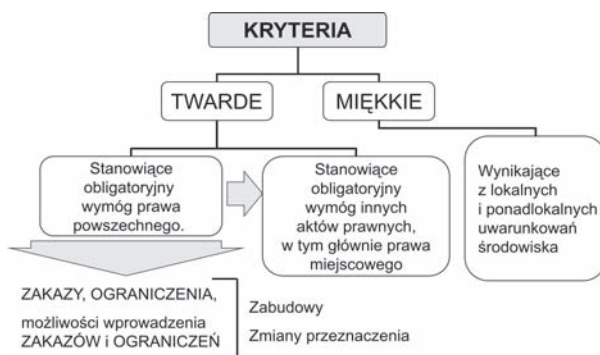
Opracowanie modelu i jego weryfikację poprzedziło wytypowanie kategorii terenów ważnych dla ochrony środowiska oraz nadanie im właściwych wag do identyfikacji potencjalnych wyłączeń i ograniczeń zabudowy. W nadawaniu wag uwzględniono różne kategorie obszarów istotne dla ochrony przyrody i funkcjonowania ekosystemów, ochrony przed zagrożeniami naturalnymi i antropogenicznymi, wymiany powietrza w mieście, eksploatacji surowców i wód oraz wynikające z potrzeb społecznych w zakresie zabezpieczenia przestrzeni rekreacyjnej.

Do określenia wag dla poszczególnych kategorii terenów według wskazań do wyłączenia lub ograniczenia zabudowy zastosowano podział obszarów według dwóch grup kryteriów, tj. kryteriów „twardych” i kryteriów „miękkich” (Rys. 1).

Kryteria „twarde” wynikają z uwarunkowań prawnych. Stanowią obligatoryjny wymóg prawa powszechnego, a zatem dotyczą wszystkich gmin w Polsce lub są wymogiem innych aktów prawnych, w tym głównie prawa miejscowego (np. plan ochrony rezerwatu przyrody). Wynikają, przede wszystkim, z Prawa ochrony środowiska (Dz. U. 2001, Nr 25, poz. 150 z późn. zm.), Ustawy o ochronie przyrody (Dz. U. 2004, Nr 92, poz. 880 z późn. zm.), Prawa wodnego (Dz. U. 2001, Nr 239, poz. 2019 z późn. zm.); Ustawy o ochronie gruntów rolnych i leśnych (Dz. U. 1995, Nr 16, poz. 78 z późn. zm.), Prawa geologicznego i górniczego (Dz. U. 2005, Nr 228, poz. 1947 z późn. zm.), Ustawy o lecznictwie uzdrowiskowym, uzdrowiskach i obszarach ochrony uzdrowiskowej oraz gminach uzdrowiskowych (Dz. U. 2005, nr 167, poz. 1399 z późn. zm.).

W grupie kryteriów „twardych” szczególną kategorię terenów stanowią obszary objęte zakazem zabudowy. Wskazanie w studiach uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gmin terenów wyłączonych z zabudowy ze względu na kryteria

prawne jest oczywiste. Należą do nich między innymi obszary bezpośredniego zagrożenia powodzią, tereny leżące w strefie 50 m od napowietrznej podstawy wału przeciwpowow-



Rys. 1. Schemat podziału kryteriów wyłączeń terenów spod zabudowy.

Tab. 1. Zestawienie wag dla przykładowych kategorii terenów Krakowa wskazanych do wyłączenia lub ograniczenia zabudowy wg kryteriów prawnych (tzw. „twardych”) w zakresie ochrony środowiska.

Kategorie obszarów	Wagi
Parki krajobrazowe z otuliną	
Tereny parków krajobrazowych poza dopuszczaną strefą zabudowy wg planu ochrony	100
Tereny parków krajobrazowych z dopuszczoną zabudową wg planu ochrony	5
Otulina parków krajobrazowych oraz obszar parków krajobrazowych z dopuszczeniem zabudowy	1
Obszary ochronne uzdrowiska Swoszowice	
strefa A	10
strefa B	5
strefa C	1
Strefy ochronne ujęć wód	
Teren ochrony bezpośredniej ujęcia wód podziemnych i powierzchniowych	100
Teren ochrony pośredniej ujęcia wód podziemnych	1
Teren ochrony pośredniej ujęcia wód powierzchniowych	10
Tereny ograniczonego użytkowania dla lotniska Kraków–Balice	
Strefa A	10
Strefa B	5
Strefa C	1
Tereny występowania zagrożenia powodzią	
Tereny bezpośredniego zagrożenia powodzią (tereny między wałami ochronnymi i leżące w strefie 50 m od napowietrznej podstawy wału przeciwpowodziowego)	100
Tereny potencjalnego zagrożenia powodzią	1

dziowego, tereny ochrony bezpośredniej ujęć wód powierzchniowych i podziemnych, rezerwy przyrody, użytki ekologiczne. Obszarom wskazanym w obowiązujących aktach do wyłączenia z zabudowy każdorazowo przypisano najwyższą wagę (100). W odniesieniu do terenów wskazanych do ograniczenia zabudowy na podstawie uwarunkowań prawnych przypisywano wagę 1 dla niewielkich ograniczeń zabudowy, 5 dla umiarkowanych oraz wagę 10 dla znacznych graniczeń (Tab. 1). Zróżnicowanie wielkości wag pomiędzy zakazem a ograniczeniami zabudowy ma za zadanie jednoznaczne wskazanie obszarów, dla których choć jedno kryterium wprowadza konieczność wyłączenia terenu z zabudowy.

Wobec coraz silniejszej presji urbanizacyjnej na tereny otwarte, wydaje się, że kryteria „twarde” nie są wystarczające dla zapewnienia: stabilnego funkcjonowania systemu przyrodniczego miast, w tym zabezpieczenia trwałego dostępu do terenów zieleni obecnym jak i przyszłym pokoleniom, dla kształtowania systemu regeneracji i wymiany powietrza, prawidłowego funkcjonowania systemu przyrodniczego (np. dla zachowania przebiegu korytarzy ekologicznych) oraz ochrony przed zagrożeniami.

Drugą grupę kryteriów stanowią, zatem, kryteria „miękkie”. Pozwalają one na przypisanie wag do terenów wyznaczonych na podstawie np. waloryzacji przestrzeni przyrodniczej czy innych opracowań tematycznych (Tab. 2).

Niezbędnym warunkiem wdrożenia modelu jest posiadanie przez gminę opracowań eksperckich, dotyczących głównie: waloryzacji środowiska biotycznego, w tym roślinności rzeczywistej, mapy korytarzy ekologicznych, mapy akustycznej, mapy systemu przewietrzania miasta, waloryzacji terenów otwartych dla potrzeb rekreacji i ochrony krajo-

Tab. 2. Zestawienie wag dla przykładowych kategorii terenów Krakowa wskazanych do wyłączenia lub ograniczenia zabudowy wg kryteriów „miękkich” w zakresie ochrony środowiska.

Kategorie obszarów	Wagi
Waloryzacja roślinności rzeczywistej (wg Dubiel, Szwaگرzyk (red.), 2008)	
Obszary o najwyższych walorach przyrodniczych	100
Obszary o wysokich walorach przyrodniczych	10
Obszary cenne pod względem przyrodniczym	5
Korytarze ekologiczne (wg Walasz, 2009)	
Osiowe pasma korytarzy ekologicznych	100
Pozostałe tereny wodnych korytarzy ekologicznych	5
Pozostałe tereny innych korytarzy ekologicznych	1
Korytarze ekologiczne pomiędzy obszarami Natura 2000 – pasma osiowe	100
Korytarze ekologiczne pomiędzy obszarami Natura 2000 – pasma uzupełniające	5
System przewietrzania miasta (wg Błażejczyk, 2009)	
Rynny splywu powietrza ze zboczy	10
Korytarze wymiany powietrza – pasma osiowe	100
Korytarze wymiany powietrza – pozostałe tereny w bezpośrednim sąsiedztwie pasm osiowych	5
Korytarze wymiany powietrza – pozostałe tereny	1
Główne obszary regeneracji powietrza poza rynnami splywu i korytarzami wymiany powietrza (lasy, parki, zieleńce, itp.)	10

brazu i innych opracowań w formie umożliwiającej zintegrowanie informacji w spójnej bazie danych GIS.

Określenie kryteriów wyłączenia terenów z zabudowy lub jej ograniczania, które znajdowałyby powszechne zastosowanie dla wszystkich gmin miejskich w Polsce jest praktycznie niemożliwe, w związku ze zróżnicowanymi warunkami fizycznogeograficznymi jak i uwarunkowaniami prawnymi, głównie w zakresie prawa lokalnego. W związku z tym kryteria muszą być przyjmowane w odniesieniu do danej jednostki terytorialnej. Przyjęta metoda bazuje na systemowym podejściu do określania terenów wyłączonych z zabudowy lub podlegających jej ograniczaniu. Podobne systemowe podejście, jakkolwiek na poziomie jakościowym, bez zastosowania modułowej parametryzacji, zastosowano do wyznaczenia Sieci Stabilności Ekologicznej Krakowa (Degórska, 2009).

3. KONCEPCJA MODELU ANALIZ PRZESTRZENNYCH

Koncepcja modelu została oparta na dwóch głównych założeniach: budowie modułowej i parametryzacji. Budowa modułowa umożliwiła podział modelu na podmodele zorganizowane tematycznie, np. podmodel ochrony przyrody, czy podmodel ochrony wód i ich ujęć. W podstawowym podziale każdy moduł odpowiada jednemu kryterium wyłączenia terenów z zabudowy lub ograniczenia zabudowy. Takie podejście umożliwia swobodną rozbudowę modelu w przyszłości i ułatwia pracę koncepcyjną, która może odbywać się w zespołach naukowych związanych z danym zagadnieniem badawczym. Parametryzacja modelu pozwala natomiast na proste i szybkie wprowadzanie zmian kluczowych ustawień modelu. Możliwość ta okazała się istotna już na etapie projektowania. Docelowo jednak, jest ona przeznaczona głównie dla użytkowników, pozwalając im tworzyć różne scenariusze i otrzymywać adekwatne wyniki analizy. Wprowadzono następujące parametry: 1) parametr generalizacyjny – określający wielkość komórki rastra w środowisku geoprzetwarzania modelu. Parametr ten określa szczegółowość prowadzonej w modelu analizy i jest zależny głównie od danych źródłowych; 2) parametr strefowy – określający wielkość buforów stref ochronnych wokół obszarów spełniających dane kryterium – przy czym sparаметryzowane zostały tylko te strefy buforowe, które wynikały z kryteriów „miękkich”; 3) parametr wagujący - określający wagi dla kryteriów miękkich, wprowadzony na etapie reklasyfikacji wartości rastrow.

Koncepcja modelu określa również etapy jego opracowania: 1) pozyskanie danych; 2) organizacja danych; 3) wstępne przetworzenie danych wektorowych; 4) przejście z modelu wektorowego na rastrowy (rasteryzacja); 5) przypisanie wartości wag (reklasyfikacja); 6) łączenie podmodeli (łączenie kryteriów) prowadzące do otrzymania końcowych wyników; 7) opracowanie prezentacji wyników.

3.1. Etap 1 - pozyskanie danych

Jednym z bardziej czasochłonnnych etapów opracowania modelu jest etap pozyskania danych. Jest to spowodowane znacznym ich rozproszeniem – przestrzennym i


pojęciowym. Obecnie, istotnym problemem jest zapewnienie pełnej integracji danych. W konsekwencji, wiele cennego czasu, który mógłby zostać przeznaczony na prace koncepcyjne, analityczne i konsultacje społeczne w planowaniu przestrzennym trwoniony jest na zebranie i doprowadzenie do „wspólnego mianownika” danych pochodzących z różnych źródeł. Dane są gromadzone, przechowywane i udostępniane przez wiele różnych instytucji: dyrekcje parków narodowych, krajobrazowych, regionalne dyrekcje ochrony środowiska, regionalny zarząd gospodarki wodnej i inne. Część danych zorganizowana jest w postaci baz danych przestrzennych, inne składają się z opisu i załączników graficznych. Przystąpienie do opracowania studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gminy może być bodźcem do integracji danych w jednym systemie informacji przestrzennej. Na potrzeby opracowania studium gromadzone są ogromne ilości różnorodnych danych przestrzennych. Niestety brak wytycznych dotyczących takiej organizacji ogranicza często wykorzystanie ich w przyszłości. Organizacja zgromadzonych danych w systemie informacji geograficznej ułatwiłaby prace analityczne, opracowanie prezentacji kartograficznej czy przyszłą aktualizację i opracowanie nowego planu. Pozwoliłaby również na śledzenie zmian zachodzących w czasie i przewidywanie prawdopodobnych scenariuszy rozwoju miasta na przyszłe lata. Istotne wydaje się wprowadzenie regulacji prawnych wymuszających w jakimś stopniu zmianę podejścia. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 28 kwietnia 2004 r. w sprawie zakresu projektu studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gminy (Dz. U. 2004 nr 118 poz. 1233) mówi o rysunku sporządzonym na kopii mapy topograficznej (w skali od 1:5 000 do 1:25 000). Takie podejście zapewnia jedynie zachowanie minimum odniesienia przestrzennego, nie precyzuje czy możliwe jest opracowanie studium w oparciu np. o topograficzną bazę danych (TBD). Natomiast Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie opracowań ekofizjograficznych (Dz. U. 2002 nr 155 poz. 1298) określa część kartograficzną już jako zbiór map analitycznych i syntetycznych. Przegląd części kartograficznych w opracowaniach ekofizjograficznych na poziomie gminy wykonany w 2008 roku w ramach własnych prac badawczych (Jaroszewicz, 2008) wskazuje, że w większości przypadków mapa syntetyczna rozumiana jest przez autorów opracowań jako proste nałożenie wszystkich zebranych warstw tematycznych skutkując brakiem czytelności.

Do opracowanej koncepcji modelu wykorzystano materiały zgromadzone na potrzeby opracowania zmian studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego miasta Krakowa w skali 1:25 000. Niestety jedynie część danych pozyskana została w postaci zorganizowanych baz danych. Pozostałe dane pochodziły z programów wspomagających projektowanie. Charakteryzowała się również bardzo różną szczegółowością. Na przykład obszary występowania złóż kopalin pozyskano w postaci punktów geodezyjnych załamania granic tych obszarów, dane o walorach przyrodniczych z bazy danych waloryzacji przyrodniczej o szczegółowości odpowiadającej mapie topograficznej w skali 1:10 000, informacje dotyczące systemu wymiany regeneracji powietrza z mapy w skali 1:25 000. Utrudniło to w znacznym stopniu prace nad modelem.

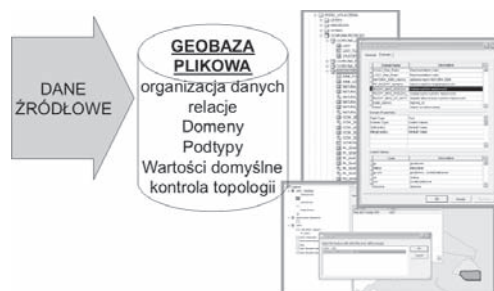
3.2. Etap 2 – organizacja danych

Dla każdego kryterium opracowano teoretycznie wymagane dane oraz podano ich źródła. Rysunek poniżej (Rys. 2) przedstawia przykłady niezbędnych danych dla założonych kryteriów. Poszczególne kryteria i związane z nimi dane zostały połączone w grupy tematyczne, np. kryteria związane z formami ochrony przyrody, z ochroną przed powodzią itd.

Na przykład w zestawie danych dotyczących klimatu zdefiniowane zostały klasy obiektów: korytarze wymiany powietrza (wielobok), granice ciągów nawietrzających (wielobok), rynnny spływu powietrza ze zbroczy (wielobok), zastoiska zimnego powietrza (wielobok), osie korytarzy, ciągów i rynien (linie), strefy regeneracji powietrza (wielobok). A w zestawie danych dotyczących zagrożeń zdefiniowano m.in.: ponadnormatywny hałas (wielobok), tereny skażenia gleb metalami ciężkimi (wielobok), strefy emanacji radonu (linie), obiekty stanowiące potencjalne źródło zanieczyszczeń (wielobok), potencjalni sprawcy poważnych awarii (poligon), obszary zagrożone powodzią (wielobok),

KRYTERIA PRAWNE	KRYTERIA „MIĘKKIE”
<p>WYŁĄCZENIA I OGRANICZENIA ZABUDOWY Z UWAGI NA USTANOWIENIE FORM OCHRONY PRZYRODY</p> <p>I. REZERWATY PRZYRODY > REZERWATY ISTNIEJĄCE</p> <p>ŹRÓDŁA DANYCH: AKT POWOŁUJĄCY PLAN OCHRONY</p> <p>DANE: 1. granice rezerwatu 2. typ rezerwatu: - ochrony ścisłej i czynnej - ochrony krajobrazowej</p> <p>OPCJE: Inne strefy wynikające z zapisów planu ochrony lub planu zadań ochronnych</p> <p>akt powołania rezerwatu obecnie zarządzanie regionalnego dyrektora ochrony środowiska</p> <p>Plan ochrony rezerwatu przyrody ustanowiony przez regionalnego dyrektora ochrony środowiska, w drodze aktu prawa miejscowego w formie zarządzenia</p> 	<p>WYŁĄCZENIA I OGRANICZENIA ZABUDOWY Z UWAGI NA UWARUNKOWANIA KLIMATYCZNE</p> <p>ELEMENTY SYSTEMU WYMIANY I REGENERACJI POWIETRZA</p> <p>ŹRÓDŁA DANYCH: SPECJALISTYCZNE OPRACOWANIE dla potrzeb opracowania ekofizjograficznego do zmiany studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego</p> <p>DANE: 1. granice korytarzy wymiany powietrza 2. granice ciągów nawietrzających 3. rynnny spływu powietrza ze zbroczy pełniące jednocześnie funkcje napowietrzające 4. pozostałe rynnny spływu powietrza ze zbroczy 5. zastoiska zimnego powietrza 6. osie korytarzy, ciągów i rynien</p> <p>zalecane wyłączenie z zabudowy środkowych pasm oraz znaczne ograniczenia w pozostałym obszarze</p>

Rys. 2. Przykłady organizacji danych dla potrzeb opracowania modelu.



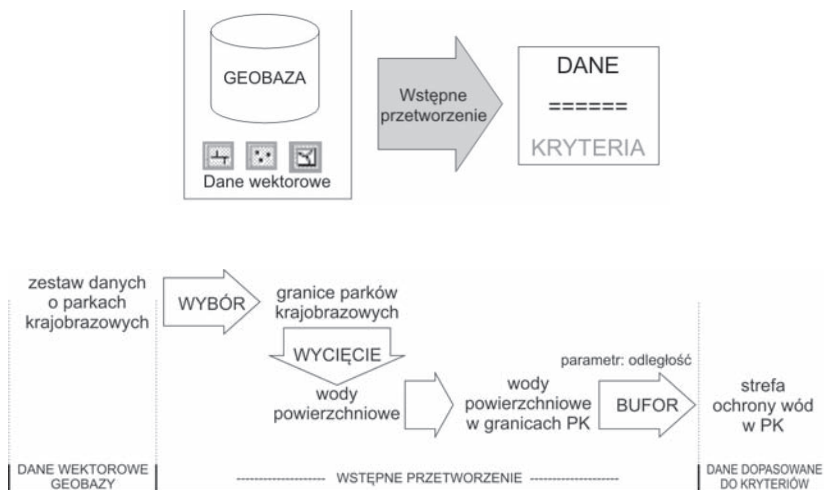
Rys. 3. Organizacja danych źródłowych w geobazie plikowej ArcGIS ESRI.

zagrożenia geodynamiczne (poligon), obszary o płytko zalegającej wodzie gruntowej (wielobok), linie transportu niebezpiecznych środków chemicznych (linie), i inne.

Dla każdej klasy obiektów zaprojektowane zostały atrybuty tabeli. Zdefiniowano również reguły geobazy (reguły organizacji danych, relacje i ich klasy, domeny, podtypy, wartości domyślne, reguły topologiczne) (Rys. 3).

3.3. Etap 3 – wstępne przetworzenie danych

Organizacja danych została zaplanowana w taki sposób, aby zbliżyć się do opracowanych kryteriów. Dane źródłowe musiały zostać wstępnie przetworzone, aby w pełni odzwierciedlały pojęciowo kryteria. Przykładowo, jednym z kryteriów była strefa ochronna od linii brzegu wód powierzchniowych w parkach krajobrazowych, w której przewidywano zakaz zabudowy (z pewnymi wyjątkami). Dane źródłowe wprowadzone do modelu zawierały m.in. klasę obiektów liniowych (np. rzeki i kanały) i klasę obiektów poligonowych (np. zbiorniki wodne). Otrzymanie klasy obiektów spełniających zadane kryterium wymagało wstępnego przetworzenia tych danych wektorowych. Konieczne było wycięcie wód powierzchniowych w granicach parków krajobrazowych, wyznaczenie buforów, a następnie ponowne przycięcie buforów do granic parku krajobrazowego. Przyjmując wymiar liniowy bufora równy 100 m otrzymano klasę obiektów poligonowych strefy ochronnej wód powierzchniowych w parkach krajobrazowych. Schemat tych działań ilustruje Rys. 4. Należy zaznaczyć, że analogiczne postępowanie mogłoby zostać zastosowane dla danych o szczegółowości odpowiadającej skali mapy zasadniczej i pochodzących z katastru wodnego.



Rys. 4. Schemat wstępnego przetworzenia danych wektorowych. Przykład dotyczy kryterium stref ochronnych dla wód powierzchniowych w parkach krajobrazowych.

3.4. Etap 4 - przejście z modelu wektorowego na rastrowy (rasteryzacja)

Klasy obiektów poligonowych otrzymano w wyniku wstępnego przetworzenia danych źródłowych. Rozbieżności między danymi, błędy topologiczne, różne dokładności i zniekształcenia wynikające z transformacji między układami uniemożliwiły opracowanie efektywnego narzędzia analiz wektorowych. Ponadto dla części branych pod uwagę obiektów lub zjawisk nie ma możliwości ścisłego wyznaczenia granic. Dotyczy to np. obszarów wymiany i regeneracji powietrza, korytarzy ekologicznych itd. W celu prostego zintegrowania danych postanowiono wprowadzić procedurę rasteryzacji przetwarzając klasy obiektów poligonowych w rastry. Wartości pikseli rastra stanowiły liczby całkowite pochodzące z pola atrybutów o nazwie roboczej typ_kod przewidzianego dla każdej klasy obiektów poligonowych. Dodatkowo konieczna okazała się zamiana wartości BrakDanych (NoData) na wartości zerowe. Wszystkie warstwy rastrowe miały określony dokładnie ten sam zasięg przestrzenny oraz wielkość komórki rastra. Wielkości te zostały sparametryzowane w modelu, dzięki czemu istnieje możliwość zmiany ich wartości w momencie uruchomienia modelu przez użytkownika.

Etap ten mógłby zostać w znacznym stopniu ograniczony, pod warunkiem możliwości pozyskania obiektów geometrycznych danych przestrzennych na wysokim poziomie dokładności. W przyszłości zapewnić to mogą referencyjne bazy danych.

3.5. Etap 5 – przypisanie wag (reklasyfikacja)

Jest to kluczowy etap dla prawidłowego funkcjonowania modelu. Reklasyfikacja wartości rastrowe powinna odzwierciedlać wagi poszczególnych kryteriów dla wyłączeń terenów spod zabudowy. Wartości wag dla kryteriów „miękkich” zostały sparametryzowane w modelu, przy czym możliwe wartości do wprowadzenia odpowiadają wartościom określonym w rozdziale 2.

3.6. Etap 6 - łączenie podmodeli (łączenie kryteriów) prowadzące do otrzymania końcowych wyników

Otrzymane zestawy danych rastrowych odzwierciedlają wagę poszczególnych kryteriów na konieczność wyłączenia terenów spod zabudowy lub jej ograniczenia. W etapie łączenia podmodeli wykorzystywano jednowynikową algebrę map ArcGIS. Zastosowano algebrę jednowynikową, gdyż może ona zostać wprowadzona do modelu tworzonego w Model Builder, aplikacji wykorzystanej do opracowania i archiwizacji modelu analiz przestrzennych. Na tym etapie sparametryzowane zostały dane wejściowe do algebry map. Jeżeli jakieś kryterium nie jest w danym momencie brane pod uwagę wprowadzany jest raster o wartościach zerowych, posiadający jednakowy zakres przestrzenny i wielkość piksela.

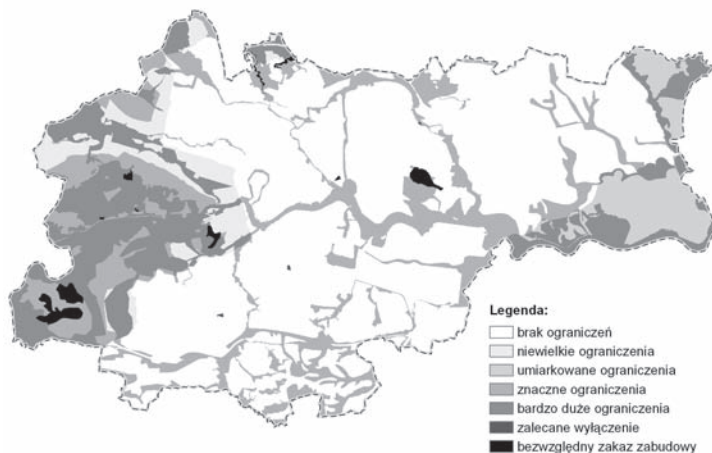
3.7. Etap 7 – opracowanie prezentacji wyników

Wynikiem analizy jest raster o wartościach pikseli odpowiadających sumie wag wprowadzonych do analizy kryteriów. Istnieje także możliwość wykonania analizy dla wybranych zestawów kryteriów, na przykład jedynie dla kryteriów wynikających z usta-

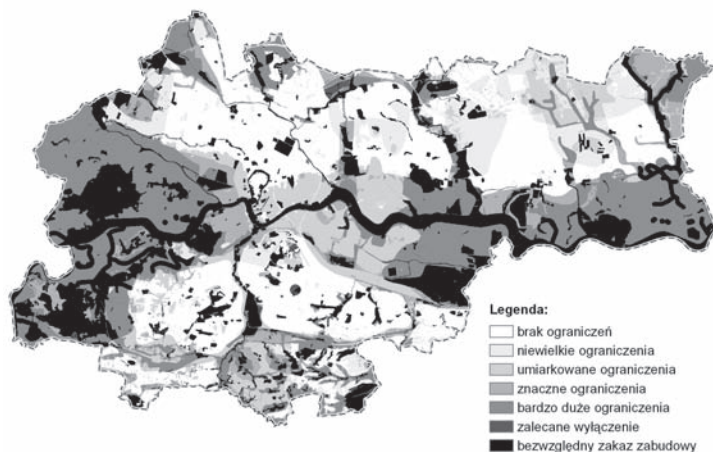
wy o ochronie przyrody i o zadanej szczegółowości (parametr wielkości piksela rastra). Otrzymany obraz rastrowy jest obrazem syntetycznym, ukazującym stopień konieczności podjęcia decyzji o wyłączeniu lub ograniczeniu zabudowy na danym obszarze. Jest również obrazem zgeneralizowanym (do wielkości piksela rastra). Prawidłowa prezentacja wyników wymaga odpowiedniej klasyfikacji otrzymanych sumarycznych wartości. Ideą tej klasyfikacji jest zasada, że dla każdego piksela rastra wynikowego klasa nie może być niższa niż najwyższa klasa z rastrów składowych. Przyjęto następującą klasyfikację:

- 0 – brak ograniczeń,
- 1 – niewielkie ograniczenia,
- 1-5 – umiarkowane ograniczenia,
- 5-10 – znaczne ograniczenia,
- 10-50 – bardzo duże ograniczenia,
- 50-99 – wyłączenia z zabudowy,
- 100 i powyżej – bezwzględny zakaz zabudowy (z wyjątkiem zabudowy o specjalnym przeznaczeniu).

Na rysunkach (Rys. 5 i Rys. 6) przedstawiono mapy syntetyczne prezentujące rezultaty analizy uzyskane za pomocą opracowanego modelu i pozyskanych danych źródłowych. Pierwsza z nich (Rys. 5) została opracowana dla kryteriów związanych z ochroną środowiska biotycznego, druga zaś (Rys. 6) dla wszystkich branych pod uwagę kryteriów w aktualnie opracowanym modelu związanym z kompleksową ochroną środowiska w Krakowie. Sumaryczne wartości wag zostały sklasyfikowane zgodnie z propozycją podaną wyżej.



Rys. 5. Mapa ograniczeń lub wyłączeń terenów z zabudowy wyznaczonych za pomocą modelu w zakresie ochrony środowiska biotycznego (dla zgromadzonych przykładowych danych).



Rys. 6. Mapa ograniczeń lub wyłączeń terenów z zabudowy wyznaczonych za pomocą modelu w zakresie kompleksowej ochrony środowiska (dla zgromadzonych przykładowych danych).

4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Model pozwala na analizę stopnia konieczności wprowadzenia ograniczeń i wyłączeń terenów spod zabudowy w sposób uogólniony – dostosowany do potrzeb studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gminy. Może być wykorzystany przy projektowaniu systemu terenów otwartych miasta. Może stać się również materiałem do dalszych analiz. Budowa modułowa pozwala na swobodną rozbudowę modelu o dodatkowe kryteria, które dotychczas nie były brane pod uwagę, na przykład o strefy ochrony konserwatorskiej i inne.

Model może być wykorzystywany zarówno do opracowania ekofizjograficznego (pozwalając na uzyskanie syntetycznych map) jak i do prac nad studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego ułatwiający proces decyzyjny. Może również zostać wykorzystany do opracowania alternatywnych scenariuszy (parametryzacja modelu) i ułatwić zwiększenie udziału społeczeństwa w procesie planowania przestrzennego na etapie konsultacji. W trakcie opracowywania modelu natrafiono na szereg trudności, najważniejsze z nich to: brak danych o środowisku pozwalających na analizę rozkładu przestrzennego zjawiska lub wyznaczenia granic obszaru (kilka punktów monitoringu w gminie), duże rozproszenie danych źródłowych, niska jakość geometryczna i topologiczna, brak integralności (np. różna szczegółowość danych, różne definicje obiektów, różna organizacja danych: zarówno w bazach danych przestrzennych jak i w postaci warstw w programach wspomagających projektowanie).

Praca nad modelem ujawniła również ogólniejszy problem. Istnieje pilna potrzeba zintegrowania danych o środowisku w gminie w systemach informacji przestrzennej w oparciu o referencyjną bazę danych oraz wprowadzenie w szerszym zakresie zaawansowanych technik GIS do praktyki planowania przestrzennego.

5. LITERATURA

Andrzejewska M., Baranowski M., Fiedziukiewicz K., Kowalska A., Matuszkiewicz J.M., Rusztecka M., Roo-Zielińska E., Solon J., 2007. O partycypacji społecznej w planowaniu przestrzennym – Zastosowania geowizualizacji w celu wzmocnienia udziału społecznego w planowaniu przestrzennym. http://www.gridw.pl/pspe/movies/O%20partycypacji_spoecznej.pdf

Balram Sh., Dragicevic S., 2005. Attitudes toward urban green spaces: integrating questionnaire survey and collaborative GIS techniques to improve attitude measurements. *Landscape and Urban Planning*, 71 (2005), s. 147-162.

Błażejczyk K., 2009. Możliwości poprawy warunków aerosanitarnych i klimatycznych – kształtowanie systemu przewietrzania i regeneracji powietrza. [w:] B. Degórska (red.) *Opracowanie ekofizjograficzne do zmiany Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego Miasta Krakowa* (manuskrypt).

Chiesura A., 2004. The role of urban parks for the sustainable city. *Landscape and Urban Planning*, 68 (2004), s. 129-138.

Degórska B., 2009. Sieć stabilności ekologicznej jako ważny czynnik zrównoważonego rozwoju dużego miasta na przykładzie Krakowa. [w:] Ochrona łączności ekologicznej w Polsce, W. Jędrzejewski, D. Ławreszuk (red.), *Wdrażanie koncepcji korytarzy ekologicznych w Polsce*, Zakład Badania Ssaków Polskiej Akademii Nauk, Białowieża, s. 162-170.

Degórska B. (red.), 2009. *Opracowanie ekofizjograficzne do zmiany Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego Miasta Krakowa*. Urząd Miasta Krakowa, (manuskrypt).

Dubiel E., Szwagrzyk J. (red.) 2008, *Atlas roślinności rzeczywistej Krakowa*. Urząd Miasta Krakowa, Kraków.

Duhr S., 2007. *The visual language of spatial planning: exploring cartographic representations for spatial planning in Europe*. London; New York: Routledge, cop.

Gotlib D., Iwaniak A., Olszewski R., 2007. Harmonizacja baz danych referencyjnych – niezbędny krok ku budowie krajowej infrastruktury danych przestrzennych. *Roczniki Geomatyki*, t. V (z.1), s. 35-38.

Jaroszewicz J., 2008. Koncepcja systemu znaków dla prezentacji kartograficznych w opracowaniach ekofizjograficznych obszarów metropolii. Prace badawcze własne w ramach grantu dziekański (manuskrypt).

Kong F., Nakagoshi N., 2006. Spatial-temporal gradient analysis of urban green spacer in Jinan, China. *Landscape and Urban Planning*, 78, s. 147-164.

Lathrop R. G., Bognar J. A., 1998. Applying GIS and Landscape ecological principles to evaluate land conservation alternatives. *Landscape and Urban Planning*, 41, s. 27-41.

Nałęcz T., 2007. Integracja danych przestrzennych o środowisku naturalnym – wyzwanie dla instytucji z branży ochrony środowiska? *Roczniki Geomatyki*, t. V (z.1), s. 81-89.

Oh K., Jeong S., 2007. Assessing the spatial distribution of urban parks using GIS. *Landscape and Urban Planning*, 82, s. 25-32.

Walaśz K., 2009. Identyfikacja terenów o wysokich walorach przyrodniczych, z uwagi na ochronę fauny i jej siedlisk. [w:] B. Degórska (red.) Opracowanie ekofizjograficzne do zmiany Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego Miasta Krakowa (manuskrypt).

**DESIGN OF A MODEL FOR SPATIAL ANALYSIS FOR USE IN IDENTIFYING
AREAS WHERE BUILDING DEVELOPMENT SHOULD BE PROHIBITED
OR FOR STUDIES OF SPATIAL PLANNING POLICIES
AND CONDITIONS AT LOCAL AUTHORITY LEVEL**

KEY WORDS: GIS, spatial analysis model, spatial planning, areas excluded from building development, urban open space, Cracow

SUMMARY: The article presents a concept for a model of spatial analysis which supports the spatial planning of urban municipalities in terms of identification of those areas excluded from building development. This model was based on predetermined environmental criteria for urban municipalities to which numerical values are attached. This may be helpful for spatial planning at a local level. The definition of these parameters permits the analysis of various scenarios. Models may also include another criterion in terms of areas where building development is not to be permitted. Making the present model easily accessible to local communities may enhance their participation in the spatial planning process. This article also presents the difficulties encountered during the verification of the model. The study puts the stress on the necessity of integrating environmental data into the geographic information systems based on the reference database. Every single Polish commune should have such a database. Another issue given special consideration therein is the advantage conferred in the short term by the greater use of advanced methods of GIS in spatial planning.

dr inż. Joanna Jaroszewicz
j.jaroszewicz@gik.pw.edu.pl
telefon: +48 22 2347142

dr Bożena Degórska
bodego@op.pl
telefon: +48 22 2345587

CITYGML W ŚWIETLE INTEROPERACYJNOŚCI TRÓJWYMIAROWYCH DANYCH GEOPRZESTRZENNYCH*

CITYGML IN THE INTEROPERABILITY OF 3D GEODATA

Renata Jędrzycka

Katedra Fotogrametrii i Teledetekcji, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

SŁOWA KLUCZOWE: CityGML, KML, inteoperacyjność geodanych, wolne oprogramowanie

STRESZCZENIE: Znaczący wzrost liczby różnych technik pozyskiwania i przetwarzania danych geoprzestrzennych dotyczący zarówno sprzętu jak i metod cyfrowych, a także form ich udostępniania, wymusza stworzenie standardów międzynarodowych do zapisu, wymiany i wizualizacji tych danych. W odpowiedzi na to zapotrzebowanie powstał między innymi język CityGML, ogłoszony przez OGC (*The Open Geospatial Consortium*), jako standard do reprezentacji, magazynowania i wymiany trójwymiarowych modeli wirtualnych miast, a także modeli terenu. Natomiast język KML konsorcjum OGC uznało za standard, nie tylko do tworzenia dwuwymiarowych internetowych map, ale także dla trójwymiarowych geo-przeglądarek (ang. *earth-browsers*). W artykule pokazano CityGML na tle innych formatów dotyczących trójwymiarowych obiektów budowlanych oraz porównano języki CityGML oraz KML. Zawarto również przegląd wolnego oprogramowania do pracy z CityGML, które wspiera OGC. Przedstawiono ponadto aplikację, napisaną w języku Java, do automatycznej konwersji obiektów geometrycznych zapisanych w CityGML do obiektów, które można zamieszczać w języku KML.

1. CITYGML A INNE JĘZYKI I FORMATY

Powszechna globalizacja to jeden z czynników wymuszający wymianę informacji oraz współdziałanie we wszystkich dziedzinach nauki i techniki współczesnego świata. Rozwój zaś Internetu sprawia, że jest to dzisiaj powszechna forma komunikacji, a usługa WWW, jest tą z której w sieci korzystają dzisiaj wszyscy. Pomyślana została jako sposób sięgania do zasobów zgromadzonych na komputerach o różnej konfiguracji zarówno sprzętowej jak i programowej. Dane, na początku tylko tekstowe, dzisiaj również obrazowe, czy dźwiękowe, mogą być rozproszone po całym świecie i udostępniane również w czasie rzeczywistym.

W odpowiedzi na tak zmieniający się rynek informatyczny, oraz by sprostać zadaniom interoperacyjności, powstał meta język XML, a na jego bazie wiele specjalistycznych języków. W grupie pochodnych XML znajduje się także język GML (ang. *Geography Markup Language*), którego wersja 3 stała się bazą dla języka CityGML. Oba te języki są rekomendowane przez OGC (*The Open Geospatial Consortium*) jako standardy dla danych geoprzestrzennych, przy czym GML jest językiem wzorcowym dla systemów geograficznych i otwartym formatem wymiany danych geograficznych poprzez Internet, natomiast CityGML standardem przedstawiania, magazynowania i wymiany trójwymiarowych modeli wirtualnych miast i terenu.

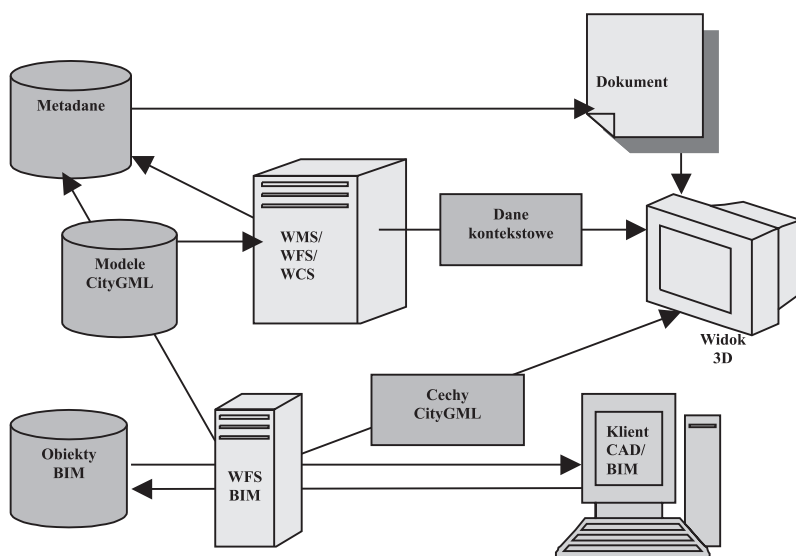
W grupie języków tzw. xml-owych znajduje się również język KML, stworzony przez Google, który w wersji 2.2 uznany został przez OGC jako internetowy standard wizualizacji map 2D i tzw. geo-przeglądarek 3D powierzchni Ziemi (ang. *earth browsers*).

CityGML powstał w odpowiedzi na potrzebę stworzenia standardu, który dla modeli 3D zawiera ich cechy geometryczne, topologiczne, semantyczne, ale także dotyczące ich wyglądu. Nie jest on jednak jedynym formatem semantycznym modeli 3D znajdującym się w użyciu.

Już w końcu lat 80-tych ubiegłego wieku pojawiło się określenie *Building Information Modelling* (BIM), które odnosiło się do koncepcji budowy modeli wirtualnych, jaką przedstawiono w programie ArchiCAD węgierskiej firmy Graphisoft. Z czasem przyjęto BIM jako wspólną nazwę procesu budowy semantycznych modeli cyfrowych i ich przekształcania w obszarze AEC/FM (ang. *Architecture, Engineering and Construction/Facilities Management*) oraz CAD (ang. *Computer Aided Design*). Obiekty w BIM opisywane są w trzech wymiarach, wraz ze swoimi cechami takimi jak np. rodzaj materiału budowlanego, ponadto uwzględniane są ich wzajemne powiązania. Do wymiany danych używa się natomiast klas standardu IFC (ang. *Industry Foundation Classes*).

IFC, posiadający certyfikat ISO, wprowadzony został w 1995 roku przez IAI (ang. *International Alliance for Interoperability*), (IFC, 2009; IAI, 2009). Dopiero dwa lata później pojawiła się pierwsza wersja języka XML, stąd pierwsze modele BIM/IFC były zapisywane w formie zwykłych plików tekstowe, gdyż tylko w ten sposób była możliwa ich dystrybucja i wymiana między różnymi systemami czy programami. Modele IFC zostały zaadaptowane przez większość programów typu CAD, jak np. firmy Autodesk. Obecnie istnieje również specyfikacja IFC nawiązująca do notacji XML pod nazwą ifcXML. IFC posiada klasy odpowiadające budynkom, brak natomiast osobnych klas dla elementów topografii takich jak np. teren, wody itp. (IFC, 2009). Można je opisać tylko poprzez ogólną klasę IFC_Proxy. Podobnie jak w GML, budynki to obiekty posiadające swoją geometrię (własności przestrzenne) jak i własności semantyczne. Modele geometryczne budowane są w IFC korzystając z różnych metod np. z: CSG (ang. *Constructive Solid Geometry*), czy bogatszej w operacje na zbiorach metody B-rep (ang. *boundary representation*). Nie jest jednak możliwa lokalizacja geograficzna obiektów, gdyż w IFC brak nawiązania do powszechnie obowiązujących układów odniesienia CRS (ang. *Coordinate Reference Systems*).

Obiekty IFC mogą być transformowane do obiektów CityGML (Isikdag, Zlatanova, 2009). Przykładowo możliwość taką posiada program IfcExplorer, który powstał w *Institute for Applied Computer Science* w Karlsruhe (IfcExplorer, 2009). Jednak jak na razie zadowalające testy przeprowadzono jedynie dla poziomów LOD1 i LOD2.



Rys. 1. Metadane, modele i wizualizacja w świetle OGC.

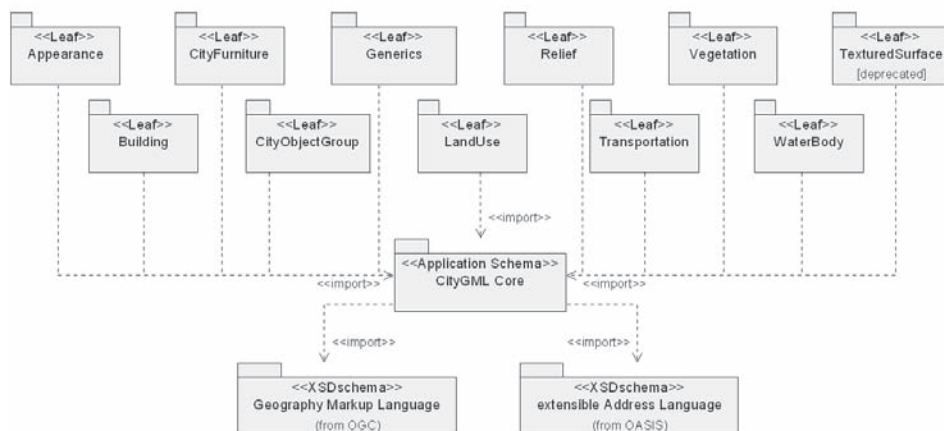
(Źródło: Döllner, 2008)

Na rysunku 1 przedstawiono wzajemne powiązania między BIM/CAD oraz CityGML w nawiązaniu do serwisów OGC (Döllner, 2008).

Obiekty zapisane zarówno w CityGML, jak i w IFC, można wizualizować posługując się standardami grafiki takimi jak X3D/VRML czy COLLADA (Kolbe *et al.*, 2009). Do grupy języków umożliwiających prezentację graficzną geodanych można także zaliczyć język KML, który posiada zarówno odpowiednie znaczniki umożliwiające umieszczanie obiektów geometrycznych na ekranie jak i mechanizmy pozwalające wstawiać w swój kod pliki w formacie COLLADA. W obu językach, X3D i KML, można stosować orientację geograficzną obiektów.

1.1. Modułowa budowa języka CityGML

W literaturze można znaleźć wiele opracowań dotyczących języka CityGML, ale bazą dla nich wszystkich jest obecnie specyfikacja jego oficjalnej wersji 1.0.0 z roku 2008 (Standard CityGML, 2008). Warto przy tym zwrócić uwagę na to, że język ten posiada budowę modułową. Oprócz modułów podstawowych (ang. *core module*) zawiera on 11 modułów tematycznych (ang. *extension modules*): *Appearance*, *Building*, *CityFurniture*, *CityObjectGroup*, *Generics*, *LandUse*, *Relief*, *Transportation*, *Vegetation*, *Water-Body*, *TexturedSurface* [deprecated]. Ostatni z nich nawiązuje do standardu X3D



Rys. 2. Diagram pakietów UML ilustrujący moduły CityGML.

(Źródło: Standard CityGML, 2008)

Tab. 1. Poziomy szczegółowości LOD w CityGML.

Kategorie obszarów	Wagi
Parki krajobrazowe z otuliną	
Tereny parków krajobrazowych poza dopuszczaną strefą zabudowy wg planu ochrony	100
Tereny parków krajobrazowych z dopuszczoną zabudową wg planu ochrony	5
Otulina parków krajobrazowych oraz obszar parków krajobrazowych z dopuszczeniem zabudowy	1
Obszary ochronne uzdrowiska Swoszowice	
strefa A	10
strefa B	5
strefa C	1
Strefy ochronne ujęć wód	
Teren ochrony bezpośredniej ujęcia wód podziemnych i powierzchniowych	100
Teren ochrony pośredniej ujęcia wód podziemnych	1
Teren ochrony pośredniej ujęcia wód powierzchniowych	10
Tereny ograniczonego użytkowania dla lotniska Kraków–Balice	
Strefa A	10
Strefa B	5
Strefa C	1
Tereny występowania zagrożenia powodzią	
Tereny bezpośredniego zagrożenia powodzią (tereny między wałami ochronnymi i leżące w strefie 50 m od napowietrznej podstawy wału przeciwpowodziowego)	100
Tereny potencjalnego zagrożenia powodzią	1

(Źródło: Standard CityGML, 2008)

i włączono go ze względu na modele CityGML z wcześniejszej wersji języka. Takie podejście pozwala tworzyć dowolne kombinacje modułów tematycznych, w powiązaniu z modułami głównymi, zwane profilami CityGML.

Na diagramie zamieszczonym na rysunku 2 zilustrowano wzajemne powiązania między modułami, przy czym wszystkie one bazują na schemacie języka GML 3.1.1.

Podstawową cechą CityGML jest także to, iż każdy obiekt może być reprezentowany jednocześnie na różnych stopniach szczegółowości tzw. LOD (ang. *Levels of Detail*). Język ten zawiera 5 poziomów, które wymagają danych w trzech wymiarach o różnym stopniu dokładności, których zakresy zawiera tabela 1.

Jedną z idei powstania CityGML było także pokazanie, że budując modele wirtualnych miast można łączyć dane pozyskane z różnych źródeł (Stadler *et al.*, 2009). Analizując parametry zawarte w tabeli 1 widać, że metody fotogrametryczne pozyskiwania danych w pełni zaspokajają zamieszczone tam wymagania, a zatem mogą one być wykorzystane przy zasilaniu bazy modeli opisanych językiem CityGML. Obecnie dane z lotniczych skanerów laserowych czy zdjęć, po niezbędnych przekształceniach stanowią podstawowe źródło danych 2D i 3D przy określaniu cech geometrycznych modeli.

1.2. KML i CityGML

Oba języki, zarówno CityGML jak i KML, zostały rekomendowane przez OGC do pracy z geodanymi, ale ich przeznaczenie jest różne. Posiadają jednak wiele zbieżnych cech jak przede wszystkim obiekty geometryczne, takich jak np. punkty (*points*) czy wieloboki (*polygons*), które pozwalają opisać te same cechy geometryczne obiektów. Przykładowo, na rysunku 3, zamieszczono fragmenty plików w obu tych językach dotyczące zapisu wieloboku, gdzie odpowiadające sobie znaczniki wytłuszczono. Wybrano znacznik *Poligon*, gdyż służy on do zapisu np. ścian czy połączeń dachów modeli budynków.

Języki te różnią się natomiast przede wszystkim możliwością zapisu cech semantycznych obiektów - w odróżnieniu od CityGML język KML w ogóle ich nie uwzględnia. Stopień złożoności CityGML jest też większy i dodatkowo zawiera on moduł do szczegółowego opisu wyglądu obiektów, a także ich topologii, co jest niedostępne w KML. Wszystkie relacje wzajemne między topologią przestrzeni, a przestrzennymi obiektami geometrycznymi, oparte są w CityGML na koncepcji *XLink*, np. obiekt *Poligon*: `<gml:Polygon gml:id="wallSurface4711">` i nawiązanie do niego w obiekcie *surfaceMember*: `<gml:surfaceMember xlink:href="#wallSurface4711"/>` przez *link:ref*.

Mimo, że dane w KML nie są zorganizowane zgodnie z GML, to jednak na poziomie geometrycznym nawiązuje on do koncepcji języka GML 2.1.2 z ustalonym z góry układem przestrzennym - KML używa globalnego układu odniesienia WGS84. Natomiast obiekty w CityGML mogą być zapisane, albo w układzie globalnym, albo we własnym układzie lokalnym, a następnie transformowane do układu globalnego (znana macierz transformacji oraz punkt nawiązania do układu przestrzennego CRS).

Ponadto, ponieważ CityGML bazuje na GML 3.0, można łączyć go bez problemu ze wszystkimi standardami OGC takimi jak np. Web Feature Service (WFS), Web Coordinate Transformation Service (WCTS), czy Web Processing Service (WPS) w celu pozyskania, przetworzenia czy zidentyfikowania jego zasobów (Altmaier, Kolbe, 2009).

<pre> W CityGML: <gml:Polygon> <gml:exterior> <gml:LinearRing> <gml:posList srsDimension="3"> </gml:posList> </gml:LinearRing> </gml:exterior> </gml:Polygon> </pre>	<pre> W KML: <Polygon > <outerBoundaryIs> <LinearRing> <coordinates> </coordinates> </LinearRing> </outerBoundaryIs> </Polygon> </pre>
--	--

Rys. 3. Odpowiadające sobie elementy w językach CityGML i KML - fragmenty kodów.

2. CITYGML I WOLNE OPROGRAMOWANIE

2.1. Projekty wspierane przez OGC

Język CityGML przeznaczony jest do użytku ogólnego i bezpłatnego. Powstało także różne oprogramowanie, które umożliwia, bądź ułatwia, pracę z modelami stworzonymi w CityGML, a z którego można korzystać na zasadach tzw. wolnego oprogramowania. Niektóre projekty wspierane są przez OGC i można z nich czerpać pisząc własne aplikacje. W świecie współczesnym zdominowanym przez Internet, większe znaczenie mają aplikacje działające w środowisku rozproszonym, a najczęściej spotykanym językiem programowania jest język Java. Właśnie w nim jest najwięcej materiałów takich jak np. biblioteki, pakiety narzędziowe itp.

Poniżej wskazano na projekty, które udostępniają oprogramowanie na zasadach licencji LPGL (*GNU Lesser Public License*). Licencja tego typu umożliwia łączenie kodu źródłowego z oprogramowaniem nie necessarily wolnym. Ponadto istotą LPGL w wersji trzeciej jest możliwość przekształcania fragmentów kodu z LPGL na GPL, dzięki czemu można tworzyć nowe wersje kodu, który jednak nigdy nie będzie mógł być rozpowszechniany jako oprogramowanie własnościowe.

W Berlinie w Instytucie Technicznym na Wydziale Geodezji i Geoinformacji powstało oprogramowanie, które pozwala zarządzać modelami CityGML (Berlin, 2009). Jest to oprogramowanie na bazie licencji LGPL w wersji 3, a zawiera ono:

- schemat bazy 3D (*3DCityDBv2*) dla Oracle 10G R2 lub 11G,
- narzędzia do bazy (*3DCityDBv2 Import/Export Tool*),
- bibliotekę klas Javy oraz API (*citygml4j*) do pracy z CityGML.

Biblioteka klas Javy, o nazwie *citygml4j* (Berlin, 2009), zawiera między innymi kod ułatwiający pracę z obiektami CityGML przy tworzeniu własnego oprogramowania, gdyż wiąże on schemat *XML Schema*, definiujący CityGML, z modelem obiektywnym Javy. Wykorzystano przy tym bibliotekę Javy o nazwie JAXB (ang. *Java Architecture for XML Binding*), która jest obecnie częścią Java SE 1.6. Biblioteka obsługuje dwie wersje CityGML 1.0.0 oraz 0.4.0, oraz wspiera konwersję między nimi.

Godny polecenia jest także projekt o nazwie *deegree* (Deegree, 2009), organizacji OSGeo (*Open Source Geospatial Foundation*), która jest organizacją typu “non-profit” (dobrowolne, trwale i samorządne zrzeszenie o celach niezarobkowych). Powołano ją, aby wspierać oraz tworzyć otwarte oprogramowanie GIS. W budowie tego projektu bierze udział wielu uczestników, przy czym za koordynację projektu odpowiedzialni są przedsiębiorstwo lat/lon (lat/lon, 2009) oraz *GIS Research Group* na Wydziale Geografii Uniwersytetu w Bonn.

Deegree jest to Java Framework (biblioteki kodu źródłowego) oferujący szereg bloków do budowy infrastruktury geodanych stworzonych zgodnie ze standardami OGC.

Oprogramowanie *deegree* dzieli się na dwie grupy:

- 1) *deegree* OGC Web Services – strona serwera:
 - *deegree* Web Map Service (WMS),
 - *deegree* Web Feature Service (WFS),
 - *deegree* Web Coverage Service (WCS),
 - *deegree* Catalogue Service (CSW),
 - *deegree* Web Terrain Service (WTS) / *deegree* Web Perspective View Service (WPVS), *deegree* Web Processing Service (WPS),
- 2) *deegree* - strona klienta:
 - *deegree* iGeoPortal (standard edition).

Z niektórych klas biblioteki *deegree Web Feature Service* skorzystano pisząc własną aplikację.

2.2. Aplikacja w języku Java

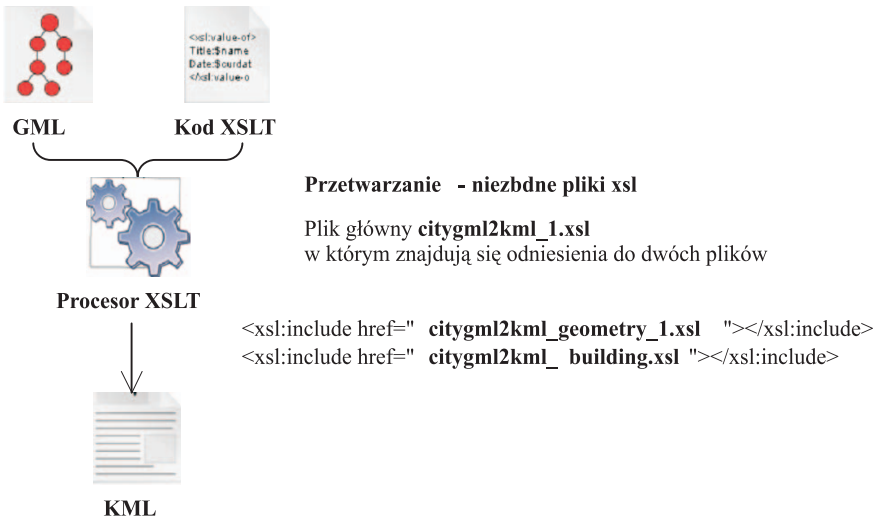
Modele zapisane w formacie języka CityGML mogą być wizualizowane jedynie za pomocą przeglądarek specjalnie do tego przystosowanych takich jak np. darmowy Aristoteles Viever, który powstał w Instytucie Geodezji i Geoinformacji w Bonn (Aristoteles, 2009) i wymaga dodatkowo zainstalowania oprogramowania Java 1.5 i Java 3D, czy komercyjny LandXplorer firmy Autodesk (LandXplorer, 2009).

Natomiast w przypadku wizualizacji modeli, w przeglądarkach obsługujących format KML (głównie chodzi tu o Google Earth), a zapisanych w formacie CityGML, należy trzeba przekształcać je do innych formatów przez nie akceptowanych.

W tym celu napisano przykładową aplikację w języku Java do automatycznej transformacji pliku zapisanego w formacie CityGML (rozszerzenie .gml) do formatu języka KML (rozszerzenie .kml). Korzystano przy tym z darmowego środowiska platformy Eclipse. Nie zastosowano jednak formatu COLLADA, do zapisu modelu geometrycznego, ponieważ zdecydowano się na wykorzystanie odpowiadających sobie znaczników obu języków. Oba języki bazują na XML zatem zastosowano transformację XSLT, której schemat ideowy przedstawia rysunek 4.

W aplikacji użyto niektórych klasy pochodzących z dwóch pakietów projektu *deegree*, a odnoszących się do dokumentów XML i przekształceń XSLT, a mianowicie:

- org.deegree.framework.xml.XMLFragment oraz
- org.deegree.framework.xml.XSLTDocument.



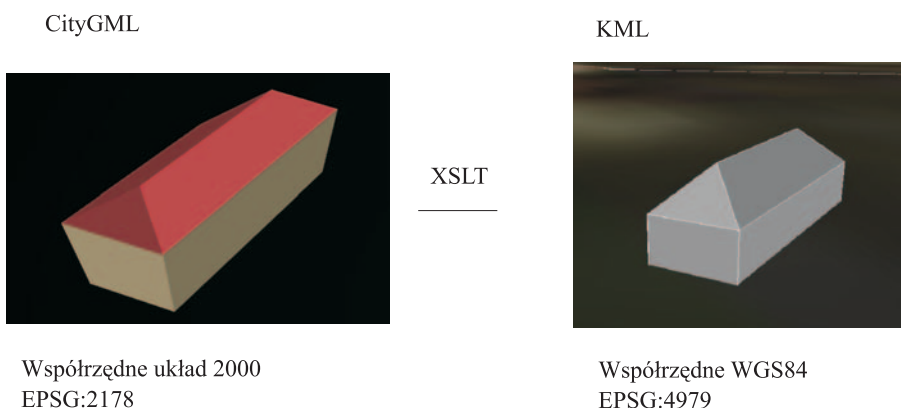
Rys. 4. Przekształcenie XSLT: z GML do KML.

Plikiem głównym dla przekształcenia XSLT jest w aplikacji plik o nazwie `citygml2kml_1.xsl`, będący modernizacją pliku udostępnianego w projekcie *deegree*.

Do testów wykorzystano prosty model budynku w formacie CityGML na poziomie LOD2. Ponieważ modele mogą być zapisane w dowolnym lokalnym układzie współrzędnych zastosowano układ 2000. Aplikacja przekształca automatycznie współrzędne punktów modelu do układu WGS84, obowiązującego w Google Earth. Wykorzystuje się przy tym bazę danych stworzoną przez EPSG (ang. *European Petroleum Survey Group*) (EPSG, 2009). Poniżej, we fragmencie kodu źródłowego z pliku `citygml2kml_geometry_1.xsl`, pokazano znaczniki zawierające odwołania do odpowiednich zbiorów, przy czym kod dla zbioru wejściowego (SRCCRS) jest parametrem aplikacji.

```
<xsl:param name="SRCCRS"><xsl:value-of select="//@srsName" /></xsl:param>
<xsl:param name="TARGETCRS">EPSG:4979</xsl:param>
<LinearRing>
<coordinates xmlns:java="java" xmlns:geometryutil="org.deegree.framework.xml.GeometryUtils">
<xsl:value-of select="geometryutil:getPolygonInnerRing( .. , position(), $SRCCRS, $TARGETCRS )" /></xsl:value-of>
</coordinates>
</LinearRing>
```

W aplikacji uwzględniono jedynie transformację cech geometrycznych modeli. Na rysunku 5 zamieszczono wizualizacje tego samego modelu przed i po transformacji, wyświetlonego odpowiednio w aplikacji LandXplorer firmy Autodesk i w GoogleEarth.



Rys. 5. Wizualizacje modelu budynku w formacie CityGML i po przekształceniu w KML.

Kolory dachu i ścian nie podlegały rozważaniom i zostały one przydzielone z domniemania przez aplikacje wizualizujące, a różnice w wyglądzie wynikają także z różnego położenia obserwatora względem obiektu (nie uwzględniono parametrów perspektywy widoku: współrzędnych położenia obserwatora, kąta widzenia, odległości od obiektu).

3. PODSUMOWANIE

Obecnie CityGML jest już wspierany przez wiele aplikacji i systemów GIS. Złożone produkty geodanych jakimi są modele 3D miast wymagają odpowiedniego formatu, aby proces zapisu, udostępniania i wizualizacji był sprawny i wymagał jak najmniej pracy. City GML spełnia pod tym względem współczesne wymagania interoperacyjności. Ponieważ jest tzw. językiem xml-owym, może podlegać transformacjom typu XSLT. Zapewnia to potencjalne wykorzystanie go w każdym oprogramowaniu, które zawiera obsługę plików XML.

Na razie nie ma co liczyć na powstanie uniwersalnego formatu dla trójwymiarowej grafiki komputerowej. Najczęściej używane są obecnie standardy takie jak X3D/VRML, COLLADA czy służący do geowizualizacji język KML. Ze wszystkimi tymi formatami CityGML jest kompatybilny, tzn. da się w sposób stosunkowo prosty przenieść do nich modele CityGML. W niniejszym artykule wskazano jedynie na jedną z możliwości, mianowicie transformację cech geometrycznych obiektów do języka KML.

4. LITERATURA

Altmaier A., Kolbe, T., 2009. Applications and Solutions for Interoperable 3d Geo-Visualization. *3D Geo-Information Sciences*, Springer, Lecture Notes in Geoinformation and Cartography, s.253-267.

Deegree. 2009: <http://www.deegree.org>

Döllner J., 2008. 3D Geoinformation and 3D Geovirtual Worlds, *CEN/TC 287 Interoperability Workshop*, Berlin April 23.

Encoding Standard, ver.1.0.0, Gröger E., Kolbe T., Czerwinski A., Nagel C. (red.) <http://www.opengeospatial.org/standards/citygml>

EPSG. 2009: <http://www.epsg.org>

EPSG. 2009: <http://www.epsg-registry.org/>

IAI. 2009: www.iai-international.org

IFC. 2009: <http://www.iai-tech.org/ifc/IFC2x3/TC1/html/index.htm>

IfcExplorer. 2009: <http://www.iai.fzk.de/www-extern/index.php?id=796&L=1>

Isikdag U., Zlatanova S., 2009. Towards Defining a Framework for Automatic Generation of Buildings in CityGML Using Building Information Models. *3D Geo-Information Sciences, Part II*, Springer, Berlin Heidelberg, s. 79-96.

Kolbe T., Nagel K., Stadler A., 2009. CityGML – Standard in Photogrammetry? 52nd Photogrammetric Week in Stuttgart, September 7-11.

LandeXplorer. 2009: <http://www.landexplorer.com/>

lat/lon. 2009: <http://www.lat-lon.de/>

Stadler A., Nagel K., König G, Kolbe T., 2009. Making interoperability persistent: A 3D geo database based on CityGML. Springer, Lecture Notes in Geoinformation and Cartography, s.175-192.

Standard CityGML. 2008. OpenGIS® City Geography Markup Language (CityGML)

CITYGML IN THE INTEROPERABILITY OF 3D GEODATA

KEY WORDS: CityGML, KML, geodata interoperability, free software

SUMMARY: The substantial increase in the number of different techniques of obtaining and processing geospatial data (an increase that concerns equipment as well as digital methods and methods of rendering the data accessible) necessitates the creation of international standards for the recording, exchange and visualisation of such data. The CityGML language is a response to this need. It is presented by the OGC (Open Geospatial Consortium) as a standard for the representation, storage, and exchange of 3D models of virtual cities or terrain models. As for the KML language, the OGC considers it standard not only for the creation of 2D internet maps but also for 3D earth-browsers. This paper presents CityGML against the background of other 3D building

formats and compares CityGML to KML. It also provides an overview of free, OGC-supported software designed to accompany CityGML. Additionally, it presents a Java-based application that automatically converts CityGML-based geometrical objects to KML-based ones.

dr Renata Jędryczka
renata.jedryczka@uwm.edu.pl
telefon: +48 89 5234915
fax: +48 89 5233841

**MAPA WIARYGODNOŚCI ROZPOZNANIA PIERWSZEGO POZIOMU
WODONOŚNEGO WYKONANA NA PODSTAWIE RANKINGU STUDZIEN
W REJONIE UNISŁAWIA**

**MAP OF UNCERTAINTY OF SHALLOW GROUNDWATER
BASED ON BOREHOLES AND DIGGING WELLS**

Marek Kachnic

Instytut Geografii, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

SŁOWA KLUCZOWE: wody podziemne, wiarygodność, ranking informacji, pierwszy poziom wodonośny, AHP, IDRISI

STRESZCZENIE: W artykule przedstawiono wykorzystanie założeń metody analizy hierarchii (AHP – *Analytical Hierarchy Process*) do opracowania rankingu przydatności studzien kopanych i wierconych wykorzystanych do określenia zasięgu występowania pierwszego poziomu wodonośnego (ppw). Badania zostały zrealizowane na obszarze objętym arkuszem Unisław Mapy hydrogeologicznej Polski w skali 1:50 000. Procedura przygotowania, analizy i wizualizacji danych została opracowana z pomocą programu IDRISI. Do struktury decyzyjnej opracowania rankingu studzien wierconych przyjęto następujące kryteria: informacje o występowaniu (lub braku) warstwy wodonośnej; wydajność jednostkową, rodzaj przeprowadzonej weryfikacji terenowej studzien oraz możliwość weryfikacji informacji o punkcie badawczym poprzez aktualny stan techniczny studni. Do struktury decyzyjnej rankingu studzien kopanych przyjęto następujące kryteria: rodzaj użytkownika, stan techniczny studni, występowanie studni w innych bazach danych (mapach), głębokość studni i wysokość słupa wody. Preferencje w zakresie poszczególnych kryteriów określano przy pomocy charakterystycznej dla metody AHP postaci względnych ocen ważności kryteriów. Mapy cząstkowe kryteriów zagregowano do mapy wynikowej metodą ważonej kombinacji liniowej. Ostateczną mapę wynikową uzyskano z pomocą modelowania kartograficznego i modułu CONTRACT z programu IDRISI. Wyniki analiz świadczą o słabym pokryciu terenu badań wiarygodną informacją wynikającą z rozpoznania punktowego pierwszego poziomu wodonośnego. W celu pełnego zobrazowania „stanu wiedzy” (*knowledge base*) procedurę należy uzupełnić o pozostałe składniki środowiska przyrodniczego mające znaczenie przy ustalaniu zasięgu ppw (np. źródła, wody powierzchniowe, inne otwory geologiczne).

1. WSTĘP

Od 2003 r. w Polsce realizowane są dwa niezależne tematy kartograficzne odnoszące się w całości lub w części do wód podziemnych pierwszego poziomu wodonośnego (ppw¹). W ramach każdego z tych tematów realizowanych jest po 1069 arkuszy map seryjnych w cięciu arkuszowym w skali 1:50 000. Są to Mapa hydrograficzna Polski w skali 1:50 000 (wydawnictwo GUGiK) oraz uzupełnienie edycji „Szczegółowej mapy hydrogeologicznej w skali 1:50 000” (MhP) o grupę tematyczną „pierwszy poziom wodonośny” i wprowadzenie jej do bazy danych GIS MhP.

Informacja o zasięgu występowania płytkich wód podziemnych ma priorytetowe znaczenie w ochronie środowiska. Płytkie wody podziemne pełnią ważną rolę środowiskową wpływając na stan ekosystemów od nich zależnych (np. zaliczonych do specjalnych obszarów ochrony siedlisk NATURA 2000).

Jak dotąd w Polsce nie opublikowano prac, które dotyczyłyby opisu wiarygodności treści map (hydro)geologicznych. Brak prac na ten temat wynika głównie z braku metod opisu błędu i niepewności na bazie teorii prawdopodobieństwa, zbiorów rozmytych (*fuzzy sets*) i teorii dowodów (*theory of evidence*). W przypadku nauk geologicznych dodatkowym utrudnieniem jest problem opisu obiektów ukrytych i obiektów o „nieostrych granicach”. Są to obiekty dla których z racji swojego charakteru nie można wyznaczyć jednoznacznej granicy. Przykładem są granice jednostek geologicznych czy też zasięg warstw wodonośnych.

W literaturze zagranicznej zagadnienie opisu „niepewności” informacji (ang. *uncertainty*) jest tematem coraz częściej pojawiającym się w nauce i zastosowaniach praktycznych. W czasopismach można znaleźć pojedyncze prace analizujące to zagadnienie niepewności danych (hydro)geologicznych. Przykładem mogą być publikacje Ferrier, Wadge (1997), Caselton, Luo (1992), Tacher *et al.* (2006).

2. RANKING ŹRÓDEŁ INFORMACJI

W celu przygotowania mapy wiarygodności rozpoznania hydrogeologicznego uzasadnionym jest opracowanie rankingu „jakości” informacji wykorzystywanych w opracowaniu map pierwszego poziomu wodonośnego. Mapy hydrogeologiczne opracowywane są głównie na podstawie rozpoznania punktowego (studnie i otwory obserwacyjne, studnie kopane oraz źródła) a także innych informacji (głównie z zakresu geomorfologii i hydrografii). O ile granice rzek, zbiorników powierzchniowych czy też głównych jednostek

¹ W artykule stosowane są skróty „ppw” i „PPW” dla odróżnienia odpowiednio pierwszego poziomu wodonośnego wyznaczanego wg kryteriów autora (zob. pkt 2.4) i pierwszego poziomu wodonośnego wg kryteriów Państwowego Instytutu Geologicznego (Ćwiartniewska, Herbich, 2005)

geomorfologicznych są rozpoznane na w miarę jednakowym poziomie wiarygodności o tyle punkty rozpoznania hydrogeologicznego cechuje znaczna rozpiętość tej wiarygodności. Najbardziej wiarygodnymi w dokumentowaniu pierwszego poziomu wodonośnego są studnie głębinowe (szczególnie te, które wykorzystują wody pierwszego poziomu wodonośnego). Mniejszą rangę wiarygodności mają piezometry i inne otwory wiertnicze. Do obiektów o relatywnie najmniejszej wiarygodności zaliczyć można studnie kopane.

Spośród wyżej wymienionych źródeł informacji jako podstawę wstępnej oceny „stanu i jakości wiedzy” wybrano studnie wiercone i kopane. Wykorzystując metodykę zaproponowaną przez Saaty (Saaty, 1980) gdzie w metodzie analizy hierarchii (AHP) opracowano strukturę decyzyjną dla tych dwóch kryteriów i ustalono dla nich podkryteria decydujące o przydatności tych obiektów pod kątem opracowania map pierwszego poziomu wodonośnego (ppw).

2.1. Struktura decyzyjna dla oceny reprezentatywności studzien wierconych

Do oceny reprezentatywności studzien wierconych (sw) wybrano kryteria główne, które uwzględniono w hierarchii decyzyjnej (Tab. 1).

Dla każdego z powyższych kryteriów głównych ustalono podkryteria, które były podstawą zróżnicowania reprezentatywności poszczególnych punktów. Podkryteria opisano w tabelach 2-5.

Podkryteria zróżnicowano w skali od 0 do 255, która została tak dobrana ze względu na jej dalsze wykorzystanie w systemach informacji geograficznej. Przyjęto, że im większa wartość przypisanych punktów, tym większa reprezentatywność cechy potwierdzającej występowanie ppw.

Tab. 1. Ustalone kryteria główne struktury decyzyjnej dla studzien wierconych.

Symbol kryterium	Opis kryterium głównego
A _{sw}	Informacje półjakościowe z bazy danych Banku HYDRO o ogólnych parametrach warstwy ppw (strop, spąg, zawodnienie) lub braku występowania warstwy wodonośnej
B _{sw}	Dane ilościowe o warstwie ppw zapisane w bazach danych (Bank HYDRO, mapy MhP i MhP-PPW) i uzyskane w wyniku badań hydrogeologicznych po zafiltrowaniu warstwy ppw (wykorzystano wydajność jednostkową studni ²)
C _{sw}	Rodzaj przeprowadzonej weryfikacji w ramach prac Państwowej Służby Hydrogeologicznej (PSH) w ramach realizacji programu poprawy bazy danych Banku HYDRO (rekordy w bazie danych o oznaczeniu: A; B; C i „brak”)
D _{sw}	Możliwość weryfikacji informacji o punkcie badawczym zależne od aktualnego stanu technicznego otworu (otwór istniejący, zlikwidowany, po rekonstrukcji, niezlokalizowany)

² Wydajność jednostkowa jest parametrem opisującym możliwości uzyskania wody z studni. Wydatek jednostkowy wzrasta w obszarach zasobnych w wody podziemne.

Tab. 2. Podkryteria dla kryterium głównego „A_{sw}”.

L.p.	Opis podkryterium	Punktacja
1.	Warstwa ppw zafiltrowana, studnia zupełna:	255
2.	Warstwa ppw zafiltrowana, studnia niezupełna:	200
3.	Warstwa ppw nie zafiltrowana:	125
4.	Warstwa ppw niezawodniona:	60
5.	Nie stwierdzono warstwy ppw:	50
6.	Brak profilu geologicznego (do głębokości 15m):	5

Tab. 3. Podkryteria dla kryterium głównego „B_{sw}”.

L.p.	Opis podkryterium	Punktacja
1.	Brak informacji o wydatku jednostkowym w studni	0 pkt.
2.	Podana wartość wydatku jednostkowego dla studni	liczba punktów analogiczna do wartości wydatku w m ³ /godz.

Tab. 4. Podkryteria kryterium głównego „C_{sw}”.

L.p.	Opis podkryterium	Punktacja
1.	Brak informacji o weryfikacji danych	0
2.	Weryfikacja A	50
3.	Weryfikacja B	125
4.	Weryfikacja C (najdokładniejsza)	200
5.	Weryfikacja dodatkowa niezależna od PSH	255

Tab. 5. Podkryteria dla kryterium głównego „D_{sw}”.

L.p.	Opis podkryterium	Punktacja
1.	Studnia z niepewną lokalizacją lub brak danych	5
2.	Studnia zlikwidowana	25
3.	Studnia istniejąca (brak danych o możliwości pomiaru zw. w.)	100
4.	Studnia istniejąca z możliwością pomiaru położenia zwierciadła wody i poboru próbki wody	200
5.	Studnia jak w pkt. 4 ale z wykonanym w pobliżu piezometrem lub inną studnią z możliwością pomiaru położenia zw. wody	255

2.2. Struktura decyzyjna oceny reprezentatywności studzien kopanych

Do oceny reprezentatywności studzien kopanych wybrano kryteria, przedstawione w hierarchii decyzyjnej (Tab. 6).

W przypadku podkryterium „C_{sk}” z każdą obecnością w bazie danych (np. na Mapie hydrogeologicznej w skali 1:200 000, Mapie hydrogeologicznej w skali 1:50 000 i Mapie hydrogeologicznej w skali 1:50 000 – pierwszy poziom wodonośny) reprezentatywność studni wzrastała każdorazowo o 50 punktów.

Podkryterium D_{sk} („głębokość studni”) zostało standaryzowane mnożąc głębokość przez wartość 10 i zaokrąglając uzyskany wynik do liczb całkowitych.

Z kolei podkryterium E_{sk} („słup wody w studni”) zostało ustandaryzowane mnożąc obliczoną wysokość słupa wody w studni przez wartość 50. Studniom, gdzie słup wody wynosił ponad 5 m przypisano wartość 255 punktów.

Tab. 6. Ustalone kryteria główne hierarchii decyzyjnej dla studzien kopanych.

Symbol kryterium	Opis kryterium głównego
Kryt. A _{sk}	Rodzaj użytkownika
Kryt. B _{sk}	Stan techniczny studni
Kryt. C _{sk}	Występowanie studni w bazach danych
Kryt. D _{sk}	Głębokość studni
Kryt. E _{sk}	Słup wody w studni

Zróżnicowanie (punktacje) podkryteriów A_{sk} (rodzaj użytkownika) i B_{sk} (stan techniczny studni) przedstawiono w Tab. 7 i Tab.8.

Tab. 7. Podkryteria dla kryterium „A_{sk}”.

L.p.	Opis podkryterium	Punktacja
1.	Użytkownik prywatny	50
2.	Użytkownik komunalny	100
3.	Studnia wiejska (awaryjna)	150
4.	Użytkownik nieznan	10

Tab. 8. Podkryteria dla kryterium „B_{sk}”.

L.p.	Opis podkryterium	Punktacja
1.	Studnia czynna	150
2.	Studnia czynna okresowo	100
3.	Studnia nieczynna	50
4.	Brak opisu (w kolumnie uwagi) w bazie danych	0

2.3. Ustalenie preferencji kryteriów dla studzien wierconych i kopanych

Wybrane kryteria główne (Tab. 2 i 6) nie są jednakowo „ważne” względem nadrzędnego celu jakim jest ocena wiarygodności punktów opróbowania ppw. Właściwą wagę kryteriów głównych uzyskuje się poprzez współczynniki wagowe (nazywanymi w metodzie AHP wektorem priorytetów). Dobór wag kryteriów głównych w metodzie AHP realizowany jest na drodze dyskusji w gronie ekspertów w tzw. fazie oceny. Kryteria główne porównuje się ze sobą parami nadając im odpowiednie preferencje za pomocą skali ustalonej przez Saatego (Saaty, 1980). Ustalenie przewagi jednego kryterium nad drugim jest subiektywne.

W omawianym przypadku nie wystąpiła potrzeba takiego postępowania z powodu braku grona ekspertów. Wagi kryteriów głównych przyjęto więc subiektywnie na podstawie wiedzy wykonującego analizę. Tabela 9 przedstawia dobrane wagi kryteriów głównych.

Tab. 9. Ustalone preferencje dla kryteriów studzien wierconych i kopanych.

Kryteria dla studzien wierconych	Waga	Kryteria dla studzien kopanych	Waga
A _{sw}	0.4	A _{sk}	0.1
B _{sw}	0.4	B _{sk}	0.2
C _{sw}	0.1	C _{sk}	0.2
D _{sw}	0.1	D _{sk}	0.2
	Σ = 1	E _{sk}	0.3
			Σ = 1

2.4. Przygotowanie warstw informacyjnych (map pikselowych) kryteriów głównych studzien wierconych i kopanych oraz agregacja danych

Warstwy informacyjne kryteriów głównych studzien wierconych przygotowano na podstawie danych z Banku HYDRO³. W Banku HYDRO, sprawdzono obecność w profilu studni wierconej występowania płytko-zalegającej warstwy wodonośnej o zwierciadle swobodnym. Dla każdej z 81 studni zlokalizowanej na obszarze badań sprawdzono czy do głębokości 15 m występowała warstwa osadów okruchowych o miąższości min. 2 m (nawet gdy nie była ona zawodniona).

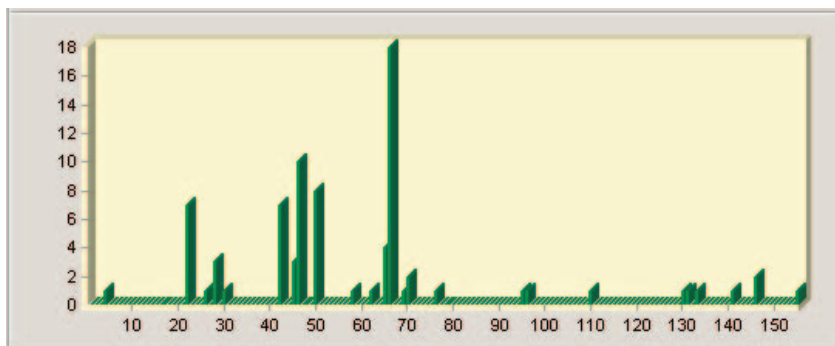
³ Bank HYDRO jest w Polsce podstawową bazą danych o wykonanych studniach i otworach badawczych. Baza danych została utworzona w drugiej połowie lat osiemdziesiątych i jest sukcesywnie przebudowywana i rozbudowywana. Bazą zarządza Państwowy Instytut Geologiczny w Warszawie.

Warstwy informacyjne wybranych kryteriów dla studzien kopanych przygotowano na podstawie informacji z warstwy tematycznej bazy danych GIS – pierwszy poziom wodonośny (Krawczyński, 2005). Wykorzystano również bazę danych Mapy hydrogeologicznej Polski w skali 1:50 000 (Zambrzycka, 2002) oraz Mapę hydrogeologiczną Polski w skali 1:200 000 (Wilczyński, Dmoch, 1980).

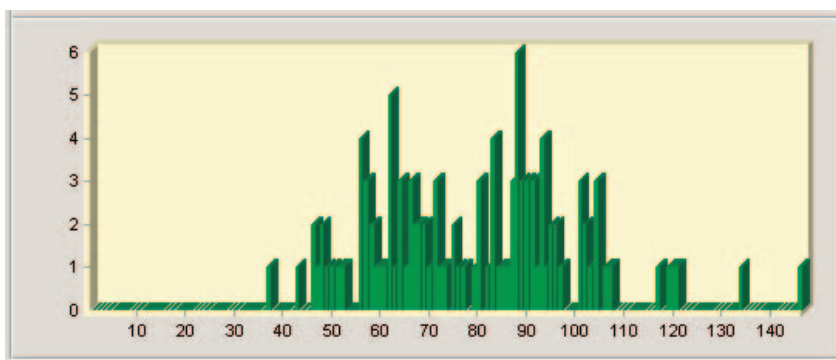
Przygotowane w programie EXCEL zbiory danych zostały po ustandaryzowaniu (zob. rozdz. 2.1-2.2) rozdzielone na kryteria główne. Przygotowano pustą macierz reprezentującą obszar arkusza Unisław w skali 1:50 000, który został zdyskretyzowany siatką o wymiarze bloku 100 m na 100 m. Korzystając z funkcji importu danych ASCII do IDRISI, uzyskano mapy pikselowe poszczególnych kryteriów w skali od 0 do 255.

Agregacja danych została zrealizowana metodą ważonej kombinacji liniowej (*Weighted Linear Combination – WLC*). Macierze map pikselowych poszczególnych kryteriów zostały przemnożone przez współczynniki wag zgodnie z tabelą 9, a następnie zsumowane. Agregację danych wykonano osobno dla studzien wierconych i kopanych. Histogramy częstości pikseli map wynikowych po zagregowaniu danych przedstawiono na rysunkach 1 i 2.

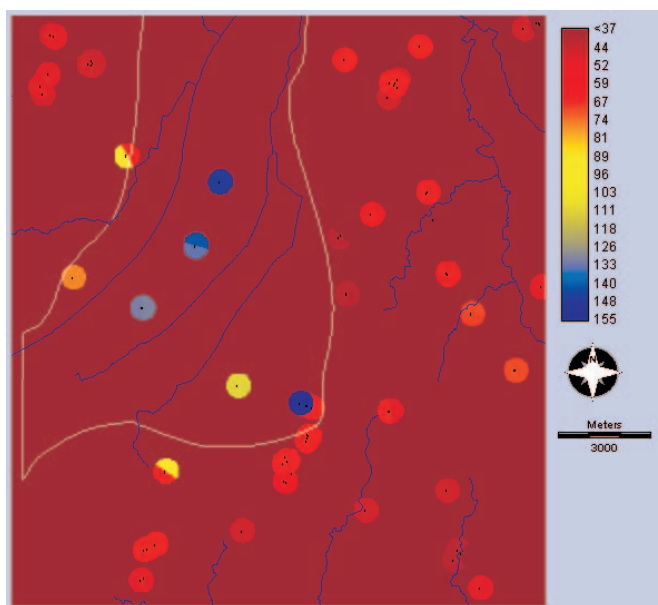
Wynikowe mapy pikselowe poddano modelowaniu kartograficznemu (algebrze map), którego celem było czytelniejsze zobrazowanie zróżnicowania reprezentatywności punktów opróbowania poziomu wodonośnego. Modelowanie obejmowało działania podziału map pikselowych na podgrupy, interpolacji metodą wieloboków Thiessena i ograniczenia obszaru po interpolacji do ekwidystant wokół studzien wierconych o promieniu $R = 500$ m (Rys. 3), a wokół studzien kopanych o promieniu $R = 300$ m (Rys. 4).



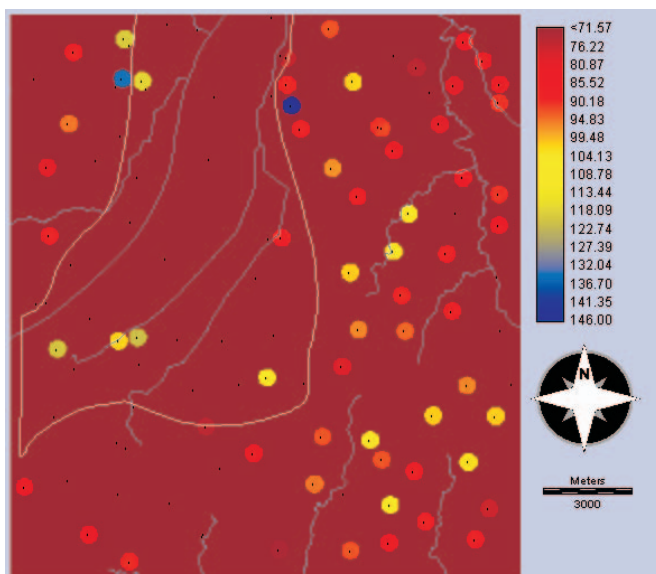
Rys. 1. Histogram częstości pikseli na mapie wynikowej reprezentatywności studzien wierconych z obszaru objętego ramką arkusza Unisław. Wysoka wartość pikselu oznacza większą reprezentatywność punktu do wyznaczenia pierwszego poziomu wodonośnego.



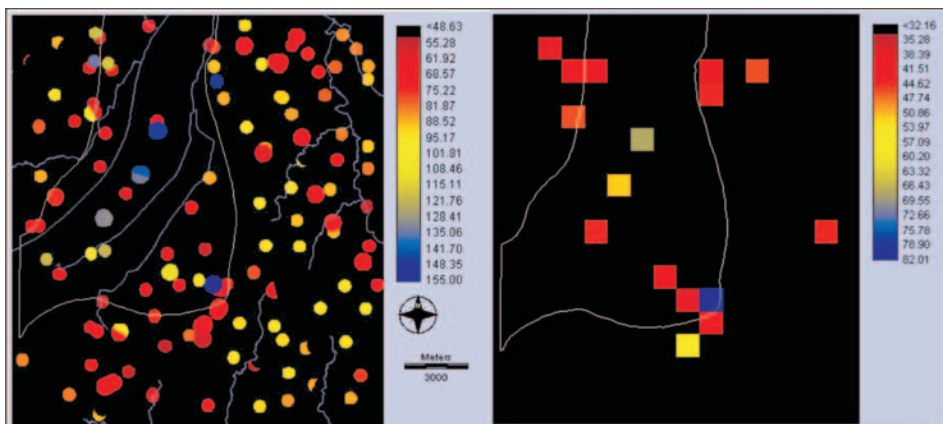
Rys. 2. Histogram częstości pikseli na mapie wynikowej reprezentatywności studzien kopanych z obszaru objętego zasięgiem arkusza Unisław.



Rys. 3. Mapa wynikowa reprezentatywności studzien wierconych. Niebieskie linie oznaczają ciekі wód powierzchniowych. Biała linia oznacza zasięg jednostki Pierwszego Poziomu Wodonośnego (PPW) wg Krawczyński (2005). Skala barwna odnosi się tylko do studzien.



Rys. 4. Mapa wynikowa reprezentatywności studzien kopanych. Oznaczenia jak na Rys. 3.



Rys. 5. Mapa wynikowa reprezentatywności studzien wierconych i kopanych (po lewej) oraz po prawej ta sama mapa zgeneralizowana funkcją CONTRACT (opcja *pixel aggregation*), która zredukowała liczbę pikseli. Piksel reprezentuje wartość średnią ze 100 okolicznych pikseli. Skala barwna odnosi się tylko do studzien.

3. PODSUMOWANIE

Mapy wynikowe (Rys. 5) obrazują ocenę wiarygodności rozpoznania pierwszego poziomu wodonośnego (ppw). Ocena ta jest oparta na analizie jakości opróbowania ppw za pomocą studzien wierconych i kopanych. Uzyskany wstępny obraz wynikowy oznacza, że dla badanego obszaru (objętego zasięgiem arkusza mapy w skali 1:50 000 – ark. Unisław), reprezentatywność danych jest generalnie słaba. Wiarygodne, uśrednione informacje pokrywają mniej niż 10% obszaru arkusza.

Pełny obraz wiarygodności informacji zamieszczonych na mapach hydrogeologicznych i hydrograficznych będzie możliwy po uwzględnieniu wyników oceny wiarygodności informacji z warstw tematycznych takich jak: sieć hydrograficzna, źródła, dane z innych otworów geologicznych (kartograficznych, geologiczno-inżynierskich, badawczych etc.) oraz występowanie wychodni osadów wodonośnych na powierzchni.

Przedstawioną tu metodykę należy traktować jako głos w dyskusji nad sposobem opisu „jakości” informacji zawartych w bazach danych i na mapach (hydro)geologicznych.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2007-2009 jako projekt badawczy nr N525 008 32/1075.

4. LITERATURA

Caselton W. F., Luo W. B., 1992. Decision-Making with Imprecise Probabilities: Dempster-Shafer Theory. *Water Resources Research* 28 (12), s. 3071-3083.

Ćwiertniewska Z., Herbich P., 2005. *Zasady rejonizacji hydrogeologicznych warunków występowania pierwszego poziomu wodonośnego*. PIG Warszawa. (maszynopis)

Ferrier G., Wadge G., 1992. An integrated GIS and knowledge-based system as an aid for the geological analysis of sedimentary basins. *International Journal of Geographical Information Science*, 11 (3), s. 281-297.

Krawczyński J., 2005. *Opracowanie autorskie warstw informacyjnych bazy danych GIS Mapy hydrogeologicznej Polski 1: 50 000 – pierwszy poziom wodonośny występowanie i hydrodynamika*. Arkusz Unisław. Państw. Inst. Geol., Warszawa. Archiwum PIG.

Saaty T. L., 1980. *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. McGraw-Hill. Nowy York

Tacher L., Pomian-Srzednicki I., Parriaux A., 2006. Geological uncertainties associated with 3-D subsurface models. *Computers&Geosciences* 32, s. 212–221.

Wilczyński A., Dmoch I., 1980. *Mapa hydrogeologiczna Polski w skali 1:200 000 wraz z objaśnieniami, arkusz Toruń*. Wyd. Geol. Warszawa.

Zambrzycka M., 2002. *Mapa hydrogeologiczna Polski w skali 1: 50 000, arkusz Unisław*. Państw. Inst. Geol., Warszawa.

**MAP OF UNCERTAINTY OF SHALLOW GROUNDWATER
BASED ON BOREHOLES AND DIGGING WELLS**

KEY WORDS: shallow groundwater, uncertainty, maps, validity, reliability, AHP, hydrogeology, IDRISI

SUMMARY: The study evaluated the reliability of water wells, both drilled and excavated, as a source of information about the depth of shallow groundwater in the area of Unisław, Poland. The AHP method was used to assess the representativeness of measurement points used. In the case of drilled wells the parameters under evaluation included a confirmation of an aquifer existence or lack of it, its specific yield, type of field check performed and whether a measurement point could be verified by checking its technical condition. In the case of dug wells the parameters included user details, technical condition, overall depth, water depth and existence in cross-referenced databases (maps). A pixel-standardised image for each criterion was generated using the IDRISI software package (at a 100 m pixel size) and aggregated using the Weighted Linear Combination method. The resulting map shows a generally weak coverage of the area with reliable water wells in the research region.

dr inż. Marek Kachnic
marek.kachnic@umk.pl
telefon: +48 56 6112590
fax: +48 56 6112588

OCENA DOKŁADNOŚCI AEROTRIANGULACJI ZOBRAZOWAŃ ADS40

ESTIMATION OF THE ACCURACY OF THE TRIANGULATION OF ADS40 IMAGERY

Artur Karol Karwel

Zakład Fotogrametrii, Instytut Geodezji i Kartografii w Warszawie

SŁOWA KLUCZOWE: zobrazowania ADS40, fotogrametria lotnicza, aerotriangulacja, analiza dokładności

STRESZCZENIE: W odróżnieniu od lotniczych kamer kadrowych kamera ADS40 wyposażona jest w trzylinijkowy skaner, dlatego aerotriangulacja obrazów pozyskanych tą kamerą musi przebiegać w oparciu o inne działania metodyczne, niż te, które stosuje się w przypadku aerotriangulacji obrazów kadrowych. Badania przeprowadzono w oparciu o blok zdjęć składający się z trzech pasów zobrazowań pozyskanych z wysokości 2000 m, z rozdzielczością geometryczną 20 cm. Proces aerotriangulacji wykonany został przy pomocy oprogramowania ORIMA (Leica Geosystems), które posiada specjalny moduł wyrównawczy przeznaczony dla zobrazowań ADS40. Analizę dokładności przeprowadzono na bloku zdjęć wykonanych w różnych kanałach spektralnych (panchromatyczny, czerwony, zielony). W badaniach została wykorzystana różna liczba fotopunktów. Ocena dokładności orientacji poszczególnych bloków bazowała na parametrach statystycznych, które uzyskano z analizy macierzy kowariancyjnej układu niewiadomych i poprawek do współrzędnych fotopunktów, punktów wiążących oraz punktów kontrolnych. Pomiar punktów kontrolnych wykonano manualnie na stacji fotogrametrycznej firmy Intergraph, w oparciu o moduł ISSD (Image Station Stereo Display).

1. WPROWADZENIE

Kamera ADS40 jest jak do tej pory jedną z nielicznych lotniczych kamer cyfrowych wykorzystującą w swoich pomiarach koncepcję liniowego skanera elektro-optycznego typu *pushbroom* pochodzącą z systemów satelitarnych (Ikonos, WorldView-2). Pierwszymi kamerami, w których zastosowano liniowy skaner CCD były między innymi: Wide Angle Airborne Camera WAAC, High Resolution Stereo Camera HRSC, Digital Photogrammetric Assembly DPA. Kamera ADS40 po raz pierwszy zaprezentowana została na

Międzynarodowym Kongresie Fotogrametrycznym w Amsterdamie w 2000 r. i stała się pierwszą komercyjną kamerą wykorzystującą liniowy skaner CCD. Kamera ta powstała przy współpracy firmy LH Systems oraz DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt). W literaturze można znaleźć obszerne, głównie zagraniczne publikacje (Hinsken *et al.*, 2002; Kocaman *et al.*, 2008; Tempelmann *et al.*, 2003) dotyczące metodyki aerotriangulacji bloków obrazowań kamery ADS40. Szeroki zakres informacji na temat oceny dokładności aerotriangulacji obrazowań ADS40 zamieścił w swojej publikacji Kocaman *et al.* (2006). Wartości błędów średnich bloku testowego wyznaczonych na podstawie poprawek do współrzędnych punktów kontrolnych, jakie uzyskali dla piksela terenowego 20 cm wyniosły w płaszczyźnie $m_{XY}=0.05$ m, a wysokościowo $m_Y=0.06$ m, co odpowiada 0.25 i 0.30 piksela obrazu źródłowego. Należy podkreślić, że test był przeprowadzony na obszarze obejmującym głównie teren zurbanizowany na podstawie sygnalizowanej osnowy fotogrametrycznej. W Polsce jak dotąd przeprowadzone badania (Boczar *et al.*, 2006) nie dały szerszego poglądu na temat metodyki orientacji lotniczych obrazów skanerowych, a także nie podjęto próby analizy dokładności ich aerotriangulacji. Problem orientacji obrazowań ADS40 stał się jednym z zadań badawczych Zakładu Fotogrametrii Instytutu Geodezji i Kartografii realizowanych w ramach projektów finansowanych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego w latach 2007-2009.

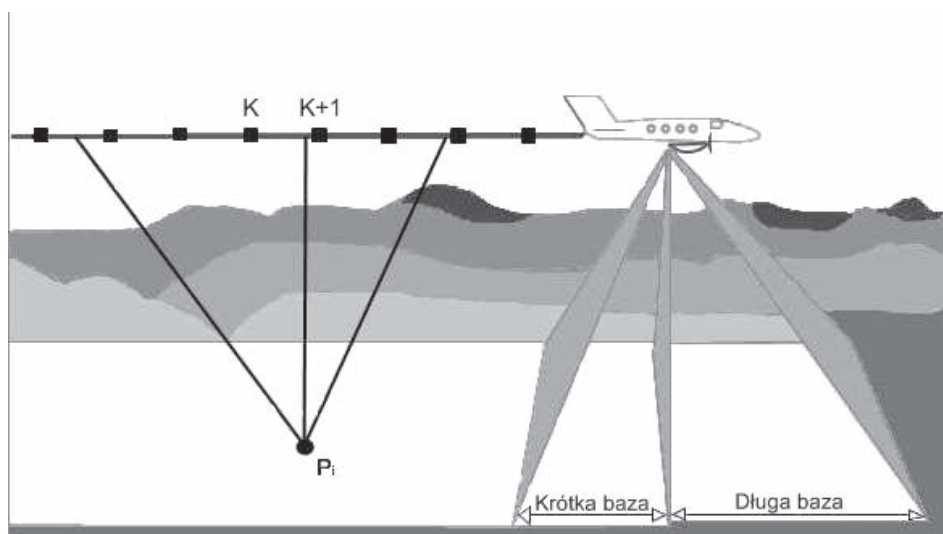
2. CHARAKTERYSTYKA SYSTEMU POZYSKIWANIA DANYCH ADS40

2.1. Parametry techniczne kamery ADS40

Kamera ADS40 typu SH52 składa się z 12 linijek CCD, z których każda zawiera 12 000 detektorów o wielkości 6.5 μm . Kamera pozyskuje obrazowania w kanale panchromatycznym (trzy linijki w kierunkach: do przodu - 27°, nadirowo - 2° i do tyłu - 14°), RGB (każdy kanał po dwie linijki w kierunkach: nadirowym i do tyłu), NIR (dwie linijki w kierunkach: nadirowym i do tyłu). Dla kanałów RGB oraz NIR obrazy pozyskiwane są dla położenia sensora 0° (nadir) oraz 16° (do tyłu). System ADS40 dla kanałów RGB oraz NIR i kanału panchromatycznego (do przodu, do tyłu) pozyskuje informacje z tą samą rozdzielczością, natomiast rozdzielczość ta jest dwukrotnie większa dla kanału panchromatycznego pozyskiwanego w nadirze. Kąt widzenia kamery ADS40 wynosi 64°, zaś jej ogniskowa 62.5 mm. Położenie każdej linijki obrazu wyznaczone jest na podstawie interpolacji między punktami mierzonymi w przestrzeni za pomocą systemu GPS/IMU.

2.2. Geometria danych ADS40

Podobieństwo położenia zafiksowanego środka rzutów ADS40 linii skanowania jest zbliżone do położenia środka rzutów używanego dla obrazów kamery kadrowej. Promienie z punktu P nie przechodzą z terenu przez środek rzutów by osiągnąć płaszczyznę ogniskową, lecz pomiędzy dwoma sąsiednimi środkami rzutów (Rys. 1). Dla scen ADS40 każdy pomierzony punkt obrazu związany jest z dwoma środkami rzutów. Położenie



Rys. 1. Określenie zafiksowanych środków rzutów poszczególnych linii skanowania w odpowiednim interwale czasowym
Źródło Leica Geosystems.

punktów wiążących (wzór pokrycia geometrycznego) na scenie zależy od interwału środków rzutów linii skanowania. Chcąc zachować wysoką precyzję pomiaru, długość interwału nie powinna przewyższać długości krótszej bazy. Dla kamery ADS40 według specyfikacji określającej dokładność żyroskopu interwał musi mieć przynajmniej 8 sekund. Pozyskiwane dane GPS i IMU w trakcie misji lotniczej dają ciągłą pozycję i położenie kamery ADS40. W procesie aerotriangulacji bazującej na zasadzie wyrównania wiązek metodą najmniejszych kwadratów wykorzystuje się wspomniane wcześniej zafiksowane środki rzutów, pomierzone w regularnych interwałach wzdłuż toru lotu samolotu.

3. METODYKA ORIENTACJI BŁOKU ADS40

W procesie orientacji bloku zobrażeń ADS40 założono projekt roboczy w oprogramowaniu LPS (*Leica Photogrammetry Suite*) firmy Leica Geosystems poprzez dołączenie wybranych obrazów poziomu L1 (wstępnie zrektyfikowane obrazy). Obrazy poziomu L1 nie pozwalają na stworzenie modelu stereoskopowego pozbawionego paralaksy poprzecznej. W celu jej wyeliminowania niezbędne jest wykonanie procesu orientacji wzajemnej zobrażeń, do którego wykorzystano oprogramowanie ORIMA (*Orientation Management*) firmy Leica Geosystems.

3.1. Pomiar punktów osnowy fotogrametrycznej

Przed przystąpieniem do procesu wyrównawczego bloku zobrazowań ADS40 wykonano pomiar punktów osnowy fotogrametrycznej. Manualny pomiar fotopunktów był wykonywany w taki sam sposób, jak dla kamer kadrowych, w jednym z komponentów oprogramowania Leica Geosystems – Viewplex.

3.2. Pomiar punktów wiążących

Pierwszy etap orientacji bloku stanowił automatyczny pomiar punktów wiążących (APM-*Auto Point Measurement*). Dla każdego bloku liczba punktów wiążących użyta w wyrównaniu wyniosła 850. Do przeprowadzenia APM zdefiniowano następujące parametry wejściowe:

- wzór pokrycia geometrycznego zobrazowania punktami wiążącymi,
- strategia wyboru punktów homologicznych,
- zobrazowania wybrane do pomiaru (w zależności jaki kanał spektralny chcemy wykorzystać w orientacji bloku).

Po wprowadzeniu danych wejściowych program wygenerował zbiór punktów wiążących. Następnie ze zbioru tego usunięto punkty błędnie skorelowane z powodu niewłaściwej automatycznej identyfikacji. Po zakończeniu pomiaru przystąpiono do procesu wyrównania bloku metodą niezależnych wiązek.

3.3. Wyrównanie bloku

Przed przystąpieniem do procesu wyrównawczego zdefiniowano następujące parametry wyrównania, w tym:

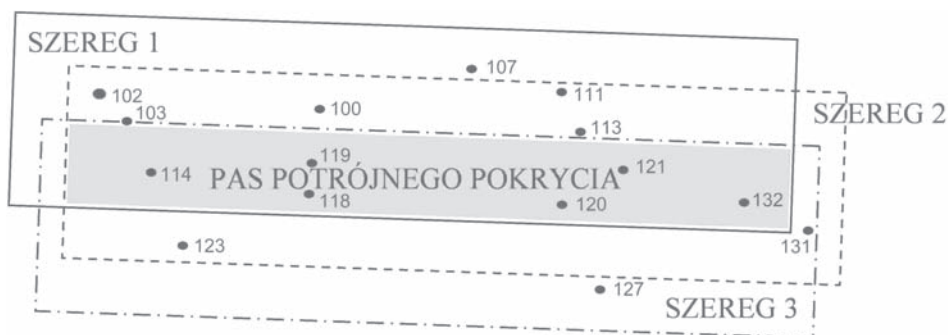
- maksymalną liczbę iteracji,
- wartość sigma *a priori*, związaną z typem punktu, wielkością piksela, typem terenu, algorytmem łączenia punktów, efektem kompensowania błędów systematycznych (dla systemów cyfrowych wartość sigma powinna wahać się w przedziale 0.3-0.2 wielkości piksela),
- korekcję wpływu krzywizny Ziemi i refrakcji atmosferycznej,
- poziom automatycznego wykrywania błędów grubych,
- miarę jednostki terenowej,
- automatyczną eliminację błędów grubych na fotopunktach i punktach kontrolnych,
- określenie parametrów GPS i IMU,
- możliwość zmian parametrów kamery,
- wagowanie elementów orientacji zewnętrznej.

Po wprowadzeniu elementów uruchamiany jest proces wyrównania aerotriangulacji. Pierwszą analizą wyrównania było zapoznanie się z wielkością wag elementów orientacji zewnętrznej X , Y , Z , ω , φ , κ . Po wprowadzeniu poprawek wagowych ponownie wykonano wyrównanie obserwacji w bloku. Następnie wyłączono z wyrównania błędne wiązania. Po ich wyeliminowaniu przeprowadzono ponownie wyrównanie.

4. OPIS PRZEBIEGU BADAŃ

4.1. Charakterystyka danych

W badaniach wykorzystano blok główny zdjęć (Rys. 2) składający się z trzech szeregów, z których każdy posiadał: dwa zobrażenia panchromatyczne (pozyskane do przodu i do tyłu), jedno zobrażenie w kanale czerwonym (pozyskane nadirowo) i dwa zobrażenia w kanale zielonym (pozyskane do przodu i nadirowo). Średnia szerokość pasa zobrażenia wynosiła 2.3 km, zaś jego długość 10.8 km. Wysokość lotu wynosiła 1.9 km. Między pasami występowało pokrycie podłużne 83÷95% i pokrycie poprzeczne 39÷72%. Wielkość terenowa piksela wynosiła 20 cm. Zobrażenia obejmowały obszar nizinny, w większości rolniczy, częściowo pokryty lasem, z czego około 20% badanego obszaru stanowiły tereny zurbanizowane. Współpracujący z kamerą ADS40 system GPS/IMU pomierzył w przestrzeni współrzędne położenia kamery X, Y z dokładnością 10 cm, zaś dla współrzędnej Z z dokładnością 20 cm oraz kąty i wychylenia od nadiru dla ω , φ z dokładnością 0.006^g, zaś dla κ z dokładnością 0.009^g.



Rys. 2. Budowa bloku testowego wraz z rozmieszczeniem punktów osnowy fotogrametrycznej.

Wszystkie pomierzone punkty osnowy fotogrametrycznej stanowiły zbiór naturalnych szczegółów sytuacyjnych równomiernie rozmieszczonych w bloku głównym zobrażeń ADS40. Dokładność pomiaru punktów osnowy wynosiła $m_x=1.5$ cm, $m_y=1.5$ cm, $m_z=2$ cm.

4.2. Analiza wyników

Aerotriangulację bloków scen pozyskanych z lotniczej kamery cyfrowej ADS40 przeprowadzono w dwóch wariantach. W pierwszym wariantcie (Tab. 1, 2) uwzględniono cztery bloki wydzielone z bloku głównego. Pierwszy bloku Red-Pan składał się z trzech

Tab. 1. Ocena wewnętrzna wyrównania bloków na podstawie fotopunktów i punktów wiążących (wariant pierwszy).

Blok	Liczba punktów kontrolnych–liczba fotopunktów	Fotopunkty			Punkty wiążące		
		m_X [m]	m_Y [m]	m_Z [m]	m_X [m]	m_Y [m]	m_Z [m]
Red-Pan	10–5	0.02	0.05	0.09	0.08	0.11	0.22
Green-Green	10–5	0.10	0.09	0.10	0.09	0.11	0.20
Red-Red	10–5	0.11	0.13	0.04	0.10	0.13	0.26
Pan-Pan	10–5	0.05	0.09	0.05	0.07	0.08	0.14

Tab. 2. Ocena bezwzględna wyrównania bloków w oparciu o pomiar na punktach kontrolnych (wariant pierwszy).

Blok	Liczba punktów kontrolnych–liczba fotopunktów	m_X [m]	m_Y [m]	m_Z [m]
Red-Pan (bez fotopunktów)	10–0	0.27	0.20	0.66
Red-Pan	10–5	0.19	0.28	0.19
Green-Green	10–5	0.15	0.24	0.30
Red-Red	10–5	0.14	0.20	0.23
Pan-Pan	10–5	0.13	0.20	0.12

szeregów, z których każdy posiadał: dwa zobrazowania panchromatyczne (pozyskane do przodu i do tyłu) i jedno zobrazowanie w kanale czerwonym (pozyskane nadirowo). Drugi blok Green-Green składał się z trzech szeregów, z których każdy posiadał dwa zobrazowania w kanale zielonym (GrnN, GrnF). Trzeci blok Red-Red składał się z trzech szeregów, z których każdy posiadał dwa zobrazowania w kanale czerwonym (RedN, RedF). Czwarty blok Pan-Pan składał się z trzech szeregów, z których każdy posiadał dwa zobrazowania w kanale panchromatycznym pozyskane w kierunkach do przodu i do tyłu (PanF, PanB). W wariancie pierwszej dla każdego bloku w procesie orientacji wykorzystano 5 równomiernie rozmieszczonych fotopunktów.

W drugim wariancie z bloku głównego (Tab. 3 i 4) wydzielono trzy bloki składające się z trzech szeregów, z których każdy posiadał dwa zobrazowania w kanale panchromatycznym pozyskane w kierunkach do przodu i do tyłu (PanF, PanB). Następnie bloki te poddano procesowi aerotriangulacji z następującą kombinacją liczby fotopunktów: 3, 6, 10.

Ocenę bezwzględną wyrównania bloków przeprowadzono na podstawie niezależnych pomiarów na punktach kontrolnych (Tab. 2 i 4). W wariancie pierwszym pomierzono 10 punktów kontrolnych dla wszystkich bloków, natomiast w wariancie drugim odpowiednio 12, 9, 5 w stosunku do wyżej wymienionej liczby fotopunktów. Ocenę wewnętrzną wyrównania bloków przeprowadzono na podstawie błędów średnich na fotopunktach i punktach wiążących.

W wariancie pierwszym najmniejsze wartości błędów średnich wyznaczonych na podstawie poprawek do współrzędnych na punktach kontrolnych po wyrównaniu (Tab. 2)

Tab. 3. Ocena wewnętrzna wyrównania bloków na podstawie fotopunktów i punktów wiążących (wariant drugi).

Blok	Liczba punktów kontrolnych – liczba fotopunktów	Fotopunkty			Punkty wiążące		
		m_x [m]	m_y [m]	m_z [m]	m_x [m]	m_y [m]	m_z [m]
Pan-Pan	12–3	0.02	0.07	0.01	0.11	0.12	0.18
Pan-Pan	9–6	0.09	0.07	0.02	0.09	0.10	0.17
Pan-Pan	5–10	0.08	0.07	0.04	0.08	0.09	0.17

Tab. 4. Ocena bezwzględna wyrównania bloków w oparciu o pomiar na punktach kontrolnych (wariant drugi).

Blok	Liczba punktów kontrolnych – liczba fotopunktów	Punkty kontrolne		
		m_x [m]	m_y [m]	m_z [m]
Pan-Pan	12-3	0.11	0.22	0.13
Pan-Pan	9-6	0.08	0.12	0.12
Pan-Pan	5-10	0.06	0.14	0.10

uzyskano dla bloku zobrażeń Pan-Pan, gdzie $m_x=0.13$ m, $m_y=0.20$ m, $m_z=0.12$ m. Największe wartości błędów średnich w ocenie bezwzględnej przypadły na blok Green-Green, dla którego błędy średnie kwadratowe położenia punktu wyniosły $m_x=0.15$ m, $m_y=0.24$ m, $m_z=0.30$ m. Podobne rezultaty uzyskano dla bloku Red-Pan (Tab. 2). W ocenie wewnętrznej wyrównania bloku (Tab. 1) najmniejsze wartości błędów średnich wyznaczonych na podstawie poprawek do współrzędnych na fotopunktach i punktach wiążących po wyrównaniu uzyskano dla bloku Pan-Pan, dla którego błędy średnie na fotopunktach wyniosły $m_x=0.05$ m, $m_y=0.09$ m, $m_z=0.04$ m, zaś na punktach wiążących $m_x=0.05$ m, $m_y=0.09$ m, $m_z=0.14$ m.

Dla bloku Red-Pan (Tab.2) wartości błędów średnich wyznaczonych na podstawie poprawek do współrzędnych na punktach wiążących wyniosły: $m_x=0.27$ m, $m_y=0.20$ m, $m_z=0.66$ m. Natomiast w orientacji tego samego bloku uwzględniającego w wyrównaniu fotopunkty wartość błędów zmniejszyła się i wyniosła: $m_x=0.19$ m, $m_y=0.28$ m, $m_z=0.19$ m. Niższa dokładność aerotriangulacji w bloku wyrównanym na punktach wiążących, bez użycia fotopunktów (Tab.2) szczególnie jest zauważalna dla współrzędnej Z, gdzie wartość błędu dla tej współrzędnej wyniosła 0.66 m (3.3 piksel). Natomiast w wyrównaniu tego bloku uwzględniającym dodatkowo użycie fotopunktów wartość ta wyniosła 0.19 m (1 piksel).

W wariantcie drugim w ocenie wewnętrznej wyrównania (Tab. 3) w oparciu o fotopunkty najlepszą dokładność aerotriangulacji uzyskał blok Pan-Pan wyrównany na 3 fotopunktach, dla którego uzyskano wartości błędów $m_x=0.02$ m, $m_y=0.07$ m, $m_z=0.01$ m. Uzyskana wysoka dokładność orientacji tego bloku wiąże się bezpośrednio z użyciem w wyrównaniu tylko 3 fotopunktów, a przez to z brakiem nadliczbowości fotopunktów potrzebnych do poprawnej orientacji. Dla pozostałych bloków (wyrównanych na 6 i 10

fotopunktach) w ocenie wewnętrznej wyrównania wyniki orientacji oscylują na podobnym poziomie (Tab. 3). W wariancie drugim w ocenie wewnętrznej wyrównania bloków (Tab. 3) wartości błędów średnich wyznaczonych na podstawie poprawek do współrzędnych X,Y,Z na punktach wiążących są porównywalne. Kontynuując aspekt dokładności dla tego wariantu (Tab. 4) w oparciu o punkty kontrolne najlepsze wyniki orientacji bloku zobrazowań panchromatycznych ADS40 uzyskano przy użyciu 10 fotopunktów, dla którego wartości błędów średnich wyniosły: $m_x=0.06$ m, $m_y=0.14$ m, $m_z=0.10$ m. Podobne wyniki orientacji uzyskujemy w procesie wyrównania tego bloku na 6 fotopunktach. W wyrównaniu uwzględniającym 3 fotopunkty dokładność orientacji bloku zmalała, a wartości błędów średnich wyniosły odpowiednio: $m_x=0.11$ m, $m_y=0.22$ m i $m_z=0.28$ m.

5. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że najlepszą dokładność aerotriangulacji zobrazowań ADS40 pozyskanych w różnych zakresach spektralnych przy tej samej liczbie fotopunktów uzyskano dla kanału panchromatycznego, dla którego wartości błędów średnich wyznaczonych na podstawie poprawek do współrzędnych punktów kontrolnych po wyrównaniu wyniosły: $m_x=0.13$ m, $m_y=0.20$ m, $m_z=0.12$ m. Zbliżoną dokładność uzyskano dla bloku zobrazowań w kanale czerwonym, gdzie $m_x=0.14$ m, $m_y=0.20$ m, $m_z=0.23$ m.

Uzyskane wyniki potwierdzają, że wykorzystanie do aerotriangulacji zobrazowań ADS40 pozyskanych w kanale zielonym nie daje spodziewanych rezultatów. Dlatego też do tworzenia kolejnych produktów fotogrametrycznych z cyfrowej kamery ADS40 takich jak numeryczny model terenu, ortofotomapa, czy produktów uzyskanych ze stereodygitalizacji powinny być użyte zobrazowania pozyskane w kanale panchromatycznym.

Wykonanie aerotriangulacji zobrazowań ADS40, posilując się wyłącznie pomiarami GPS/IMU oraz pomiarem APM, nie zapewni uzyskania produktów dokładności poziomu L2 (ortoobrazy o dokładności odpowiadającej kryterium dokładnościowemu mapy topograficznej w skali 1:2000). Aby zapewnić prawidłową geometrię bloku zobrazowań ADS40 przy wielkości terenowego piksela 0.20 m, wyrównanie powinno być przeprowadzone na co najmniej 6 fotopunktach. Zwiększanie liczby fotopunktów powyżej 6 nie wpływa znacząco na poprawę dokładności.

6. LITERATURA

Boczarski S., Dąbrowski R., Fedorowicz-Jackowski W., Zych J., 2006. Kamera cyfrowa Leica ADS40, skaner laserowy Leica ALS50 – doświadczenia produkcyjne. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol.16, s. 41-51.

Hinsken L., Miller S., Tempelmann U., Uebbing R., Walker A.S., 2002. Triangulation of the LH Systems' ADS40 using ORIMA GPS/IMU. *International Archive of Photogram-*

metry, *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXIV Part 3A, Graz, Austria.

Kocaman S., Zhang L., Gruen A., 2006. Self-calibrating Triangulation of Airborne Linear Array CCD Cameras. *EuroCOW 2006 International Calibration and Orientation Workshop*, Castelldefels, Spain, 25-27 Jan.

Kocaman S., Casella V., Franzini M., Gruen A., 2008. Geometric accuracy assessment of ADS40 imagery under various network configurations. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XXXVII. Part B1. Beijing, s. 627-632.

Tempelmann, U., Hinsken, L., Recke, U., 2003. ADS40 Calibration and Verification Process. *Proceedings of Optical 3D Measurement Techniques Conference*, Zurich, Switzerland, s. 48-54.

ESTIMATION OF THE ACCURACY OF THE TRIANGULATION OF ADS40 IMAGERY

KEY WORDS: ADS40 imagery, aerial photogrammetry, triangulation, accuracy analysis

SUMMARY: The camera ADS40 is equipped with a Three-Line-Scanner (TLS) therefore triangulation issues here require another approach than that used with other airborne cameras. The triangulation tests performed were based on an ADS40 photogrammetric block consisting of three strips with flying heights of 2000 m. The average ground resolution for this flight was 20 cm. The whole triangulation process was carried out using ORIMA (Leica Geosystems) software. An analysis was carried out to determine the accuracy of the ADS photogrammetric strips using different spectral bands. Tests were performed with different numbers of GCPs (ground control points). Estimation of orientation accuracy of the block test was based on statistical parameters which were obtained from the analysis of the covariance matrix of system unknowns and the residuals of the ground control points, tie points and the checkpoint. The measurement of the checkpoint was performed manually by the stereoscopic observer on the Intergraph photogrammetric image station based on the ISSD module (Image Station Stereo Display).

mgr inż. Artur Karol Karwel
karwel@igik.edu.pl
telefon: +48 22 3291986

BADANIE MOŻLIWOŚCI AUTOMATYCZNEGO DOPASOWANIA OBRAZÓW O ZBLIŻONYCH ELEMENTACH ORIENTACJI ZEWNĘTRZNEJ*

EVALUATION OF THE DEGREE OF AUTOMATION IN THE MEASUREMENT AND MATCHING OF IMAGES WITH SIMILAR EXTERIOR ORIENTATION

Michał Kowalczyk

Zakład Fotogrametrii, Teledetekcji i Systemów Informacji Przestrzennej,
Politechnika Warszawska

SŁOWA KLUCZOWE: fotogrametria bliskiego zasięgu, dynamiczna rejestracja, korelacja, model trójwymiarowy

STRESZCZENIE: Prowadzone eksperymenty wykorzystują założenie, że obrazy zarejestrowane za pomocą kamery cyfrowej mają zbliżone elementy orientacji zewnętrznej. Położenie stanowiska kamery względem układu terenowego, zdefiniowane jako współrzędne wektora wodzącego i kąty obrotu względem poszczególnych osi, mają wartości zbliżone dla sąsiednich klatek filmu. Warunki te umożliwiają zastosowanie bardzo szybkich i skutecznych technik automatyzujących znajdowanie wspólnych szczegółów na sąsiednich obrazach. Po wykonaniu tego połączenia możliwe jest odtworzenie obrazu rejestrowanego obiektu jako trójwymiarowego modelu. Ponadto dzięki wykorzystaniu wielu zdjęć jednocześnie wzrasta niezawodność pomiaru. Eksperymenty prowadzone w ramach niniejszego projektu mają za zadanie wprowadzenie niezawodnie działającej automatyzacji pozyskania trójwymiarowej informacji o kształcie badanych obiektów. Jako przygotowanie do pomiarów została wykonana kalibracja zdjęć oraz identyfikacja punktów reprezentujących te same obiekty w przestrzeni rejestrowanej sceny.

1. WPROWADZENIE

Podążanie w kierunku jeszcze bardziej zautomatyzowanych procesów fotogrametrii napotyka wciąż na znaczne trudności. Głównym elementem ciągu technologicznego, który musi wciąż prowadzić człowiek, jest prowadzenie obserwacji stereoskopowej. Podczas tej często wielogodzinnej i żmudnej pracy czynności wykonywane przez obserwatorów są wciąż nie do zastąpienia przez nawet najbardziej zaawansowane algorytmy.

Obecnie prowadzone są próby wdrożenia możliwie samodzielnie działających systemów w celu skutecznie prowadzonej korelacji między obrazami, pochodzącymi z różnych stanowisk kamery. Prace te mają za zadanie zwiększenie zakresu problemów pomiarowych, które fotogrametria byłaby w stanie rozwiązać.

Zależnie od zmiany parametrów położenia stanowisk kamery, branych pod uwagę przy porównywaniu zdjęć między sobą, proces kojarzenia fragmentów obrazów przebiega z większą lub mniejszą efektywnością. Trudność jest związana z dwoma pojawiającymi się problemami.

Pierwszy z nich związany jest ze znaczną zmianą elementów orientacji zewnętrznej kamery pomiędzy sąsiednimi zdjęciami. Znalezienie początkowego przybliżenia tych wielkości jest bardzo skomplikowane. Wynika to głównie z mnogości i czasochłonności obliczeń koniecznych do przeprowadzenia. Osobną kwestią, konieczną do uwzględnienia, jest odporność stosowanych algorytmów na pomyłki i wybranie niewłaściwych rozwiązań.

Drugim problemem jest automatyczne znalezienie odpowiadających sobie fragmentów obiektu na osobnych obrazach cyfrowych. Obiekt widoczny pod innym kątem może być kompletnie niepodobny do swojego wyglądu na poprzednim obrazie. Do identyfikacji odpowiadających sobie elementów zobrazowanej sceny konieczny jest operator.

Zadania z którymi ma do czynienia fotogrametria bliskiego zasięgu, szczególnie są narażone na niepowodzenie przy rozwiązywaniu za pomocą automatycznie działających procedur. Jest to związane przede wszystkim ze skomplikowaną konfiguracją stanowisk kamery podczas wykonania zdjęć. Obiekty, dla których mają być stworzone odpowiadające im modele trójwymiarowe muszą być odpowiednio otoczone stanowiskami kamery. Takie ustawienie jest spowodowane koniecznością ukazania tych obiektów z każdej strony.

Kamerą, wykorzystywaną do realizacji sesji zdjęciowej może być aparat cyfrowy rejestrujący pojedyncze klatki obrazu, lub kamera cyfrowa do zapisu ciągłego filmu. W drugim przypadku mamy zwykle do czynienia ze znacznie mniejszą rozdzielczością obrazów – ramek.

W tym przypadku korelacja obrazów dzięki małym różnicom między położeniem stanowiska kamery dla sąsiednich klatek filmu jest ułatwiona. Cecha ta charakteryzująca film o zapisie ciągłym, daje możliwość znacznego podniesienia niezawodności zbudowania wiernego modelu badanego obiektu.

Obrazy oferowane przez współczesne kamery rejestrujące film mają teoretycznie znaczny potencjał pomiarowy, którego wartość należy odpowiednio wykorzystać. Obecnie prowadzone badania w tym kierunku na świecie potwierdzają zasadność tego przypuszczenia.

2. PRZEGLĄD LITERATURY ZWIĄZANEJ Z POZYSKANIEM INFORMACJI Z SERII ZDJĘĆ

Literatura dotycząca problematyki korelacji, prowadzonej między kadratami zapisywanych filmów ukazuje trudności w tej tematyce i sposoby ich pokonywania proponowane przez autorów. Całość procesu technologicznego można podzielić na szereg istotnych i koniecznych do wykonania etapów.

Pierwszym z nich jest etap rejestracji filmu. W skład tego działania wchodzi odpowiednie przygotowanie kamery. Należy zablokować o ile to możliwe jak najwięcej parametrów jej pracy tak, aby rejestrowane klatki charakteryzowały się maksymalną powtarzalnością orientacji wewnętrznej kamery. Ważne jest nastawienie ogniskowania na stałą wielkość (zależną od wielkości ogniskowej układu optycznego oraz średniej odległości od rejestrowanego obiektu).

Przebieg trajektorii przemieszczania się kamery względem obiektu jest również bardzo ważny, aby uwzględnić wszelkie ważne, z punktu opracowania finalnego, detale obiektu, przeznaczone do modelowania trójwymiarowego.

Następnym etapem prac jest odpowiednie przygotowanie do pomiaru klatek filmu. Proces ten ma za zadanie przygotować materiał filmowy do przeprowadzenia identyfikacji punktów zakotwiczących sąsiednie klatki względem bazowej, kolejno branej pod uwagę (Gerke, 2008).

W jego zakres wchodzi zredukowanie szumów stosując filtrowanie dolnoprzepustowe oraz zwiększenie zróżnicowania tonalnego, poprzez rozciągnięcie histogramu do pełnego zakresu wartości nadawanych w procesie kwantyzacji (zwykle 8 bitowego). Celem tego etapu jest maksymalne tonalne upodobnienie poszczególnych klatek między sobą.

Po wstępnym przekształceniu przygotowawczym następuje proces wyboru punktów charakterystycznych w klatkach filmu. Dobierane są one z reguły tak, aby mogła nastąpić ich jednoznaczna identyfikacja na kolejnej klatce. Brane są pod uwagę miejsca położone na kontrastowych krawędziach zwłaszcza o cechach węzła łączącego te krawędzie. Przykład potencjalnych punktów do przeprowadzenia procesu korelacji pokazany jest na rysunku 1 (Ding, Zhang, 2008).

Po znalezieniu punktów niezwykle istotne jest określenie ich wzajemnej przynależności na różnych klatkach. To badanie dotyczyć może zarówno sąsiednich jak i oddalonych od siebie kadrów filmu (Gerke, 2008). Stosowane są tu bardzo różne podejścia, powodujące eliminację fałszywych detekcji punktów (Ding, Zhang, 2008). Zarówno na etapie zaznaczania punktów jak i ich łączenia z poszczególnymi kadrów, postępuje stopniowe wykrywanie bardziej złożonych elementów takich jak linie. Wyniki etapu prac uzyskane przez poszczególnych autorów są prezentowane na rysunku 2.

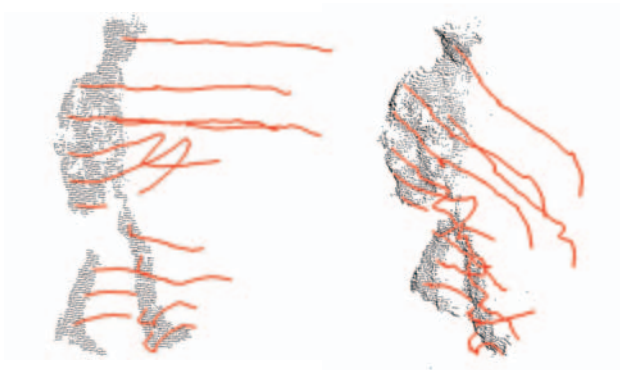


Rys. 1. Punkty charakterystyczne znalezione na różnych klatkach filmu (Ding, Zhang 2008).



Rys. 2. Identyfikacja punktów i elementów charakterystycznych na dwóch kadrach filmu: a) Ding, Zhang, 2008; b) Tian *et al.*, 2008.

Zależnie od badanego obiektu prowadzona jest ścieżka, złożona z punktów leżących w tym samym miejscu przestrzeni przedmiotowej, a zobrazowanych na różnych kadrach filmu. W trakcie pomiarów na tej samej zasadzie może być wyznaczana trajektoria ruchu obiektu poruszającego się względem nieruchomej kamery. Przykład wykrytych trajektorii ruchu człowieka przedstawiony jest na rysunku 3 (Apuzzo, 2001).



Rys. 3. Wyznaczony przebieg ruchu wybranych punktów na poruszającym się człowieku (Apuzzo, 2001).

Opisane w dalszej części eksperymenty mają za zadanie przygotowanie do procesu budowy modelu trójwymiarowego obiektu rejestrowanego na filmie.

3. EKSPERYMENTY ZWIĄZANE Z IDENTYFIKACJĄ PUNKTÓW OBIEKTU NA KADRACH FILMU

Wstępne eksperymenty prowadzone były wykorzystując kamerę wyposażoną w blokadę stałych ustawień ogniskowania. Obiekt, stanowiący pole testowe, znajdował się w odległości około metra przed kamerą. Generowany przez nią film charakteryzował się następującymi cechami:

- format obrazu: 1920x1080 pikseli,
- częstotliwość rejestrowanych klatek: 25 fps.,
- zapis filmu: format mpeg2 (*.tod).

Prowadzone badania podzielone były na kilka istotnych etapów. Po wybraniu pojedynczych klatek nastąpiła kalibracja obrazów. Ostatnim badanym w niniejszej pracy elementem było wykrycie odpowiadających sobie punktów na sąsiednich kadrach filmu.

3.1. Pozyskanie obrazów

Obecnie różnorodność formatów danych zapisywanych przez urządzenia pozyskujące obraz sprawia, że bardzo ważną kwestią jest odpowiedni dobór oprogramowania potrzebnego do konwersji postaci danych. Ważne jest to dla prowadzenia pomiarów o właściwej dokładności na zdjęciach.

Pierwszym elementem procesu technologicznego jest możliwość odczytu filmu, przez zastosowanie odpowiedniego dekodera do formatu zapisywanego przez kamerę. Kamera wykorzystywana w badaniach zapisywała w formacie mpeg2, o rozszerzeniu „tod”.

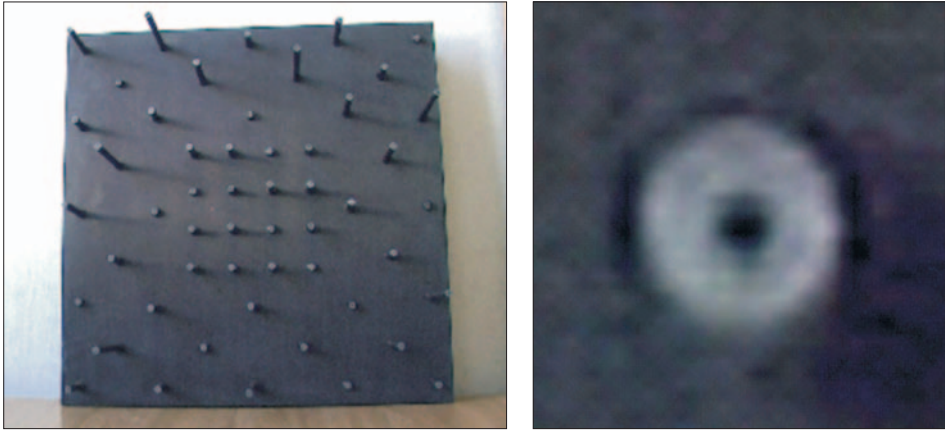
Następnie należy odczytać pojedyncze ramki obrazu, zachowując ich maksymalne parametry informacyjne. Do obu etapów był wykorzystany popularny program „*Classic Media Player*”.

3.2. Kalibracja kamery

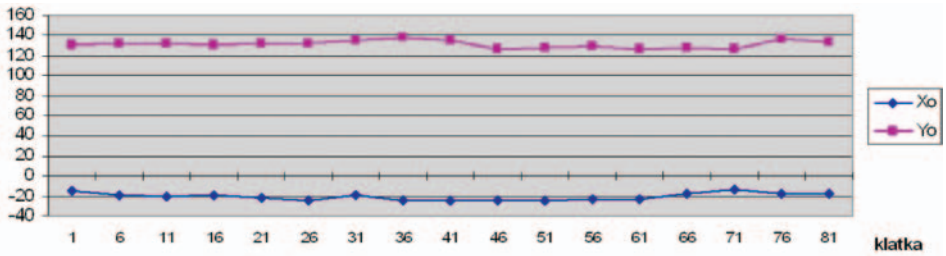
Zostały wykonane zdjęcia trójwymiarowego testu o wymiarach 60x60x15 cm pokazanego na rysunku 4.

Proces pomiaru współrzędnych łowych został wykonany za pomocą autorskiego programu komputerowego.

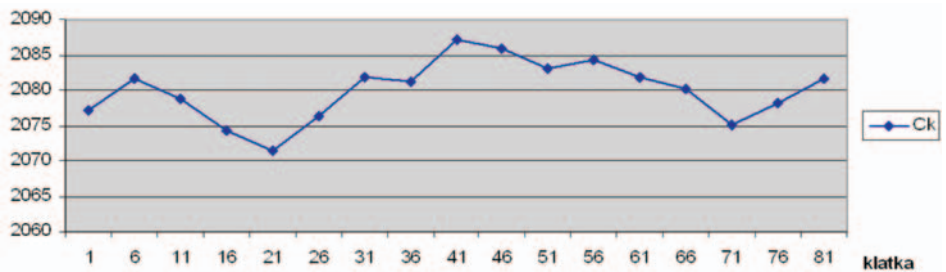
Kalibracja została przeprowadzona aproksymując błędy systematyczne odwzorowania standardowym modelem parametrycznym. Kalibracja była wykonywana dla pojedynczych obrazów programem „*Kalib*”, dostępnym w Zakładzie Fotogrametrii, Teledetekcji i Systemów Informacji Przestrzennej Politechniki Warszawskiej. Wyniki kalibracji dla grupy klatek filmu przedstawione są na rysunku 5 i 6.



Rys. 4. Trójwymiarowe pole testowe przeznaczone do kalibracji ramek filmu i fragment zdjęcia pozyskanego kamerą.



Rys. 5. Powtarzalność wyznaczenia położenia punktu głównego.



Rys. 6. Powtarzalność wyznaczenia odległości obrazowej kamery.

Wyniki kalibracji podstawowych elementów orientacji wewnętrznej obrazów wskazują na znaczną powtarzalność ich wartości pomiędzy ramkami filmu. Daje to pewne przesłanki do założenia ich niezmienności w trakcie rejestracji.

3.3. Badanie możliwości korelacji fragmentów obrazu, pochodzących z sąsiednich klatek

Wykonany został z powodzeniem eksperyment poszukiwania punktów charakterystycznych na obrazie i znajdowania ich odpowiedników na następnym. W trakcie prowadzonego badania kryterium poszukiwań było związane z lokalnym gradientem obrazu w kilku kierunkach. W celu przyspieszenia procesu wyszukiwania podobnych fragmentów obrazów, zostały wykonane pewne wstępne czynności, zawierające między innymi filtrację dolnoprzepustową. Do badań był wykorzystany autorski program. Rysunek 7 przedstawia otrzymane rezultaty poszukiwań.



Rys. 7. Efekt znajdowania odpowiedników punktów identyfikowanych na sąsiednich klatkach filmu.

Powiązania w ten sposób uzyskane umożliwiają prowadzenie dalszych etapów rekonstrukcji trójwymiarowego kształtu i pokrycia obiektów. Na te etapy składa się wprowadzenie kontroli uzyskiwanych powiązań między obrazami oraz przeniesienie identyfikacji punktów na dalsze kadry filmu (poszerzając bazę).

4. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone eksperymenty wskazują na możliwość wykorzystania kamery jako środka rejestracji obrazów, które charakteryzują się znaczną powtarzalnością elementów orientacji wewnętrznej.

Analiza filmu wykazała możliwości w zakresie przeprowadzenia automatycznego wyszukiwania odpowiadających sobie punktów między klatkami. Stanowi to przygotowanie do kolejnych etapów opracowywanego procesu technologicznego.

5. LITERATURA

Apuzzo, N., 2001. Motion Capture From Multi Image Video Sequences. *Proc. of the XVIIIth Congress of the Int. Society of Biomechanics*, Zurich, Switzerland, CDROM paper #0106.

Ding Y., Zhang J. Q., 2008. Architectural Scene Rapid Reconstruction Based on Features. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVII. Part B3b, Beijing.

Gerke M., 2008. Dense Image Matching In Airborne Video Sequences. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVII. Part B3b, Beijing.

Tian Y., Gerke M., Vosselman G., Zhu Q., 2008. Automatic Edge Matching Across an Image Sequence Based on Reliable Points. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVII. Part B3b, Beijing.

EVALUATION OF THE DEGREE OF AUTOMATION IN THE MEASUREMENT AND MATCHING OF IMAGES WITH SIMILAR EXTERIOR ORIENTATION

KEY WORDS: photogrammetry, close range, movie, correlation, 3D model

SUMMARY: The main purpose of the experiments carried out is to take advantage of the assumption that images registered by the digital video camera have similar external orientation elements, and as a result the position of the camera station in the terrain coordinates system, defined by coordinates of the indicative vector and rotation angles to the relevant axes, have similar values in neighbouring film frames. These conditions allow one to applying very fast and accurate solutions for automating the finding of common features in corresponding images. After making such connections it appears possible to create a three dimensional model of the registered feature. It appears that the measurement process is rendered more robust by the use of a large number of images at one time. The task of the experiments carried out within this project is to introduce absolutely flawless automation of the acquisition of three dimensional information about the shape of the features analysed. As a preparation for measurement, calibration of the photographs as well as identification of the points representing the same features in the area of the view recorded was carried out.

dr inż. Michał Kowalczyk
mikowalczyk@wp.pl
telefon: +48 22 2347694

* wersja kolorowa artykułu jest dostępna na stronie <http://www.sgp.geodezja.org.pl/ptfit>

**WSPOMAGANIE PROGRAMOWE MANUALNEGO
POZYSKIWANIA LINII STRUKTURALNYCH DACHÓW
DLA GENEROWANIA TRUE ORTHO***

**PPROGRAM SUPPORT FOR MANUAL ACQUISITION
OF STRUCTURAL LINES OF ROOFS
IN TRUE ORTHO GENERATION**

Michał Kowalczyk, Piotr Podlasiak, Ryszard Preuss, Dorota Zawieska

Zakład Fotogrametrii, Teledetekcji i Systemów Informacji Przestrzennej,
Politechnika Warszawska

SŁOWA KLUCZOWE: ortofotomapa, true-ortho, martwe pola, NMPT, stereodigitalizacja, obrysy budynków

STRESZCZENIE: Ortofotomapa cyfrowa jest istotnym składnikiem baz danych GIS. Posiada ona jednak szereg wad w obszarach zabudowanych. Wady te są eliminowane w procesie generowania true-ortho z uwzględnieniem precyzyjnego Numerycznego Modelu Pokrycia Terenu, czyli z uwzględnieniem struktury dachów. Model NMPT decyduje o jakości produktu finalnego. Proces generowania NMPT składa się z szeregu etapów technologicznych przebiegających przy różnym stopniu automatyzacji. NMPT w obszarach o dużym zagęszczeniu budynków i skomplikowanej strukturze dachów tworzony automatycznie nie spełnia najczęściej kryteriów jakościowych. Dlatego też przy tworzeniu precyzyjnych true-ortho, jest on w dalszym ciągu pozyskiwany manualnie. Programy tworzące true-ortho wczytują dane wektorowe w formacie DXF, który jednak nie zapewnia odpowiedniej kontroli zapisu struktury dachów. Wykorzystując oprogramowanie OrthoMaster firmy Inpho, wymaganych jest szereg kryteriów dla danych inicjalnych opisujących strukturę dachów. W niniejszym artykule omówiono funkcjonalność, tworzonych w ramach prowadzonego projektu badawczego, aplikacji do odpowiedniego zapisu danych wektorowych, podczas manualnego pozyskiwania i edycji linii strukturalnych dachu. Zadaniem tych aplikacji jest korekta występujących błędów w postaci przecinania się obrysów dachów i kalenic. Utworzone aplikacje programowe badają i korygują odpowiednie kryteria geometryczne i poprawiają zapisy wektorowe pozyskanych typów obiektów wprowadzanych ostatecznie do programu generującego true-ortho. Opracowane aplikacje programowe w sposób istotny zwiększają efektywność i jakość tworzonego NMPT i wtórnie produktu końcowego w postaci true-ortho.

1. WPROWADZENIE

Cyfrowa ortofotomapa stała się powszechnym produktem geomatycznym zasilającym różnego typu bazy danych przestrzennych. Jest ona doskonałym źródłem danych do zasilania baz wektorowych dla obszarów odkrytych. Dzięki posiadanej georeferencji i dobrej jakości kartometrycznej pozwala na efektywne pozyskiwanie danych wektorowych 2D. Atrakcyjność tego produktu wzmacnia dodatkowo relatywnie niski jego koszt, dzięki wysoce zautomatyzowanemu procesowi wytwarzania. Cyfrowa ortofotomapa ma jednak istotny mankament: prawidłową lokalizację na niej mają obiekty leżące na NMT, a więc sama powierzchnia terenu i obiekty płaskie na niej położone. Nie można tego powiedzieć o obiektach „wystających” ponad powierzchnię terenu, jak budynki, roślinność, mosty, wiadukty i inne obiekty antropogeniczne, leżące ponad powierzchnią terenu. Obrazy tych obiektów pozostają przesunięte, zgodnie z rzutem środkowym źródłowego zdjęcia. Obrazy dachów są przesunięte (zgodnie z rzutem środkowym) w funkcji wysokości budynku, jego lokalizacji na zdjęciu. Dodatkowo widoczne są fasady budynków, a fragmenty powierzchni terenu są przesłonięte przez dachy budynków tworząc – tzw. martwe pola (Rys.1).



Rys. 1. Przykład błędnej lokalizacji obiektów „wystających” na ortofotomapie.

W terenach zurbanizowanych (miejskich) ortofotomapa nie jest kartometryczna dla obiektów wystających ponad powierzchnię topograficzną opisaną NMT. Taka ortofotomapa w obszarze zabudowanym nie może również być źródłem opracowania mapy wektorowej, tworzonej poprzez wektoryzację ekranową jej obrazu, co stanowi obecnie podstawową technikę tworzenia takich map.

Produktem pozbawionym powyższych wad jest true-ortho, określane również jako „prawdziwy ortoobraz”, czy „rzeczywisty” ortoobraz. True-ortho jest rzutem ortogonalnym wszystkich obiektów zarejestrowanych na zdjęciu, zarówno powierzchni topograficznej terenu, jak i obiektów „wystających” ponad tę powierzchnię, jak roślinność, budynki, mosty i inne obiekty antropogeniczne, nie włączone do NMT (Nielsen, 2004). W praktyce zawęża się zwykle kategorie obiektów ortorektyfikowanych – poza powierzchnią terenu – do budynków, mostów i wiaduktów.

Źródłem danych wysokościowych dla modelowania budynków może być (Kurczyński, Preuss, 2009):

- 1) Manualny pomiar stereoskopowy na stacji fotogrametrycznej (stereodigitalizacja), czego wynikiem jest zwykle wektorowy, „szkieletowy” model (określany również jako „drutowy”). Jest to najdokładniejsze i najlepsze modelowanie z punktu widzenia potrzeb generowania true-ortho. Jest to jednak proces czasochłonny.
- 2) Automatyczny pomiar na stacji fotogrametrycznej, poprzez dopasowanie obrazów (*image matching*). W wyniku uzyskuje się „chmurę punktów” XYZ, w strukturze GRID lub TIN, reprezentujących kształt dachów budynków i innych obiektów. W kontekście modelowania brył budynków dla generowania true-ortho brak jest bezpośrednich krawędzi brył, w tym obrysu dachów i linii załamania płaskich płatów, oddających przestrzenną formę dachu. Problemem jest również bardzo duża objętość danych pomiarowych.
- 3) Lotniczy skaningu laserowy, dający „chmurę” punktów XYZ reprezentujących kształt dachów budynków i innych obiektów. Jest to więc forma danych zbliżona do automatycznego pomiaru fotogrametrycznego. Dane skaningu laserowego mają podobne ograniczenia jak wynik dopasowania obrazów. W kontekście modelowania budynków dla generowania true-ortho zaletą danych skaningu laserowego jest częściowa penetracja promienia laserowego przez roślinność i możliwość rejestracji więcej niż jednego odbicia („echa”) danego impulsu laserowego. Dla obszaru pokrytego roślinnością oznacza to możliwość rozróżnienia koron drzew od powierzchni gruntu.

Efektywność technologii true-ortho zależy od stopnia automatyzacji ekstrakcji brył budynków z danych skaningu laserowego (Gołębiowski, 2008) lub danych z automatycznego dopasowania obrazów. Jednakże na obszarach zwartej zabudowy i przy dużej różnorodności typów dachów budynków metoda manualnej stereodigitalizacji w dalszym ciągu odgrywa zasadniczą rolę wpływającą na jakość produktu finalnego. Wstępne analizy dotyczące rodzaju danych opisujących modele 3D budynków zostały przedstawione w artykule Bujakiewicz, Preuss (2009). Produkt manualnej stereodigitalizacji w postaci wektorowych obrysów dachów musi spełniać szereg warunków zdefiniowanych przez program generujący true-ortho. Warunki te trudno zrealizować na etapie prowadzenia obserwacji, dlatego też wymagają one wtórnej edycji. W niniejszym artykule prezentowane są algorytmy do automatycznej korekcji obrysów dachów budynków opracowane w trakcie realizacji pracy badawczej „Badanie jakości true-ortho w aspekcie wykorzystywanych do jego generowania danych źródłowych”- nr N N 526 0668 33.

2. WYMAGANIA PROGRAMU ORTHOMASTER FIRMY INPHO DLA BUDOWY NMPT

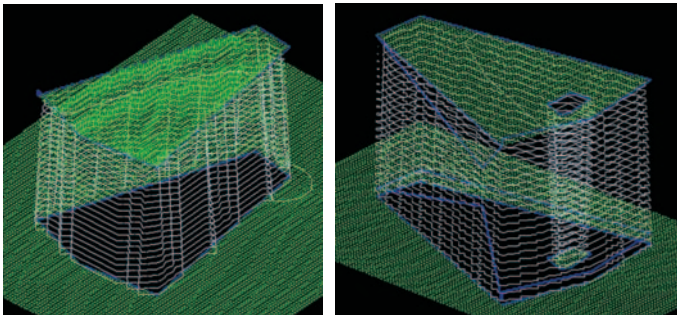
Dane wektorowe opisujące kształty dachów budynków są rejestrowane jako poligony typu 3D i muszą spełniać następujące warunki:

- poszczególne poligony nie mogą się przecinać z innymi i same ze sobą,
- różne poligony mogą mieć punkty wspólne (uzyskane przez snapowanie), ale nie mogą mieć wspólnych krawędzi (tzn. krawędź wspólna dwu budynków musi być oddzielna dla każdego z budynków, pomimo tego, że mogą się one pokrywać),
- obwód dachu powinien stanowić łamaną zamkniętą, nieprzecinającą się z żadnym innym obiektem, w rzucie na płaszczyznę XY,
- poszczególne odcinki grzbietu dachu (kalenice) nie mogą się przecinać z obrysem dachu - mogą go „dotykać” – być „dosnapowane” w XY,
- studnie (wewnętrzny obszar pomiędzy budynkami) należy zdefiniować jako poligon zamknięty na wysokości gruntu,
- w przypadku wielopoziomowych dachów wyższe partie dachów przesłaniają niższe.

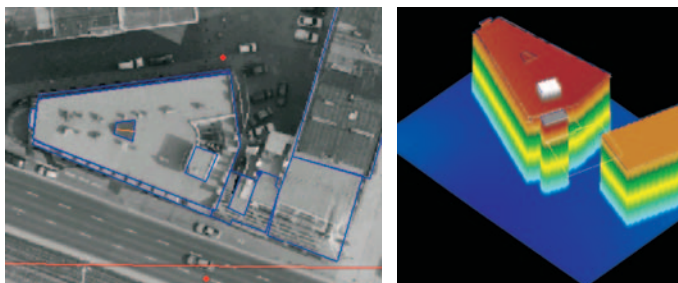
Ostatecznie obrysy dachów budynków są integrowane z NMT w celu wygenerowania NMPT (Rys. 2) według następujących reguł:

- obrysy budynków są duplikowane,
- jeden jest obniżony do poziomu NMT (lub niższej warstwy),
- wierzchołki drugiego są przesuwane do wewnątrz, w celu wyeliminowania niejednoznaczności w budowie NMPT,
- dla tak utworzonej piramidy tworzony jest (wewnętrznie) NMPT rastrowy, który jest łączony z NMT,
- tworzona jest maska widoczności.

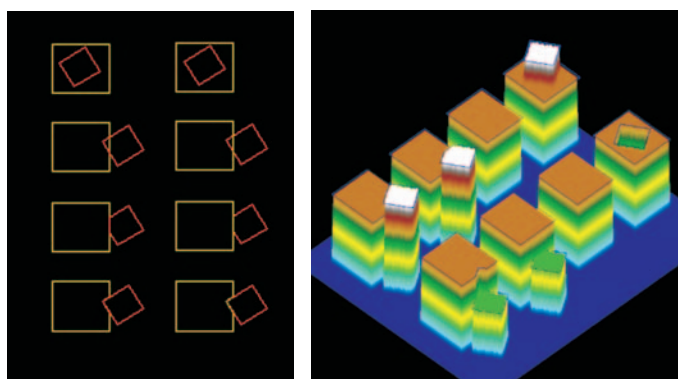
Odstępstwo od tych zasad powoduje powstawanie szeregu błędów, które są ilustrowane na rysunkach 3 i 4. Sytuacja ilustrowana na rysunku 4 została zasymulowana



Rys. 2. Przykład generowania NMPT przez program OrthoMaster.



Rys. 3. Wpływ błędnego pomiaru obrysów budynków na generowane true-ortho.



Rys. 4. Prezentacja graficzna interpretacji danych wektorowych obrysów dachów w programie OrthoMaster.

sztucznie, szeregiem możliwych do wystąpienia przypadków stereodigitalizacji stykających się obiektów. Wyniki tego eksperymentu wykorzystano przy testowaniu funkcjonalności, wykorzystywanego w badaniach programu OrthoMaster oraz uwzględnieniu tych wyników przy przygotowywaniu aplikacji programowych wspomagających proces manualnej stereodigitalizacji na fotogrametrycznej stacji cyfrowej.

3. FUNKCJONALNOŚĆ METODY AUTOMATYCZNEJ

Model obrysów dachów, wymagany przez program OrthoMaster, powinien być zapisany w postaci danych wektorowych w popularnym formacie DXF. Tworzenie tych danych, przypada w udziale obserwatorom, podczas stereodigitalizacji stereogramów z wykorzystaniem cyfrowych stacji fotogrametrycznych. Pomiar i edycja prowadzona przez obserwatorów jest obciążona licznymi błędami i niedociągnięciami. Mogą być one

spowodowane różnymi czynnikami jak: brak widoczności fragmentów dachu, zachodzenie na siebie, skomplikowaną strukturę szkieletu dachu, czy zwykłe pomyłki.

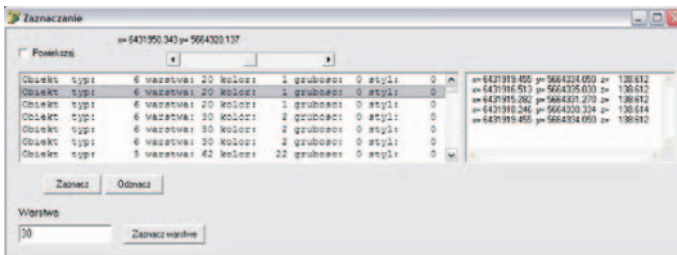
Wymienione przypadki powodują błędne działanie programu wykonującego ortorektyfikację – OrthoMaster. Tworzony przez program NMPT może wtedy nie uwzględnić błędnych fragmentów struktury szkieletów dachów bądź nawet całych obramowań – krawędzi, tak jak to przedstawiono w rozdziale 2.

Analizując występujące błędy manualnego sposobu pozyskiwania danych, dotyczących struktury poszczególnych dachów, postanowiono skorygować je przy pomocy specjalnie opracowanej aplikacji komputerowej. Zaproponowana aplikacja działa na zasadzie automatycznej, zgodnie z potrzebami programu tworzącego NMPT. Uwzględnia takie elementy jak zamykanie obrysów granicznych poszczególnych dachów budynków oraz poprawia elementy przecinających się krawędzi. Jest to niezbędne do prawidłowej interpretacji danych w dalszych krokach procesu technologicznego tworzenia true-ortho. Realizacja automatyczna takiego procesu edycji danych, pozwala na ograniczenie pracochłonności czynności wykonywanych manualnie.

Działanie programu do korekty informacji wektorowych składa się z następujących etapów:

- założenie struktury danych składającej się ze zbioru punktów oraz obiektów będących liniami łamanymi,
- wczytanie pliku wektorowego DXF i umieszczenie jego elementów w utworzonej strukturze,
- korekcja elementów pod względem logicznym i geometrycznym,
- nadanie numerów budynkom,
- zamykanie obramowań dachów,
- usuwanie konfliktów takich jak zachodzenie na siebie budynków i innych obiektów (kalenic, kominów itp.),
- korekcja wysokości, jeżeli poszczególne obiekty mają mieć stałą jej wartość,
- eksport skorygowanych elementów do pliku graficznego DXF.

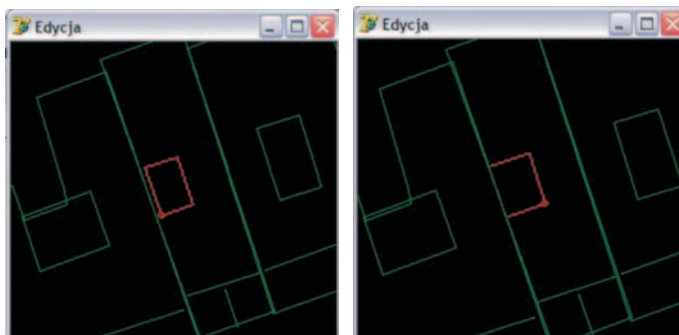
Kontrola struktury danych przedstawiona jest na rysunku 5. Po lewej stronie okna znajduje się lista obiektów zaimportowanych ze zbioru DXF. Po prawej stronie współrzędne punktów należących do wybranego obiektu (może nim być obramowanie budyn-



Rys. 5. Lista obiektów wektorowych przeznaczonych do korekcji.

ku, kalenica lub komin). Możliwe jest zaznaczanie do poszczególnych operacji obiektów według warstwy lub wskazania.

Niektóre czynności wykonywane przez program nie mogą być realizowane w sposób w pełni automatyczny, więc interwencja operatora jest niezbędna. Dotyczy to sytuacji usuwania konfliktów zachodzenia na siebie obiektów w rzucie na płaszczyznę XY. W tym przypadku konieczne jest podjęcie decyzji co do właściwego przebiegu granicy między budynkami. Na rysunku 6 przedstawiona jest sytuacja zachodzenia na siebie

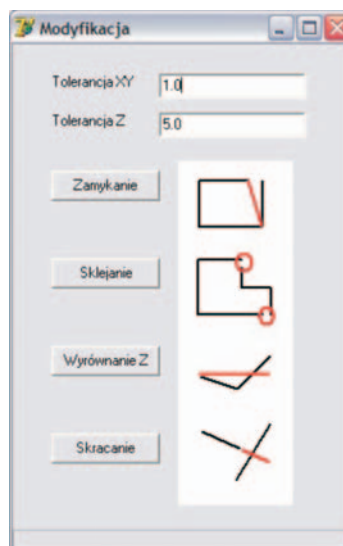


Rys. 6. Korekcja przebiegu granicy dachu.

dwóch obramowań dachu i przeprowadzenie manualnej korekcji dla późniejszego wykonania poprawnego NMPT.

Automatyczne usuwanie problemów dotyczy wyszukiwania odpowiadających sobie obiektów dotyczących lokalizacji np. znajdowanie kalenic odpowiadających danemu obramowaniu dachu budynku. Dotyczy to również wyrównywania wysokościowego granic obiektów zamkniętych oraz zamykania obiektów. Czynności te przedstawione są w formie okna dialogowego na rysunku 7.

Numerowanie dachów odbywa się poprzez zaznaczenie obiektu zamkniętego i następnie program wyszukuje wszystkie elementy leżące w obrębie danego obwodu dachu. Przeprowadzona weryfikacja działania tej aplikacji na obszarze testowym (fragment miasta Wrocławia) wykazała, że ponad 90% błędów i konfliktów powstałych na etapie manualnego pozyskiwania danych można skorygować metodą automatyczną.



Rys. 7. Wybór czynności korekcyjnych dostępnych jako automatyczne działanie na zbiorze danych wektorowych.

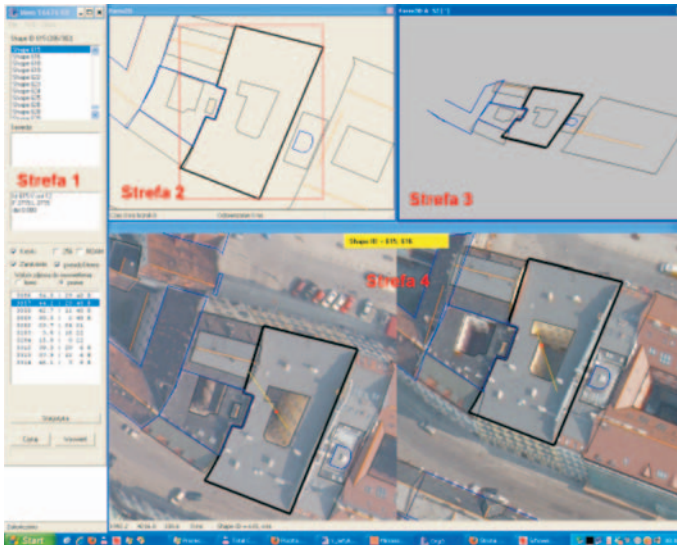
4. FUNKCJONALNOŚĆ METODY PÓLAUTOMATYCZNEJ

Brak 100% „skuteczności” aplikacji automatycznej skłonił autorów niniejszej publikacji do jej uzupełnienia dodatkową aplikacją półautomatyczną wymagającą interwencji operatora, która jednak nie odbywa się na fotogrametrycznej stacji cyfrowej. Opracowana aplikacja półautomatyczna posiada następującą funkcjonalność:

- odczytuje projekt ze stacji Image Station firmy Intergraph (nazwy plików ze zdjęciami, orientacja zdjęć),
- wspomaga manualne tworzenie obiektów z odpowiednią hierarchią (do obrysu dachu zostają przyporządkowane nadbudówki, studnie, kalenice),
- kontroluje poprawność rejestracji: wykrywa niedomknięcia, przecinania linii, wymuszanie ustalonej wartości Z,
- łączy (snapowanie) i przycina linie w XY z zachowaniem Z,
- umożliwia pomiar kursorem 3D na dwóch zdjęciach z możliwością wyboru dowolnej pary z dostępnych zdjęć,
- pozwala na import/eksport danych w formacie DXF i zapis zmodyfikowanego pliku.

Rysunek 8 przedstawia widok okna głównego programu, można w nim wyróżnić następujące strefy:

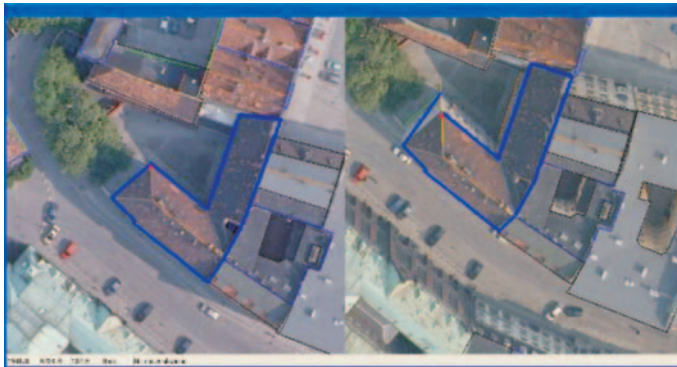
- 1) (lewa kolumna) – informacje tekstowe, numery ID budynków, numery zdjęć na których obiekt jest widoczny itp.,



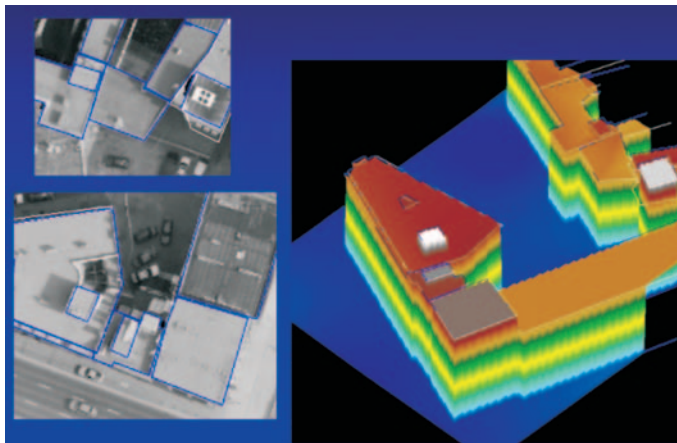
Rys. 8. Widok okna programu aplikacji półautomatycznej.

- 2) (górze po lewej) – widok 2D z wyróżnionym aktualnie sprawdzanym obiektem, kolory sygnalizują rodzaje obiektów otaczających (zamknięty/otwarty),
- 3) (górze po prawej) – widok 3D z możliwością obrotu i skalowania,
- 4) (dolna część) – widok obiektów zrzutowanych na płaszczyznę dwóch dowolnie wybranych (z listy dostępnych zdjęć).

Na rysunkach 9 i 10 przedstawiono przykłady działania aplikacji półautomatycznej, która umożliwia wykorzystanie innego zdjęcia do wykrycia błędów stereodigitalizacji (Rys. 9), oraz korekty przecinających się obrysów budynków (Rys. 10).



Rys. 9. Przykład wykorzystania zdjęcia z innego szeregu do wykrycia błędu digitalizacji.



Rys. 10. Przykład poprawienia błędnej sytuacji z rysunku 3 – poprawiono przecinające się zarzysy budynków.

5. PODSUMOWANIE

Geometryczny opis obrysów dachów może charakteryzować się różną jakością geometryczną i poprawną topologiczną, co skutkuje określoną przydatnością tych danych na proces generowania true ortoobrazu. W wyniku przeprowadzonych eksperymentów potwierdzone zostały zasady odpowiedniego pozyskiwania struktury dachów, których dane muszą być dostosowane do wymogów inicjalnych, akceptowanych przez oprogramowanie realizujące true ortoobraz. Prowadzone prace badawcze wykazały, że na etapie manualnej stereodigitalizacji obrysów dachów powstaje szereg błędów, które przenoszą się na generowany produkt w postaci true-ortho. Błędy te są nie do uniknięcia przy pracy z edytorami graficznymi typu CAD i są stosunkowo liczne. Dlatego istotnym staje się wtórna obróbka pozyskiwanych danych przy pomocy dodatkowych aplikacji programowych. Wykonane aplikacje, w ramach realizowanej pracy badawczej, w sposób zasadniczy rozwiązują problem korekcji błędów kodowania powstałych na etapie pomiaru i przyczyniają się do zwiększenia efektywności tworzenia NMPT z wykorzystaniem procesu manualnej stereodigitalizacji.

6. LITERATURA

Bujakiewicz A., Preuss R., 2009. Ocena możliwości automatycznej rekonstrukcji 3D modeli budynków z danych fotogrametrycznych. *Artykuł złożony w czerwcu 2009 r. do publikacji w Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji.*

Gołębiowski K., 2008. *Ekstrakcja budynków z danych LIDAR dla terenów miejskich.* Praca dyplomowa magisterska. Zakład Fotogrametrii Teledetekcji i SIP, Politechnika Warszawska.

Kurczyński Z., Preuss R., 2009. Wymagania wobec danych źródłowych dla generowania true-ortho. *Artykuł złożony w czerwcu 2009 r. do publikacji w Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji.*

Nielsen M., 2004. *True orthophoto generation.* Master thesis. Technical University of Denmark.

PROGRAM SUPPORT FOR MANUAL ACQUISITION OF STRUCTURAL LINES OF ROOFS IN TRUE ORTHO GENERATION

KEYWORDS: orthophotomap, true-ortho, visibility map, digital surface model (DSM), building extraction

SUMMARY: Orthophoto is a relevant component of the GIS database. However it has several drawbacks in urban areas, which can be eliminated when true ortho, based on a precise Digital

Surface Model, is applied. Such DSM takes into account the structure of roofs. The DSM model plays a key role in determining the quality of the final product. The generation of the DSM process consists of a series of technological stages working with different levels of automation. The DSM for very densely built-up areas and the complex structure of roofs usually does not meet the quality requirements when an automatic process is applied. Therefore a true ortho DSM should still be manually prepared if it is to be accurate. Software for true ortho generation usually requires the vector data in DXF format as an input - which does not provide proper control for the roof structures. Using Inpho OrthoMaster software, several criteria have to be fulfilled for the initial data which describe the roof structures. In this paper, the functionality of the computer programs prepared by the authors to adequately describe vector data used during the manual acquisition and editing of the structural lines of the roofs was presented. The task of those programs is to correct existing errors like crossing roof boundaries and combs. The software which has been prepared allows one to analyse and adjust the required geometric criteria and correct the vector description of the types of object required which in the end are entered into the program generating true ortho. Such programs considerably improve the effectiveness of producing DSMs and also accelerate the whole process of true ortho production.

dr inż. Michał Kowalczyk
mikowalczyk@wp.pl
telefon: +48 22 2347694

dr inż. Piotr Podlasiak
p.podlasiak@gik.pw.edu.pl
telefon: +48 22 2347694

dr inż. Ryszard Preuss
ryszard.preuss@wp.pl
telefon: +48 22 2347694

dr inż. Dorota Zawieska
d.zawieska@gik.pw.edu.pl
telefon: +48 22 2347694

* wersja kolorowa artykułu jest dostępna na stronie <http://www.sgp.geodezja.org.pl/ptfit>

**ZASTOSOWANIE WYBRANYCH ATRYBUTÓW NMT W PRZYBLIŻONYM
OKREŚLENIU GRANIC WYSOKOŚCIOWYCH PIĘTER ROŚLINNYCH
NA PRZYKŁADZIE NADLEŚNICTWA PIWNICZNA***

**APPLICATION OF SELECTED DTM ATTRIBUTES IN APPROXIMATE
DELIMITATION OF THE BOUNDARIES OF ALTITUDINAL VEGETATION
ZONES IN PIWNICZNA FOREST DISTRICT**

Krystian Kozioł

Katedra Geomatyki, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska,
Akademia Górniczo-Hutnicza

SŁOWA KLUCZOWE: automatyzacja, analizy przestrzenne, granice pięter wysokościowych roślinności, TPI, NMT

STRESZCZENIE: Artykuł przedstawia sposób wykorzystania atrybutów Numerycznego Modelu Terenu (NMT) dla wyznaczenia przebiegu granic wysokościowych pięter roślinnych. Zakres prac terenowych i kameralnych koniecznych w celu wykreślenia tych granic dla znacznego obszaru charakteryzującego się dużym zróżnicowaniem skłania do poszukiwania rozwiązań opartych na geoprzetwarzaniu. Cechą charakterystyczną metod opartych na analizie danych przestrzennych jest ich powtarzalność, weryfikowalność oraz minimalizacja niezbędnych pomiarów terenowych. Terenem badań wybranym do przeprowadzenia testów związanych z wykorzystaniem atrybutów NMT były lasy Nadleśnictwa Piwniczna. Podstawowym źródłem danych wykorzystanych w projekcji był uzyskany z WODGiK NMT, zapisany w postaci siatki nieregularnych trójkątów (TIN). Na podstawie modelu zostały wyznaczone: ekspozycje stoków, spadki stoków oraz atrybuty opisujące orografię terenu, wśród których na szczególną uwagę zasługuje topograficzny indeks pozycji (ang. *Topographic Position Index – TPI*) (Jenness, 2006). Na wybranym terenie kierując się kryteriami dendrologicznymi, siedliskowymi oraz fitosocjologicznymi dokonano wyznaczenia punktów przebiegu granic pomiędzy regłem górnym, regłem dolnym oraz pięterem pogórskim. W badaniach wykorzystano fakt wysokiej korelacji pomiędzy przebiegiem granic pięter roślinnych, a izoterma- mi średnich temperatur powietrza. Przyjęta metodyka polegała na określeniu wzoru na obliczenie przybliżonej średniej temperatury na podstawie zmiennych, pochodzących z przetworzenia NMT. W tym celu wykorzystano dane pochodzące ze 139 stacji meteorologicznych PIHM, dla których zostały wyznaczone następujące parametry przestrzenne: długość i szerokość geograficzna, wysokość n.p.m., spadki, ekspozycje terenu, topograficzne indeksy pozycji dla różnej skali oraz klasyfikacje topografii terenu wynikające z wartości TPI. Posiadając wzór łączący wymienione atrybuty ze średnią temperaturą przystąpiono do wyznaczenia izoterm średnich temperatur dla obszaru testowego.

Obecnie przeprowadzane są testy w celu udoskonalenia proponowanej metodyki i wprowadzenia następujących atrybutów NMT. Zaproponowane rozwiązanie pozwala na uzupełnienie i aktualizację Systemu Informacji Lasów Państwowych.

1. WSTĘP

Rozwój technologii pozyskiwania informacji przestrzennej oraz ciągle doskonalenie metod przetwarzania powodują, iż naukowcy z różnych dziedzin sięgają po rozwiązania z zakresu geoinformatyki. Przykładem takiego podejścia może być próba automatycznego wyznaczenia granic pięter roślinnych. Zadania jakie postawiono w tych badaniach przed narzędziami geoinformatycznymi obejmowały przeprowadzenie wstępnych analiz i ocenę wykonalności projektu. W trakcie prac przygotowawczych system informacji geograficznej odpowiadał za gromadzenie danych oraz ich przechowywanie. Analizy przestrzenne prowadzące do wyznaczenia przebiegu granic pięter roślinności wykonywane były na podstawie danych cyfrowych udostępnionych dla obszaru badań.

2. CEL I ZNACZENIE DLA GOSPODARKI LEŚNEJ

Przedmiotem badań były granice pionowego występowania pięter roślinnych w VIII Krainie Karpackiej między:

- piętrem pogórskim a regłem dolnym (P/D),
- regłem dolnym a regłem górnym (D/G).

Z punktu widzenia praktyki leśnej najważniejszą konsekwencją wyznaczania wyżej wymienionych granic jest wyraźne rozgraniczenie siedlisk wyżynnych od górskich oraz górskich od wysokogórskich, wymagających istotnie różniącego się składu gatunkowego drzewostanów i postępowania hodowlanego. Ze względu na zasięg powierzchniowy większe znaczenie gospodarcze ma prawidłowe wyznaczenie granicy P/D.

W odniesieniu do granicy D/G należy natomiast podkreślić funkcje ochronne pełnione przez bory wysokogórskie, w związku z czym wymagają one specjalnego postępowania hodowlanego, zapewniającego im możliwie największą stabilność. Należy podkreślić, iż obecnie w większości przypadków granice te zostały zatracone poprzez prowadzenie gospodarki leśnej, a ich przywrócenie możliwe jest po ponownym ich wyznaczeniu. Głównym celem badań było opracowanie metodyki przydatnej do wykreślenia wymienionych granic na obszarze całej Krainy Karpackiej. Jednakże z przyczyn ekonomicznych wybrano jedno z nadleśnictw zlokalizowanych w tej krainie.

3. DOTYCHCZASOWE BADANIA

Rozmieszczenie pięter roślinnych jest w ścisłym związku z warunkami abiotycznymi (klimat, podłoże, gleba, orografia) oraz z oddziaływaniem człowieka na naturę (go-

spodarka rolna i leśna). Rzeźba terenu i procesy geomorfologiczne należą do kluczowych czynników decydujących położeniu i kształtowaniu się pięter roślinnych lasu w górach oraz ich zmian w czasie. Ich oddziaływanie modyfikuje położenie tej granicy wynikające z czynników klimatycznych, powodując najczęściej jej lokalne obniżenie. Oprócz czynników o charakterze pasywnym (nachylenie stoku, przetrwałe formy rzeźby), równie istotną rolę odgrywają czynniki aktywne – współczesne procesy o charakterze katastrofalnym (Bieroński *et al.*, 1992).

Granice pięter klimatyczno-roślinnych w Beskidzie Sądeckim nad doliną Popradu są zróżnicowane w zależności od przyjmowanych kryteriów rozpoznawczych. W ujęciu botanicznym granica pogórza i regla dolnego przebiega na wysokości około 600 m n.p.m. (Pawłowski, 1925). Według Hessa (1965) jest to granica dwóch pięter klimatycznych – umiarkowanie ciepłego piętra pogórza i umiarkowanie chłodnego piętra dolnoregłowego. Zasady hodowlane obowiązujące w Państwowym Gospodarstwie Leśnym (Siedliskowe Podstawy Hodowli Lasu, 2004) za dolną granicę regla dolnego uznają strefę leżącą na wysokości 450-500 m n.p.m., w zasięgu wielogatunkowych lasów liściastych, na przejściu do górskiej krainy bezdębowej i bezgrabowej. Jest to podejście leśno-gospodarcze, które w pewnym, raczej małym stopniu, uzasadnia różnice geologiczno-glebowe występujące w strefie 450-600 (750) m n.p.m. (Baran, 1981). Istotna jest natomiast rola lasotwórcza drzew i ich zasięgi. Dlatego leśnicy dzielą stoki górskie na część podgórską i górską, kierując się celowością wprowadzenia do składu drzewostanów dębu, sosny i domieszkowego graba. Zasięg regla górnego, w tym również w lasach górskich sąsiadujących z Doliną Popradu, określany jest zarówno przez geobotaników, jak i przez leśników od wysokości 1100 (1150) m n.p.m. po szczyty najwyższych wzniesień (Baran, 1981; Zientarski, 1989). W Beskidzie Sądeckim są to wzniesienia: Małej Przehyby (1175 m), Wielkiej Przehyby (1195 m), Radziejowej (1265 m) i Wielkiego Rogacza (1182 m). Na terenie Nadleśnictwa Piwniczna znajduje się najwyższe z tych wzniesień – Radziejowa. Część szczytową pokrywają górnoregłowe świerczyny łączące się ze zwartym pasem 85-100 letnich sztucznych świerczyn, ciągnących się od Wielkiej Przehyby do Radziejowej.

4. MATERIAŁY I METODYKA

Dla osiągnięcia postawionego w projekcie celu niezbędnym było pozyskanie danych przestrzennych dla obszaru badań. Dane pochodziły z zasobów Wojewódzkiego Ośrodka Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej (WODGiK):

- mapy topograficzne,
- ortofotomapy,
- Numeryczny Model Terenu,

oraz z Systemu Informatycznego Lasów Państwowych (SILP) Nadleśnictwa Piwniczna:

- dane atrybutowe z Systemu LAS opisujące skład gatunkowy oraz dane siedliskowe,
- dane wektorowe Leśnej Mapy Numerycznej (LMN).

Dane klimatyczne pozyskano na podstawie pomiarów wykonanych w stacjach meteorologicznych. Współrzędne geograficzne stacji meteorologicznych określono na podstawie mapy topograficznej 1:10 000. Wartości temperatur zostały wykorzystane do weryfikacji otrzymanych wartości izolinii średnich temperatur obliczonych na podstawie NMT. Wszystkie dane przestrzenne użyte w analizach zostały sprowadzone do jednego wspólnego układu odniesienia (PUWG 1992), który jest układem obowiązującym dla Leśnej Mapy Numerycznej.

Jedno z założeń projektu mówiło o konieczności ograniczenia ilości pomiarów terenowych oraz o szerokim wykorzystaniu istniejących danych przestrzennych dla uzyskania przybliżonego wyniku. W związku z tym wykonano wstępną analizę wykonalności postawionych zadań z wykorzystaniem modelu NMT uzyskanego na podstawie danych SRTM. W wyniku przeglądu literatury krajowej i zagranicznej oraz badań własnych autora przyjęto, iż rozwiązanie problemu wymaga wykonania następujących prac:

- wyznaczenia punktów granicznych poprzez prace terenowe, posługując się kryteriami, które hasłowo nazwano dendrologicznymi i fitosocjologicznymi, siedliskowymi oraz hodowlanymi,
- uzyskanie na podstawie NMT atrybutów determinujących parametry klimatyczne i przez to mających wpływ na wzrost roślinności; do atrybutów tych zaliczono: współrzędne geograficzne oraz wysokość jako atrybuty położenia, ekspozycję stoków, nachylenie stoków, orografię terenu,
- zbudowania formuł matematycznych opisujących rozkład przestrzenny czynników hydro-klimatycznych kształtujących warunki wzrastania roślinności leśnej oraz produktywności siedlisk leśnych, jako wyniku działania tych czynników,
- realizacji wymienionych formuł matematycznych poprzez narzędzia GIS, doprowadzając do uzyskania izolinii będących reprezentacją przebiegu wyznaczanych granic,
- zapisu izolinii umożliwiającego aktualizację oraz uzupełnienie informacji geometrycznej i opisowej LMN/SILP.

Pierwszym i podstawowym zadaniem były prace terenowe w wyniku których otrzymano współrzędne punktów dla istniejącej granicy P/D oraz D/G. Sposób wyznaczenia granicy P/D oraz D/G oparty był o wiedzę specjalistów w zakresie gleboznawstwa, hodowli lasu, botaniki. W trakcie sesji terenowej wyznaczono 327 punktów dla granicy P/D oraz 278 punktów dla granicy D/G. Następnie punkty poddane zostały analizie przestrzennej, dzięki której punkty te otrzymały wartości wszystkich parametrów uzyskanych z NMT. Wartości tych atrybutów niezbędne były dla obliczenia wartości średnich temperatur wg wzoru 1. Wyznaczony wzór pozwala na obliczenie średniej temperatury w dowolnym miejscu dla którego wyznaczono wartości parametrów MNT, dlatego możliwym było wyznaczenie średnich temperatur w postaci izolinii. Wykreślenie granic pięter roślinnych wymagało połączenia ich położenia z cechami siedliska, którego rozkład przestrzenny możliwy jest do przedstawienia na mapie za pomocą izolinii. W pierwszej kolejności wykorzystano azymuty i spadki stoków, podjęto także próbę wykorzystania tak zwanego indeksu topograficznego pozycji (TPI) (Weiss, 2001; Jenness, 2006). W wyniku przeprowadzonych badań i testów najlepszym odpowiednikiem granicy pionowych stref roślinnych okazały się izolinie średnich, maksymalnych i minimalnych temperatur.

Wzór do obliczenia średnich temperatur rocznych, pór roku, maksymalnych, minimalnych oraz miesięcznych (22 średnie temperatury – Tab. 3) opracowano uwzględniając współrzędne geograficzne i wysokości położenia terenu oraz elementy warunków orograficznych. Ze względu na formalne procedury stosowane do obliczeń, identyfikację wzoru (1) wykonuje się po podstawieniu temperatur w skali Fahrenheita.

Wzór ogólny ma następującą postać (Suliński *et al.*, 2009):

$$T_F = \left\{ \beta \left[1 - \left(\left(\frac{A_z}{360} - 0,5 \right)^2 \right)^{\frac{i}{90}} \right] \right\} + \left(\chi \left(1 - \frac{Y}{90} \right) \right) + (-\delta X) + (\alpha H), \quad (1)$$

gdzie:

- T_F – średnia temperatura za wybrany okres [w skali Fahrenheita],
- A_z – azymut stacji pomiarowej [stopnie dziesiętne],
- i – spadek stoku [stopnie dziesiętne],
- Y – szerokość geograficzna [stopnie dziesiętne],
- X – długość geograficzna [stopnie dziesiętne],
- H_t – wysokość terenu [m n.p.m.],
- α – parametr zależny od warunków orograficznych, którego wartości (Tab. 2) należy przyjąć kierując się kategorią terenu ustaloną wg tabeli 1, β , χ , δ wyznaczone zostały dla poszczególnych średnich temperatur miesięcznych (Tab. 2) w procesie wyznaczania wzoru za pomocą modelowania statystycznego.

Zadania związane z rzeźbą terenu wykonywano na NMT, złożonym z 40 sekcji. Wszystkie wymienione sekcje NMT zostały połączone i są przechowywane w modelu siatki regularnej w formacie rastrowym (GRID) firmy ESRI. Jako rozdzielczość przestrzenną rastra przyjęto 10 m, co zapewnia dokładność sytuacyjnego położenie punktów mapy w skali 1:10 000. Dokładność rzędnych punktów jest zgodna z założeniami Wytocznych Technicznych Instrukcji do Bazy Danych Topograficznych.

Dla wykonania rozwiązywanych zadań niezbędne było wygenerowanie informacji o spadkach, ekspozycji stoków oraz innych cechach rzeźby terenu. Występują one bowiem we wzorze (1) opisującym rozkład przestrzenny temperatur średnich powietrza. Właściwości NMT pozwalają na obliczanie wartości charakterystyk rzeźby terenu,

Tab. 1. Tabela przedstawiająca sposób ustalenia kategorii terenu na podstawie klasyfikacji Slope Position wg Weissa (2001).

Przedział wys. [m n.p.m.]	Spadki terenu [stopnie]	Klasy terenu według wartości TPI300	Kategoria terenu
do 250	<6	bez rozróżniania	1
do 250	>6	ujemne – wklęsłe	2
250 – 400	<6	dodatni – wypukłe	3
250 – 400	>6	ujemne – wklęsłe	4
od 400	wszystkie	dodatnie – wypukłe	5

Tab. 2. Tabela wartości współczynników α , β , χ , δ dla wzoru 1. Kolejne miesiące roku oznaczono T1 – T12, średnią najzimniejszych miesięcy oznaczona przez MIN natomiast średnią najcieplejszych miesięcy przez MAX.

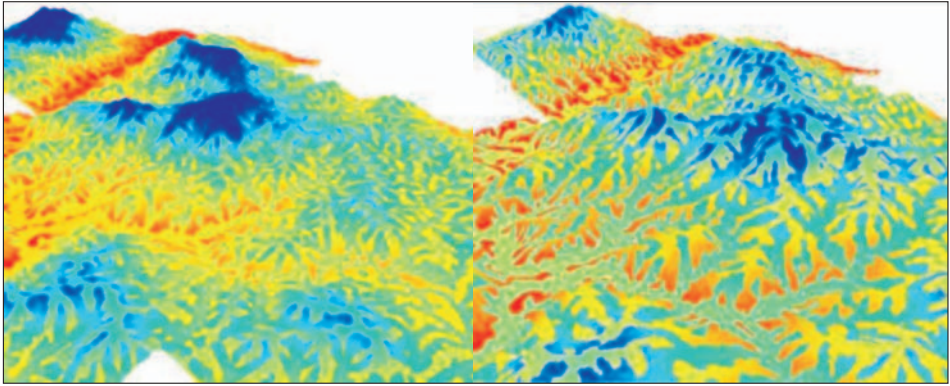
Okres	β	χ	δ	α dla kategorii terenu (tab. 1)				
				1	2	3	4	5
ROK	0.4526	4.4431	-0.1224	4.4886	4.5544	4.6057	4.2854	4.8088
LATO	0.3840	12.0457	-0.0317	5.3762	5.4006	5.5169	5.1909	5.8172
ZIMA	0.5185	-3.0431	-0.2153	3.5983	3.7046	3.6887	3.3749	3.7923
MAXA	0.2766	15.4101	0.1343	6.0035	5.8397	5.9525	5.5673	6.3710
MINA	0.7134	-23.7480	-0.1807	0.8029	0.8652	0.9188	0.6251	1.1916
MMA	-0.4368	39.1752	0.3145	5.2009	4.9747	5.0338	4.9423	5.1795
T1	0.5555	-6.7092	-0.2691	2.7992	2.7933	2.7894	2.2602	2.8521
T2	0.7736	-9.3916	-0.2394	2.8767	2.9414	2.9799	2.5370	3.0748
T3	0.3768	3.1151	-0.3580	4.1197	4.2269	4.1447	3.9035	4.4309
T4	0.2919	-1.1035	-0.0853	5.4096	5.5336	5.5635	5.2710	5.6286
T5	0.3374	4.8205	-0.0439	6.2197	6.2947	6.3458	6.2057	6.7185
T6	0.1991	12.3891	0.0194	6.1546	6.1038	6.1986	5.9033	6.4964
T7	0.2901	15.4006	0.0293	5.8794	5.8121	5.9410	5.5809	6.2015
T8	0.4748	16.3074	-0.0001	5.4773	5.4667	5.5933	5.2454	5.9527
T9	0.4618	14.6499	-0.0827	4.7216	4.7547	4.9671	4.4964	5.2328
T10	0.5508	8.0429	-0.0998	3.8183	3.9906	4.0831	3.7391	4.3377
T11	0.5095	-0.9860	-0.1130	3.3606	3.5540	3.4956	3.3927	3.6391
T12	0.6093	-3.1640	-0.2276	3.0264	3.1809	3.1659	2.8892	3.1391
MAX1	0.7151	-4.2412	-0.1903	3.2683	3.1999	3.1335	2.6177	2.9749
MIN1	0.3042	-11.6447	-0.4172	1.3511	1.4623	1.4467	1.4644	1.9483
MAX7	0.3126	15.3794	0.1383	5.9230	5.7713	5.9117	5.4768	6.2313
MIN7	0.3978	15.3953	-0.0790	5.9298	5.9317	6.0756	5.8442	6.2771

między innymi: spadków terenu, ekspozycji stoków, nasłonecznienia, warunków hydrologicznych i wielu innych. Atrybuty te obliczane są na podstawie modelu siatki regularnej w postaci rastrowej. Same procedury zastosowane do obliczeń, jak również szczegółowe wyniki nie są tu opisywane i są przedmiotem osobnego artykułu (Lach, Kozioł, 2009). W miarę możliwości generowano je w oprogramowaniu ArcGIS ArcInfo 9.3 (rozszerzenia: 3D Analyst, Spatial Analyst) (ESRI, 2008) lub za pomocą programu funkcjonującego w systemie Matlab (Lach, Kozioł, 2009).

5. WYNIKI

Wyznaczony model (wzór 1) średnich temperatur oparty o zmienne wynikające z numerycznego Modelu Terenu oraz położenia analizowanego punktu, pozwolił na wyznaczenie wartości tych temperatur dla badanego obszaru. Obliczenia dokonano za pomocą rozszerzenia Spatial Analyst oprogramowania ArcGIS ArcInfo 9.3 (ESRI 2008). W wyniku obliczenia otrzymano 22 obrazy rozkładu zmian średnich temperatur na badanym obszarze. Przykładowe obrazy temperatur zostały przedstawione na rysunku 1.

Następnie obliczono średnie wartości temperatur w poszczególnych punktach wyznaczonych w terenie i obliczono statystyki dla poszczególnych granic (Rys. 2, Tab. 3).



Rys. 1. Przestrzenny obraz minimalnych temperatur stycznia (max: -5.5 C° – niebieski, min: -7.5 C° – czerwony) oraz maksymalnych temperatur lipca (max: 13.5 C° – niebieski, min: 7.5 C° – czerwony).



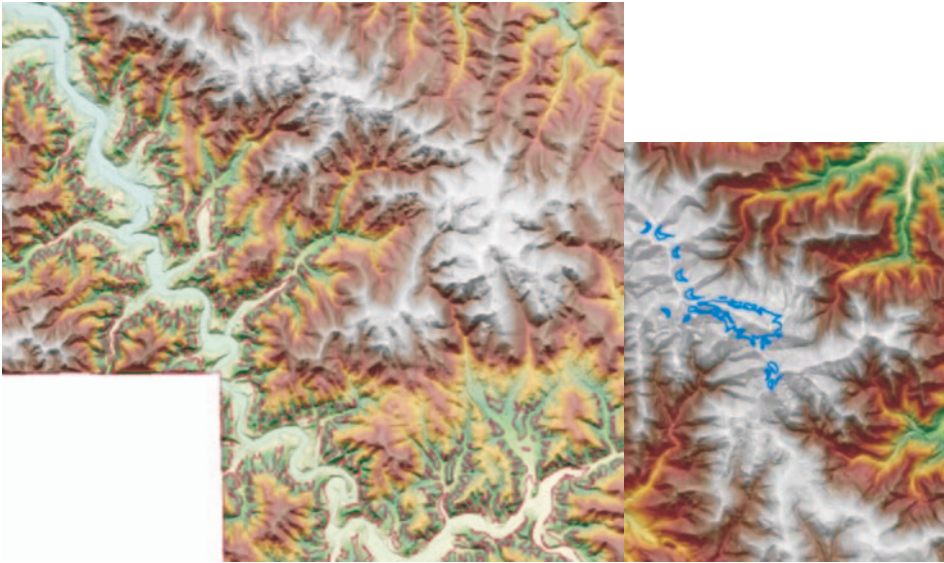
Rys. 2. Wybrane izolinie temperatur stycznia i lipca analizowane jako granica P/D.

Tab. 3. Zestawienie statystyk dla izoterm granic P/D oraz D/G.

Okres	P/D			D/G		
	Średnia	Odchylenie Std.	Mediana	Średnia	Odchylenie Std.	Mediana
ROK	4.184	0.365	4.197	1.528	0.118	1.597
LATO	7.552	0.436	7.570	4.317	0.142	4.402
ZIMA	0.763	0.293	0.775	-1.311	0.093	-1.258
MAX	11.728	0.538	11.729	8.233	0.155	8.326
MIN	-2.621	0.385	-2.396	-2.986	0.030	-2.969
T1	-1.867	0.388	-1.769	-3.242	0.070	-3.202
T2	-0.923	0.352	-0.879	-2.473	0.076	-2.429
T3	-1.269	0.361	-1.261	-3.654	0.109	-3.592
T4	6.184	0.334	6.196	2.912	0.138	2.993
T5	8.596	0.417	8.594	4.735	0.164	4.833
T6	9.623	0.439	9.650	5.938	0.159	6.033
T7	9.418	0.442	9.441	5.931	0.151	6.021
T8	8.404	0.479	8.400	5.128	0.145	5.215
T9	5.608	0.486	5.604	2.810	0.128	2.886
T10	3.964	0.396	3.955	1.643	0.106	1.706
T11	2.789	0.220	2.797	0.691	0.089	0.743
T12	-0.340	0.205	-0.335	-2.109	0.077	-2.065
MAX T1	0.120	0.250	0.126	-1.488	0.073	-1.445
MIN T1	-6.246	0.318	-6.139	-7.099	0.049	-7.074
MAX T7	11.639	0.509	11.635	8.200	0.152	8.291
MIN T7	7.395	0.376	7.399	3.762	0.153	3.853

Analizując statystykę odchylen wartości temperatury w punktach wyznaczonych dla poszczególnych izolinii (Tab. 3) zostały wybrane okresy, dla których izolinie temperatur mogą odpowiadać prawdopodobnemu przebiegowi pięter w terenie.

Poprzez obliczenie odległości pomiędzy izoliniami a punktami z pomiaru zostały wybrane najbardziej prawdopodobne wartości izoterm z zachowaniem warunku minimum dla średniej i mediany. Po wygenerowaniu izolinii o cięciu 0.01°C wybranych izoterm obliczono dla każdej z nich odległości przestrzenne do punktów pomierzonych w terenie. Wybór izolinii odbywał się na podstawie założonej dokładności wynikającej ze skali końcowego opracowania (1:10 000), tj. 10 m dla odległości poziomej i 10 m dla wysokości. W przypadku granicy między pięterem pogórskim a regłem dolnym (P/D) jako reprezentatywną wybrano izotermę listopada (T11) o wartości 2.85°C (Rys. 3). W przypadku granicy pomiędzy regłem dolnym, a regłem górnym (D/G) najlepsze dopasowanie osiągnięto dla izoterm najzimniejszych miesięcy (MIN) o wartości -2.975°C. Przebieg wybranych izoterm – po zastosowaniu filtru wysokości, został przedstawiony na rysunku 3. Filtr wysokości usunął poligony poniżej wysokości 1100 m n.p.m. powstałe na skutek wysokiej wagi warunków orograficznych we wzorze 1. Należy przy tym wyjaśnić, że zastosowany filtr dla wykreślanych granic usuwał obiekty mniejsze od 0.1 ha.



Rys. 3. Wybrane izolinie temperatur przyjęte jako najbardziej prawdopodobne przebiegi granic P/D oraz D/G.

W wyniku przeprowadzenia analiz uzyskano:

- mapy z wygenerowanymi warstwami pochodnymi z leśnej mapy numerycznej zawierające informacje o rozkładzie komponentów siedlisk leśnych i drzewostanów, uznane jako kryterialne dla ustalenia granic wysokościowych stref roślinności,
- numeryczne rozkłady średnich temperatur dla określonych przedziałów czasowych w postaci GRID (niezbędne do wyznaczenia izolinii),
- warstwy informacyjne zawierające granice pięter w postaci wektorowej stanowiące podstawę do aktualizacji leśnej mapy numerycznej,
- piętra roślinne w postaci wieloboków wektorowych,
- tabelę łączącą granice wysokościowe stref roślinnych z ich opisem w bazie danych systemu LAS.

6. WNIOSKI

Przyjęta zasada wyznaczenia przebiegu granic w oparciu o analizę statystyczną izoterm pozwala na:

- ekstrapolację jej przebiegu z błędem średnim nie przekraczającym błędu położenia jednego piksela, czyli 1 mm w skali mapy 1:10 000,
- określenie błędu wysokościowego przebiegu granicy,

- przeprowadzenie całości procedur metodami automatycznymi,
- weryfikację etapów pośrednich przez użytkownika,
- uzyskanie powtarzalnej i obiektywnej metody,
- powtarzalność procedur.

Zadając sobie pytanie czy opisany sposób jest powtarzalny, a przede wszystkim obiektywny i weryfikowalny należy pamiętać, iż przedstawione tu rozwiązanie znajduje się narazie w fazie testów. Widząc jednak pierwsze rezultaty, można spodziewać się, iż dalsze prace przyniosą znaczący rozwój tej metody. Ze względu na konieczność pomiarów terenowy trudno metodę tą określić mianem w pełni automatycznej, jednakże postęp w zakresie pozyskania danych przestrzennych (np. skaniny laserowej) oraz ich analizy (rozwój analiz morfometrycznych opartych na NMT) daje nadzieje na uzyskanie pełnego automatyzmu w opisanej metodzie. Dlatego konieczne są dalsze badania na kolejnych obiektach badawczych w celu udoskonalenia zaproponowanego rozwiązania.

Wykonane badania potwierdzają fakt, że geoinformatyka jest kluczem do nowych rozwiązań niedostępnych do tej pory dla wielu dziedzin nauki. Współpraca w ramach projektu obejmowała zespół ponad dziesięcioosobowy składający się ze specjalistów różnych dziedzin, a wspólnym mianownikiem stały się dane przestrzenne i ich analiza, która umożliwiła rozwiązanie problemu.

Badania te były częścią projektu badawczego zleconego przez Dyрекcyję Generalną Lasów Państwowych pt. „Określenie granic wysokościowych stref roślinnych dla lasów górskich z rozbiciem na nadleśnictwa i obręby leśne południowej Polski” realizowanego w latach 2007-2008 przez zespół pracowników Wydziału Leśnego Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie w ramach umowy z PGL Lasy Państwowe - Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych oraz Katedry Geomatyki WGGiIŚ AGH w ramach badań statutowych 11.11.150.006.

7. LITERATURA

Baran S., 1981. *Typy siedliskowe lasu w Dolinie Popradu*. Maszynopis. KGL UR w Krakowie.

Bieroński J., Chmal H., Czerwiński J., Klementowski J., Traczyk A., 1992. Współczesna denudacja w górskich zlewniach Karkonoszy. [w:] Kotarba A. System denudacyjny Polski. *Prace Geograficzne IGiPZ PAN*, 155, s. 151-169.

Hess M., 1965. Piętra klimatyczne w Polskich Karpatach Zachodnich. *Zeszyty naukowe UJ*, nr 115, *Prace Geograficzne* 11.

Jenness J., 2006. *Topographic Position Index (tpi_jen.avx) extension for ArcView 3.x, v. 1.2*. Jenness Enterprises.

Lach J., Kozioł K., 2009. Implementacja algorytmów analiz przestrzennych dla dużych zbiorów danych na przykładzie topograficznego indeksu pozycji z wykorzystaniem środowiska MATLAB. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, vol. 20, s. 247-258.

Pawłowski B., 1925. Geobotaniczne stosunki Sądeckiej. *Prace Monograficzne Komisji Fizjograficznej PAU*, nr 1.

Siedliskowe Podstawy Hodowli Lasu. 2004. Wyd.: Ośrodek Rozwojowo-Wdrożeniowy Lasów Państwowych w Bedoniu. Opracowanie zbiorowe, Warszawa.

Suliński J., Jaworski A., Sikorska E., Skrzyszewski J., Pach M., Lasota J., Bednarz Z., Kozioł K., 2009. Raport końcowy projektu: *Określenie granic wysokościowych stref roślinnych dla lasów górskich z rozbięciem na nadleśnictwa i obręby leśne południowej Polski*, Kraków.

Weiss, A. D., 2001. *Topographic Position Index and Landforms Classification*. Indus Corporation. Working draft.

Zientarski J. 1989. Studia nad górną granicą lasu w Polsce. *Roczn. AR Pozn.*, z. 204, s. 63-68.

APPLICATION OF SELECTED DTM ATTRIBUTES IN APPROXIMATE DELIMITATION OF THE BOUNDARIES OF ALTITUDINAL VEGETATION ZONES IN PIWNICZNA FOREST DISTRICT

KEY WORDS: Automatic analysis, spatial analysis, boundaries of altitudinal vegetation zones, TPI, NMT

SUMMARY: The article presents a way of applying the attributes resulting from the Digital Terrain Model (DTM) for determining the borders of high altitude vegetation zones. The research was part of a project commissioned by the State Forests National Forest Holding under the title “Specification of borders of high altitude vegetation zones for mountain forests with a division into forest inspectorates and forest areas in southern Poland”, and was implemented in the years 2007/2008 by a team of researchers from the Forest Faculty at the Agricultural University and a Chair (Institute) of Geomatics at the Faculty of Mining Surveying and Environmental Engineering at the University of Science and Technology. The range of field work and indoor work necessary to determine the borders for a large area characterized by a considerable variation prompted us to look for solutions based on geo-processing. Methods based on the analysis of data are characterized by their repeatability, the fact that they can be verified, and the necessary field measurements can be minimized. The area selected for tests connected with the use of DTM attributes covers the forests of Piwniczna Forest Inspectorate. The basic source of data used in the project was the elevation data in TIN format which came from WODGiK. On the basis of the elevation model the following parameters have been determined: aspect, slopes, as well as attributes describing the orography of the area, where the most interesting is Topographic Position Index (TPI). In a given area, following the criteria of dendrology, forest site type and phytosociology, border points were determined between the upper subalpine forest, mountain forests and sub mountain forests. The studies used the fact that a high correlation exists between the borders of the high altitude vegetation zones and the isotherms of average temperature. The method adopted here consisted of determining the formula to calculate the approximate value of the average temperature on the basis of data that it is possible to specify using a DTM. To do this, data from 139 meteorological stations were used, for which the following spatial parameters were specified: longitude, latitude, altitude above sea level,

slope, aspect, the Topographic Position Index for various scales, as well as classifications of the area's topography determined from TPI values. Having a pattern combining the above mentioned attributes with an average temperature, the next step was to determine the isotherms of average temperatures for a test area. Currently some tests are being done to perfect the method suggested and to introduce new attributes of DTM. The solution proposed enables one to supplement and update the Information System for the National Forests.

dr inż. Krystian Koziol
krystian.koziol@agh.edu.pl
telefon: +48 12 6173323

* wersja kolorowa artykułu jest dostępna na stronie <http://www.sgp.geodezja.org.pl/ptfit>

**ANALIZA DOKŁADNOŚCI PODSTAWOWYCH PRODUKTÓW
FOTOGRAMETRYCZNYCH UZYSKANYCH Z ZOBRAZOWAŃ
POZYSKANYCH TRZYLINIJKOWĄ CYFROWĄ LOTNICZĄ
KAMERĄ ADS40**

**ANALYSIS OF THE ACCURACY OF THE PHOTOGRAMMETRIC
PRODUCTS OBTAINED FROM THREE-LINE DIGITAL AERIAL CAMERA
ADS40 IMAGES**

Bartłomiej Kraszewski

Zakład Fotogrametrii, Instytut Geodezji i Kartografii

SŁOWA KLUCZOWE: fotogrametria, ADS40, NMT, ortoobrazy, analiza dokładności

STRESZCZENIE: W artykule zaprezentowano wyniki analizy dokładności numerycznych modeli terenu oraz ortoobrazów wygenerowanych na podstawie zobrażeń ADS40. Przeprowadzono analizę dokładności produktów fotogrametrycznych w funkcji metody orientacji zobrażeń wykorzystanych do ich generowania. Badania wykonano w Zakładzie Fotogrametrii Instytutu Geodezji i Kartografii w ramach projektu badawczo-rozwojowego finansowanego ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego w latach 2007-2009. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że przy wykorzystaniu do generowania NMT zobrażeń zorientowanych na podstawie wyrównania z fotopunktami można uzyskać dla terenów równinnych produkt o dokładności $m_z=0.12$ m. Ortoobrazy o dokładności 1 piksela obrazu źródłowego uzyskuje się przy zastosowaniu do ortorektyfikacji zobrażeń nadirowych zorientowanych na podstawie wyrównania bez fotopunktów lub zobrażeń zorientowanych na podstawie wyrównania z fotopunktami. W przypadku ortoobrazów wygenerowanych na podstawie zobrażeń wyrównanych blokowo z fotopunktami uzyskuje się jednakową dokładność niezależnie od kąta obrazującego kamery.

1. WPROWADZENIE

Wykorzystanie zobrażeń pozyskanych wielkoformatowymi lotniczymi kamerami cyfrowymi do generowania podstawowych produktów fotogrametrycznych dużych obszarów, wiąże się z opracowaniem setek, a nawet tysięcy pojedynczych obrazów. Wprowadzenie na rynek linijkowych cyfrowych kamer lotniczych wykorzystujących

technologię skanerową *pushbroom* oraz pomiar elementów orientacji zewnętrznej poszczególnych linijek za pomocą systemu GPS/IMU, wpłynęło znacząco na zmniejszenie liczby zobrazowań oraz fotopunktów potrzebnych do fotogrametrycznego opracowania wielkoobszarowych bloków obrazowych. Dodatkowo wprowadzenie różnych kątów obrazujących dla poszczególnych linijek, daje możliwość własnej konfiguracji obrazów biorących udział w procesie wyrównania, jak i w procesie generowania numerycznych modeli terenu oraz ortoobrazów (Boczar *et al.*, 2006).

Wobec aktualności na rynku polskim oraz zagranicznym zagadnień związanych z zastosowaniem zobrazowań z trzylinijkowej cyfrowej kamery lotniczej ADS40, w Instytucie Geodezji i Kartografii podjęto badania nad wykorzystaniem lotniczych danych obrazowych typu skanerowego do generowania podstawowych produktów fotogrametrycznych. Podstawą tych badań było zrealizowanie projektu badawczo-rozwojowego „Metodyka opracowania produktów fotogrametrycznych z trzylinijkowej lotniczej kamery cyfrowej” obejmującego swym zakresem możliwość implementacji danych ADS40 do tworzenia podstawowych produktów fotogrametrycznych. Tematyka powyższego artykułu obejmuje wyniki analizy dokładności numerycznych modeli terenu oraz ortoobrazów uzyskanych w ramach realizacji projektu. Dokonano analizy wpływu metody orientacji źródłowych danych obrazowych na dokładność produktów fotogrametrycznych wygenerowanych na ich podstawie. Dodatkowo przeanalizowano możliwość wykorzystania w procesie autokorelacyjnego pomiaru zbioru punktów wysokościowych zobrazowań pozyskanych dla różnych kanałów spektralnych (Ewiak *et al.*, 2008)

2. DANE REFERENCYJNE

Do badań wykorzystano blok zobrazowań z trzylinijkowej cyfrowej kamery ADS40 składający się z trzech szeregów. Każdy szereg zawierał zobrazowania wykonane:

- w kanale panchromatycznym dla wychylenia wiązki obrazującej o 28° w przód (PanF) i 14° w tył od nadiru (PanB);
- w kanale czerwonym (RedN) i zielonym (GrnN) w nadirze.

Zobrazowania wykonane zostały z wysokości 2000 m z rozdzielczością terenową 0.20 m.

Z powodu braku nadirowych zobrazowań panchromatycznych, do autokorelacyjnych pomiarów punktów wysokościowych wykorzystano zobrazowania kanału czerwonego oraz zielonego.

Kontrolę dokładności wygenerowanych NMT przeprowadzono wzdłuż profilu kontrolnego składającego się ze 171 punktów pomierzonych techniką GPS na odcinku 620 m. Ocena dokładności ograniczona została do fragmentu opracowania zawartego w pasie wzajemnego pokrycia między szeregami: pierwszym i drugim z powodu braku możliwości pomiaru profilu w pasie wspólnego pokrycia trzech szeregów.

Dane referencyjne niezbędne do oceny dokładności wygenerowanych ortoobrazów stanowiły fotopunkty kontrolne pomierzone w terenie techniką GPS. Fotopunkty kontro-

lne stanowiły szczegóły terenowe, których dokładność pomiaru i identyfikacji na zobrazeniach wynosiła 0.5 piksela obrazu źródłowego.

3. NUMERYCZNY MODEL TERENU

Celem badań była ocena dokładności numerycznych modeli terenu wygenerowanych z zastosowaniem autokorelacyjnego pomiaru danych obrazowych ADS40.

Analizę numerycznych modeli terenu przeprowadzono na podstawie:

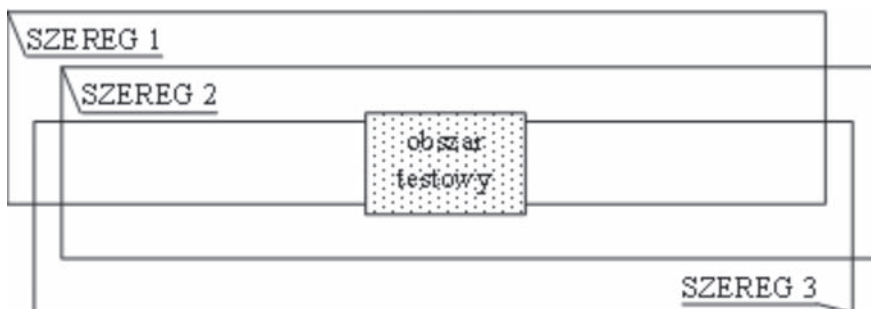
- sposobu orientacji zobrażeń ADS40;
- zakresu spektralnego wykorzystanych zobrażeń;
- kąta obrazującego kamery.

Do wygenerowania NMT wykorzystano zobrażenia panchromatyczne pozyskane w kierunku „w przód” i „wstecz” oraz zobrażenia nadirowe kanału czerwonego i zielonego.

Numeryczne modele terenu wygenerowano z:

- zobrażeń panchromatycznych i kanału czerwonego wyrównanych blokowo bez fotopunktów (dane GPS/IMU i punkty wiążące);
- zobrażeń panchromatycznych i kanału czerwonego wyrównanych blokowo z fotopunktami;
- zobrażeń panchromatycznych i kanału zielonego wyrównanych blokowo z fotopunktami;
- zobrażeń panchromatycznych wyrównanych blokowo z fotopunktami.

Wygenerowanie zbioru punktów wysokościowych z wykorzystaniem techniki korelacji obrazów z trzylinijkowej cyfrowej kamery lotniczej ADS40 przeprowadzono w środowisku oprogramowania ImageStation Automatic Elevation (ISAE) firmy Intergraph. Numeryczne modele terenu wygenerowano na podstawie pojedynczych par stereoskopowych w siatce o boku równym 5 m. Rysunek 1 przedstawia położenie obszaru testowego w bloku zobrażeń.



Rys. 1. Położenie obszaru testowego, w którym generowano numeryczne modele terenu w bloku zobrażeń ADS40.

3.1. Analiza wyników NMT

Miarą oceny dokładności NMT były wartości błędów średnich (RMSE) obliczone na podstawie różnic między wysokością punktu kontrolnego profilu terenowego, a wysokością wyinterpolowaną z wynikowego numerycznego modelu terenu.

W tabeli 1 zestawiono dokładności NMT wzdłuż profilu terenowego dla dwóch użytych w badaniu sposobów wyrównania bloku składającego się z obrazów panchromatycznych pozyskanych w kierunku „w przód” (PanF) i „wstecz” (PanB) oraz obrazów nadiowych kanału czerwonego (RedN). Zastosowanie w procesie autokorelacyjnego pomiaru zbioru punktów wysokościowych zobrazowań wyrównanych blokowo bez fotopunktów skutkuje uzyskaniem najdokładniejszego produktu dla sekwencji obrazowej o najmniejszym stosunku bazowym dla dwóch rozpatrywanych szeregów. Najwyższe dokładności w przypadku zastosowania obrazów zorientowanych na podstawie wyrównania blokowego z fotopunktami uzyskano dla par zobrazowań o stosunku bazowym równym 0.53. Dla obu badanych bloków widoczny jest spadek dokładności wygenerowanych numerycznych modeli terenu w zależności od położenia obszaru testowego względem środka szeregu. Dokładność numerycznego modelu terenu wygenerowanego na podstawie zobrazowań szeregu pierwszego dla obszaru testowego położonego na jego skraju jest mniejsza niż w przypadku zobrazowań szeregu drugiego, na którym obszar testowy położony jest w centralnej części szeregu. Jedynie dla NMT wygenerowanego z sekwencji zobrazowań RedN_PanF zorientowanych na podstawie wyrównania z fotopunktami wartości błędów średnich NMT nie są zależne od położenia obszaru testowego

Tab. 1. Charakterystyka dokładności NMT wygenerowanego za pomocą narzędzi dostępnych w oprogramowaniu ISAE z wykorzystaniem sekwencji zobrazowań PanB_RedN_PanF poddanych wyrównaniu z wykorzystaniem tylko danych GPS/IMU i punktów wiążących oraz wyrównaniu w którym dodatkowo wykorzystano fotopunkty.

Numer szeregu	Liczba zobrazowań	Sekwencje zobrazowań	Stosunek B/H	Błąd średni wysokości punktów NMT [m]	
				Wyrównanie bez fotopunktów	Wyrównanie z fotopunktami
1	2	PanB_PanF	0.78	0.37	0.16
1	2	PanB_RedN	0.25	0.13	0.51
1	2	RedN_PanF	0.53	0.49	0.12
2	2	PanB_PanF	0.78	0.32	0.13
2	2	PanB_RedN	0.25	0.09	0.30
2	2	RedN_PanF	0.53	0.45	0.12

w szeregu. Przy wykorzystaniu sekwencji obrazów panchromatycznych wyrównanych z fotopunktami uzyskujemy dokładności porównywalne z sekwencjami o stosunku bazowym 0.53.

W tabeli 2 zestawiono wyniki analizy dokładności NMT wygenerowanych na podstawie wyrównanego z zastosowaniem fotopunktów:

- bloku zobrazowań panchromatycznych i kanału czerwonego (RED);
- bloku zobrazowań panchromatycznych i kanału zielonego (GRN);
- bloku zobrazowań panchromatycznych (PAN).

Tab. 2. Charakterystyka dokładności NMT wygenerowanego za pomocą narzędzi dostępnych w oprogramowaniu ISAE na podstawie bloku zobrazowań wyrównanych z fotopunktami.

Numer szeregu	Liczba zobrazowań	Sekwencje zobrazowań	Stosunek B/H	Błąd średni wysokości punktów NMT [m]		
				RED	GRN	PAN
1	2	B_F	0.78	0.16	0.17	0.19
1	2	B_N	0.25	0.51	0.77	-
1	2	N_F	0.53	0.12	0.12	-
2	2	B_F	0.78	0.13	0.12	0.14
2	2	B_N	0.25	0.30	0.31	-
2	2	N_F	0.53	0.12	0.23	-

Na podstawie analizy wyników zamieszczonych w tabeli 2 należy stwierdzić, że nastąpiła zmiana dokładności NMT wygenerowanych na podstawie niemal wszystkich analizowanych sekwencji obrazowych. Porównując wszystkie otrzymane wyniki można stwierdzić, że dla uzyskania optymalnych dokładności NMT spośród wszystkich sekwencji obrazowych należy wykorzystać w procesie tworzenia siatki punktów wysokościowych blok zobrazowań panchromatycznych w połączeniu z kanałem czerwonym. W przypadku generowania NMT dla par zobrazowań panchromatycznych (B_F) wyższe dokładności uzyskano dla sekwencji pochodzących z bloków zobrazowań pozyskanych dla wszystkich kątów obrazujących kamery (RED, GRN).

3.2. Wytyczne dla generowania NMT

W toku badań przeprowadzono porównanie dokładności siatki punktów wysokościowych wygenerowanej z zobrazowań wyrównanych blokowo bez fotopunktów, z dokładnościami NMT wygenerowanego na podstawie zobrazowań wyrównanych z fo-

topunktami. Jak wynika z danych w tabeli 1, najwyższą dokładność NMT, $m_z=0.09$ m, uzyskano dla przypadku sekwencji zobrazowań PanB_RedN, zorientowanych na podstawie wyrównania bez fotopunktów. Jednakże takiego wyniku nie można uznać za pewny, gdyż NMT wygenerowano z zobrazowań o najmniejszym kącie wcinającym. W praktyce najdokładniejszy i najbardziej wiarygodny rezultat autokorelacyjnego pomiaru punktów wysokościowych otrzymuje się z wykorzystaniem zobrazowań o największym stosunku bazowym. Należy podkreślić również, że numerycznych modeli terenu wygenerowanych z zobrazowań poddanych jedynie wyrównaniu blokowemu bez fotopunktów nie można uznać za wiarygodne, gdyż obciążone są błędami systematycznymi systemu GPS/IMU.

Zastosowanie w aerotriangulacji fotopunktów pozwala na wyeliminowanie błędów systematycznych numerycznych modeli terenu w porównaniu z modelami wygenerowanymi na podstawie zobrazowań bloku wyrównanego bez fotopunktów. Numeryczny model terenu, o dokładności $m_z=0.12$ m, wygenerowany metodą autokorelacyjnego pomiaru punktów wysokościowych z zobrazowań ADS40 zorientowanych na podstawie wyrównania z fotopunktami uzyskano dla pojedynczej stereopary „nadir – do przodu” o stosunku bazowym nie mniejszym niż 0.5.

NMT należy generować z zobrazowań pozyskanych dla wszystkich możliwych kątów obrazujących kamery i poddanych wyrównaniu blokowemu z zastosowaniem fotopunktów.

W przypadku braku zobrazowań pozyskanych w kanale panchromatycznym, należy wykorzystać obrazy w kanale czerwonym, które generują wyższą dokładność NMT niż obrazy w kanale zielonym.

W wyniku badań stwierdzono, że NMT powinny być generowane z zobrazowań centralnej części szeregu.

4. ORTOOBRAZY

Kolejnym produktem fotogrametrycznym opracowanym na podstawie zobrazowań pozyskanych z kamery cyfrowej ADS40 są ortobrazy. Do badania wykorzystano trzy rodzaje ortobrazów, w zależności od poziomu ich opracowania:

- ortobrazy wygenerowane na podstawie obrazów źródłowych poddanych orientacji pojedynczych linijek w oprogramowaniu GPro;
- ortobrazy wygenerowane na podstawie obrazów źródłowych poddanych wyrównaniu blokowemu bez fotopunktów;
- ortobrazy wygenerowane na podstawie obrazów źródłowych poddanych wyrównaniu blokowemu z fotopunktami.

W procesie ortorektifikacji wykorzystano numeryczny model terenu wygenerowany dla sekwencji obrazowej PanB_PanF z szeregu drugiego o dokładności $m_z=0.12$ m.

Ortobrazy wygenerowano w oprogramowaniu GPro z pikselem 0.25 m z wykorzystaniem bilinearnej metody resamplingu.

Miarą oceny dokładności ortobrazów były błędy średnie obliczone na podstawie różnic współrzędnych terenowych fotopunktów kontrolnych oraz współrzędnych pozyskanych z pomiarów na ortobrazach.

Producent kamery ADS40 zapewnia o możliwości aktualizacji map w skali 1:2000 przy wykorzystaniu zobrazowań o pikselu terenowym 0.20 m (rozdzielczość terenowa obrazowań użytych w badaniu). Do aktualizacji mapy w takiej skali potrzebne są zatem ortobrazy, dla których błąd średni położenia szczegółów sytuacyjnych nie przekracza 0.4 m.

4.1. Analiza wyników ortorektyfikacji

Wykorzystując zobrazowania, dla których wykonano orientację pojedynczych linijek w oprogramowaniu GPro można wygenerować ortobrazy o dokładności na poziomie $m_{xy}=0.16$ m. Dla ortobrazów generowanych na podstawie obrazów źródłowych pozyskiwanych przy wychyleniu wiązki obrazującej o 28° w przód (PanF) uzyskano ortobrazy o dokładności najniższej wynoszącej $m_{xy}=0.59$ m. Z wyników zamieszczonych w tabeli 3 możemy stwierdzić, że na dokładność ortobrazów wpływają głównie błędy systematyczne systemu GPS/IMU, ponieważ przy tym samym kącie obrazującym kamery (nadir) występują duże rozbieżności w wynikach. Ze względu na owe rozbieżności, tego rodzaju ortobrazów nie można użyć do aktualizacji map w skali 1:2000.

Tab. 3. Charakterystyka dokładności ortobrazów po orientacji pojedynczych linijek obrazów źródłowych w oprogramowaniu GPro (RgbN oznacza ortofotomapę wygenerowaną z zobrazowań nadirowych pozyskanych w kanałach czerwonym, zielonym i niebieskim).

Numer szeregu	Zobrazowanie	Błąd średni położenia szczegółów sytuacyjnych na ortobrazie [m]	Błąd średni położenia szczegółów sytuacyjnych na ortobrazie [piksel]
1	RgbN	0.47	2.4
2	RgbN	0.34	1.7
2	PanF	0.59	3.0
3	RgbN	0.16	0.8

W kolejnym etapie badań do ortorektyfikacji użyte zostały zobrazowania wyrównane blokowo z zastosowaniem danych systemu GPS/IMU oraz punktów wiążących. W tabeli 4 zestawiono dokładności położenia szczegółów sytuacyjnych na ortobrazach. Stwierdzono, że na podstawie zobrazowań nadirowych można wygenerować ortobraz z dokładnością większą niż zakładany dopuszczalny błąd średni dla skali 1:2000 wynoszący $m_{xy}=0.40$ m. Wykorzystując do ortorektyfikacji zobrazowania panchromatyczne wychylone „do przodu” (PanF) uzyskuje się ortobrazy o dokładności nieznacznie przekraczającej wartość błędu dopuszczalnego.

W tabeli 5 zestawiono wartości błędów średnich położenia szczegółów sytuacyjnych na ortobrazach, które wygenerowano na podstawie danych ADS40 poddanych wy-

Tab. 4. Charakterystyka dokładności ortoo obrazów wygenerowanych na podstawie obrazów źródłowych poddanych wyrównaniu blokowemu bez fotopunktów.

Numer szeregu	Zobrazowanie	Błąd średni położenia szczegółów sytuacyjnych na ortoo obrazie [m]	Błąd średni położenia szczegółów sytuacyjnych na ortoo obrazie [piksel]
1	RgbN	0.31	1.6
2	RgbN	0.25	1.2
2	PanF	0.41	2.0
3	RgbN	0.26	1.3

Tab. 5. Charakterystyka dokładności ortoo obrazów wygenerowanych na podstawie obrazów źródłowych poddanych wyrównaniu blokowemu z fotopunktami.

Numer szeregu	Zobrazowanie	Błąd średni położenia szczegółów sytuacyjnych na ortoo obrazie [m]	Błąd średni położenia szczegółów sytuacyjnych na ortoo obrazie [piksel]
1	PanB	0.23	1.2
1	RgbN	0.21	1.0
1	PanF	0.19	1.0
2	PanB	0.18	0.9
2	RgbN	0.18	0.9
2	PanF	0.16	0.8
3	PanB	0.18	0.9
3	RgbN	0.21	1.0
3	PanF	0.22	1.1

równaniu z zastosowaniem fotopunktów w oprogramowaniu ORIMA. Analizując wyniki zamieszczone w tabeli 5 należy stwierdzić, że wszystkie wygenerowane ortooobrazy spełniają kryterium dokładności mapy w skali 1:2000 (tj. średnie błędy położenia są mniejsze niż 0.40 m) i można je wykorzystać do jej aktualizacji. Uzyskanie takich dokładności dla wszystkich kątów obrazujących trzylinijkowej cyfrowej kamery lotniczej ADS40 pozwalała na zwiększenie zakresu obserwacji obiektów przy jednoczesnym zachowaniu jednakowej dokładności dla wszystkich obserwacji.

4.2. Wytyczne dla generowania ortoobrazów

W dwóch pierwszych rozpatrywanych przypadkach dokładność ortoobrazów spada wraz ze wzrostem wychylenia wiązki obrazującej kamery. Dla zobrazowań poddanych procesowi wyrównania z wykorzystaniem fotopunktów (trzeci rozpatrywany przypadek) dokładność położenia szczegółów sytuacyjnych na ortoobrazach jest jednakowa dla różnych kątów obrazujących.

Na podstawie uzyskanych wyników możemy stwierdzić, że wykorzystując numeryczny model terenu wygenerowany z zobrazowań kamery ADS40 metodą korelacji obrazów oraz zobrazowania nadirowe pozyskane trzylinijkową cyfrową kamerą lotniczą ADS40 poddane wyrównaniu blokowemu z zastosowaniem GPS/IMU i punktów wiążących, możliwe jest uzyskanie produktu fotogrametrycznego (ortoobrazu) o dokładności pozwalającej na aktualizację map w skali 1:2000. Zobrazowania poddane procesowi aerotriangulacji z wykorzystaniem fotopunktów, należy wykorzystać do generowania ortoobrazów dla wszystkich kątów obrazujących kamery. Takie podejście pozwala na wygenerowanie ortoobrazu o dokładności na poziomie 1 piksela obrazu źródłowego niezależnie od kąta wychylenia od nadiru wiązki obrazującej kamery ADS40.

5. WNIOSKI

Do wyrównania bloku obrazów ADS40 należy wykorzystać zobrazowania pozyskane dla wszystkich kątów obrazujących kamery. W przypadku braku zobrazowań panchromatycznych dla danego kąta obrazującego należy wykorzystać zobrazowanie pozyskane w kanale czerwonym.

Do generowania NMT należy wykorzystywać obrazy źródłowe poddane wyrównaniu blokowemu z zastosowaniem danych systemu GPS/IMU oraz fotopunktów.

Automatyczny pomiar siatki punktów wysokościowych NMT należy realizować z wykorzystaniem zobrazowań panchromatycznych lub zobrazowań pozyskanych w kanale czerwonym.

Wykorzystując algorytmy korelacji obrazów cyfrowych i dane ADS40 możliwe jest uzyskanie NMT o dokładności $m_z=0.12$ m w terenie równinnym. Do uzyskania NMT najwyższej możliwej dokładności, należy użyć pojedynczą parę zobrazowań ADS40 o stosunku B/H większym od 0.5.

Dokładności NMT uzyskane z wykorzystaniem automatycznej korelacji obrazów ADS40 można porównać z dokładnościami uzyskiwanymi przy zastosowaniu lotniczego skaningu laserowego.

Zobrazowania ADS40 pozwalają na wygenerowanie ortofotomapy o dokładności jednego piksela obrazu źródłowego dla wszystkich kątów obrazujących kamery (w przypadku wygenerowania ortoobrazów na podstawie zobrazowań wyrównanych z wykorzystaniem fotopunktów).

Zobrazowania z lotniczej kamery cyfrowej ADS40 są doskonałym materiałem źródłowym do generowania ortofotomap w skali map zasadniczych.

6. LITERATURA

Boczar S., Dąbrowski R., Fedorowicz-Jackowski W., Zych J., 2006. Kamera cyfrowa Leica ADS40, skaner laserowy Leica ALS50 – doświadczenia produkcyjne. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 16, s. 41-51.

Ewiak I., Karwel A.K., Kraszewski B., 2008. Aspekty dokładności generowania NMT na podstawie obrazów z cyfrowej kamery ADS40. *Archiwum Fotogrametrii i Teledetekcji*, Vol. 18, s. 111-120.

ANALYSIS OF THE ACCURACY OF THE PHOTOGRAMMETRIC PRODUCTS OBTAINED FROM THREE-LINE DIGITAL AERIAL CAMERA ADS40 IMAGES

KEY WORDS: digital photogrammetry, ADS40, DEM, ortho, accuracy analysis

SUMMARY: The results of the accuracy analysis of digital terrain models and orthoimages generated from ADS40 images are presented. The analysis is concerned with photogrammetric products obtained from raw and oriented ADS40 image data. It was confirmed that the accuracy of digital terrain models generated on the basis of ADS40 oriented images is about 0.12 m for flat areas. It was found, that the accuracy of orthoimages generated from the nadir ADS40 images with pixel size 0.25 m is at the level of one pixel. Similar results can be obtained from off-nadir viewing of ADS40 images.

mgr inż. Bartłomiej Kraszewski
bartlomiej.kraszewski@igik.edu.pl
telefon: +48 22 3291987

ZASTOSOWANIE ZDJEĆ LOTNICZYCH DO TWORZENIA MODELU 3D MIASTA NA PRZYKŁADZIE MIECHOWA*

APPLICATION OF AERIAL PHOTOS IN CREATING A 3D TOWN MODEL. AN EXAMPLE BASED ON THE TOWN OF MIECHÓW

Bogusława Kwoczyńska, Krzysztof Kozik, Karolina Lech

Katedra Geodezji Rolnej, Katastru i Fotogrametrii,
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

SŁOWA KLUCZOWE: zdjęcie lotnicze, wizualizacja, model 3D

STRESZCZENIE: Ostatnie kilka lat wskazuje na rosnące zainteresowanie budowaniem trójwymiarowych modeli miast. Źródłem danych do tworzenia modeli 3D budynków mogą być stereogramy zdjęć lotniczych, obrazów satelitarnych o dużej rozdzielczości oraz dane pochodzące ze skaningu laserowego. W publikacji przedstawiono przykład wykorzystania panchromatycznych zdjęć lotniczych wykonanych w skali 1:13 000 i zeskanowanych z pikselem o rozdzielczości 14 μm , do zbudowania trójwymiarowego modelu miasta Miechowa. Zorientowanie stereogramów oraz wygenerowanie Numerycznego Modelu Terenu przeprowadzono na fotogrametrycznej stacji cyfrowej Delta firmy GeoSystem. Dokładność NMT określono przez średni błąd wyinterpolowanej wysokości $m_{\text{NMT}} = 0.24$ m. Dane niezbędne do stworzenia brył budynków (obrysy dachów oraz wysokość przyziemia) pozyskane zostały w trakcie pomiaru na fotogrametrycznej stacji cyfrowej. Dane te zapisano w postaci pliku .dxf i zaimportowano do programu AutoCAD, gdzie nastąpiło opracowanie uproszczonego (bez naniesienia oryginalnych tekstur fasad budynków) modelu 3D miasta Miechowa. W efekcie końcowym wygenerowano krótki film, który stanowi wirtualny spacer po „cyfrowym” Miechowie.

1. WPROWADZENIE

W ostatnich dziewięciu latach obecnego stulecia dominuje rozwój nauk i technologii informatycznych oraz wzrost świadomości ludzkiej odnośnie otaczającego nas środowiska. Wyraźnie widoczne jest rosnące zapotrzebowanie na dokładne dane o ukształtowaniu powierzchni terenu, a także obiektów na niej usytuowanych. Dwuwymiarowy sposób przekazu danych wywodzący się z kartografii jest dla człowieka mniej oczywisty

niż model trójwymiarowy, który odzwierciedla ludzką percepcję rzeczywistości. Dlatego też, wykorzystując postęp technologiczny zarówno w zakresie pozyskiwania i przetwarzania danych przestrzennych, systemy informacji geograficznej rozwijane są w kierunku trzeciego wymiaru (GIS 3D) (Cisło, 2008).

Obecnie najbliższy GIS 3D jest, rozwijany od 2003 r., projekt trójwymiarowego miasta Berlina, stanowiący połączenie dwu- i trój-wymiarowych danych przestrzennych. W Polsce przykładem takiego rozwiązania są projekty zrealizowane między innymi w Warszawie, Stargardzie Szczecińskim, Radomiu, Szczecinie i Białymstoku. Model 3D Berlina oparty jest na *City Geography Markup Language* (CityGML), będącym schematem aplikacyjnym międzynarodowego standardu dla geoinformacji – *Geography Markup Language 3* (GML3), przeznaczonym do modelowania miasta 3D (Kolbe *et al.*, 2006). CityGML w sierpniu 2008 r. uzyskał status OpenGIS® Encoding Standard (OGC, 2008).

Dzięki powstałemu w 2004 roku w Komorowie (Polska), Satelitarnemu Centrum Bacharach Operacji Regionalnych, które to między innymi wykonuje rejestrację scen stereoskopowych, buduje się modele 3D miast na poziomie Level 0 według systematyki CityGML. Modele te są głównie wykorzystywane dla potrzeb telefonii komórkowej. Wykonane naloty z wykorzystaniem skaningu laserowego dla Wrocławia, Krakowa i Warszawy są również bardzo dobrym materiałem do zbudowania 3D modeli miast. Jak dotąd Firma SCOR S.A. wykonała modele dla największych miast w Polsce i planuje sprzedawać swoje technologie za granicą.

2. DANE ŹRÓDŁOWE DO TWORZENIA MODELU 3D MIASTA MIECHOWA

Sporządzanie wysokościowych modeli budynków miast możliwe jest nie tylko na podstawie stereopar obrazów satelitarnych o bardzo dużej rozdzielczości oraz danych ze skaningu laserowego, ale również na podstawie stereogramów zdjęć lotniczych, czego potwierdzeniem jest praca dyplomowa Krzysztofa Kozika i Karoliny Lech (2009), powstała w Katedrze Fotogrametrii i Teledetekcji Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie pod kierunkiem Bogusławy Kwoczyńskiej, a będąca źródłem niniejszej publikacji.

Potencjał kartograficzny wysokorozdzielczych obrazów satelitarnych typu Ikonos czy QuickBird z pikselem zbliżonym do 1m odpowiada potencjałowi zdjęć lotniczych w skali 1:25 000 – 1:35 000 (Kurczyński, 2006). Dokładność modeli wysokościowych budynków opartych na stereoparach zdjęć lotniczych wynosi około 20 cm, a w przypadku obrazów satelitarnych wynosi około 1-2 metra (Ulm, 2003).

Lotniczy skaningu laserowy pozwala na wyznaczenie Numerycznego Modelu Pokrycia Terenu i wtórnie do wygenerowania Numerycznego Modelu Terenu o praktycznie najwyższej dokładności dla dużych powierzchni terenu. Dane pomiarowe z ALS (ang. *Airborne Laser Scanning*) obszarów zurbanizowanych po ich przetworzeniu pozwalają w sposób wysoce zautomatyzowany budować modele 3D miast. Dane te można łatwo łączyć z obrazami cyfrowymi tworząc modele 3D miast bardziej realistyczne lub wręcz produkt nowej generacji, jakim jest ortofoto rzeczywiste (True Ortho) (Preuss, 2007).

Proces pozyskania danych lidarowych odbywa się bardzo szybko, jednak już sam proces wykrywania, a następnie modelowania budynków ze zbioru punktów jest procesem złożonym. Istnieje wiele publikacji opisujących półautomatyczne i automatyczne metody ekstrakcji budynków. Dokładności metod półautomatycznych wynoszą od 0.3 do 0.5 metra w płaszczyźnie pionowej (Ulm, 2003). Wysoka dokładność skaningu laserowego oraz jednoczesna wydajność pomiaru powoduje, że metoda ta staje się coraz częściej używana przy budowie modeli 3D miast. Jediną wadą skaningu laserowego są jeszcze nie do końca dopracowane metody ekstrakcji budynków (Różycki, 2007).

Do zbudowania trójwymiarowego modelu miasta Miechowa w opracowaniu wykorzystano stereopary panchromatycznych zdjęć lotniczych wykonanych kamerą RC 20 o $c_k=153$ mm w skali 1:13 000 w marcu i kwietniu 2003 roku. Zdjęcia były zeskanowane z pikselem 14 μ m.

Zorientowanie stereogramów przeprowadzono na fotogrametrycznej stacji cyfrowej Delta firmy GeoSystem z wykorzystaniem modułu Model. W wyniku orientacji wewnętrznej otrzymano średnią wartość $V_x=6.9$ μ m, a $V_y=5.5$ μ m.

Błędy szczałkowe paralaksy poprzecznej (p_y) uzyskane w orientacji wzajemnej dla wszystkich stereogramów były mniejsze od 1.3 μ m. Orientacje zostały wykonane manualnie i przeprowadzone na 6 punktach.

Orientację absolutną każdego stereogramu wykonano na 4 fotopunktach naturalnych uzyskując średnie wartości błędów na fotopunktach $m_x=\pm 0.08$ m, $m_y=\pm 0.25$ m i $m_z=\pm 0.14$ m (Kozik, Lech, 2009).

3. CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU BADAŃ

Miechów jest miastem położonym w południowej Polsce, w województwie małopolskim. Jest siedzibą gminy miejsko-wiejskiej w powiecie miechowskim. Miechów posiada zwartą, w większości niską zabudowę, dominują tutaj domy jednorodzinne, mniejszością są budynki wielorodzinne (bloki mieszkalne). W centrum miasta znajduje się średniowieczny rynek otoczony zabytkową zabudową (Rys. 1).

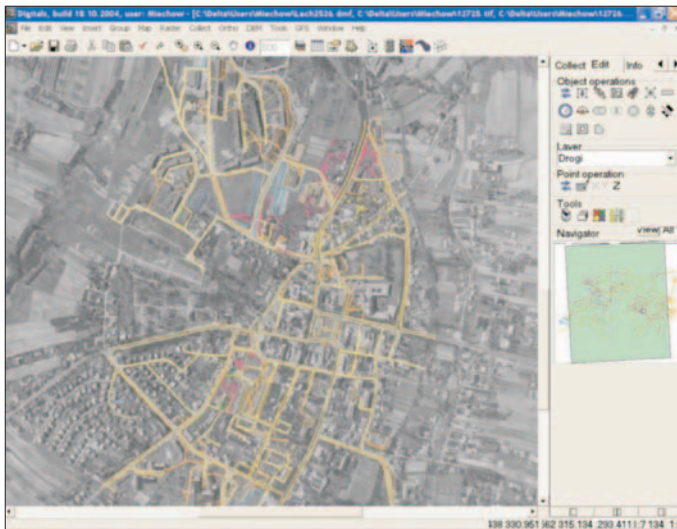
4. NUMERYCZNY MODEL TERENU MIECHOWA

Numeryczny Model Terenu niezbędny do opracowania modelu 3D miasta Miechowa powstał na podstawie pomiaru wykonanego na stereogramach obejmujących teren mieszczący się w administracyjnej granicy Miechowa. Na fotogrametrycznej stacji cyfrowej Delta pomierzone zostały sytuacyjnie i wysokościowo podstawowe elementy infrastruktury (drogi, chodniki, budynki), elementy nieciągłości terenu (skarpy), granice wyłączeń (ciek wodny) oraz zadrzewienia występujące na zadanym obszarze (Rys. 2).

Dla całego obiektu automatycznie wygenerowano Numeryczny Model Terenu o oczku 20 m. Weryfikację punktów odstających przeprowadzono w module Mapping.



Rys. 1. Mapa Miechowa.



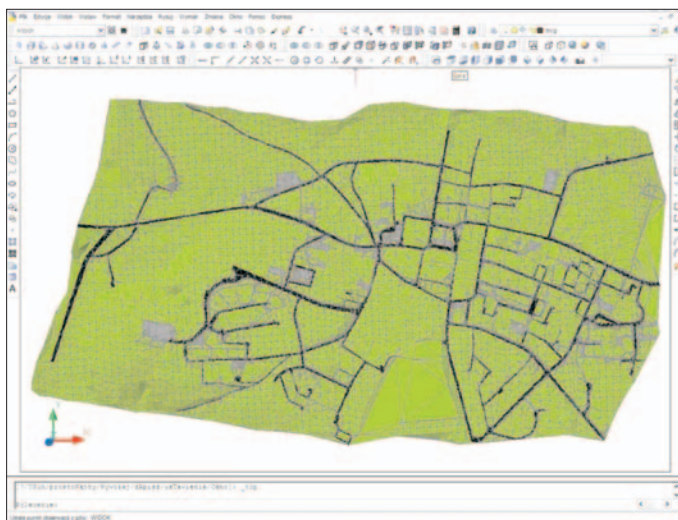
Rys. 2. Fragment NMT Miechowa.

Dokładność NMT określono poprzez średni błąd wyinterpolowanej wysokości, który wyniósł $m_{NMT}=0.24$ m.

Uzyskany w ten sposób NMT został zapisany w postaci pliku .dxf w celu dalszego opracowania modelu 3D w programie AutoCAD.

5. BUDOWA WYSOKOŚCIOWYCH MODELI BUDYNKÓW W PROGRAMIE AUTOCAD

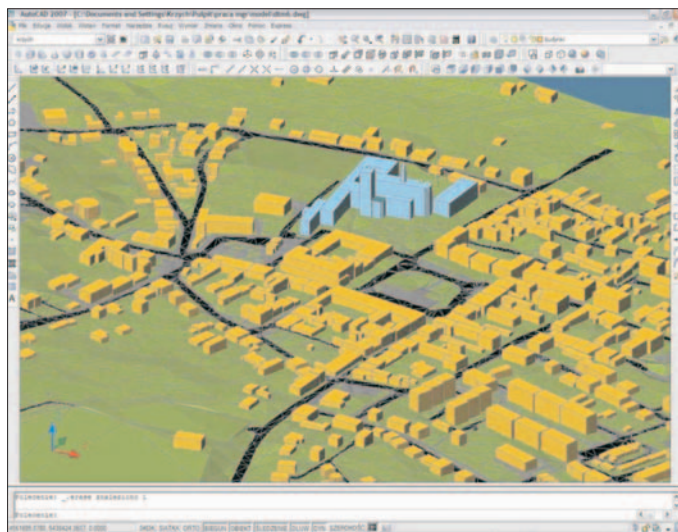
Przed przystąpieniem do pozyskiwania wysokościowych modeli budynków należy dokonać dokładnej rekonstrukcji modelu terenu. Program AutoCAD wymaga w tym celu stworzenia powierzchni terenu, która najczęściej złożona jest z siatki trójkątów najwierniej oddającej rzeźbę terenu. Aby model był poprawny należy dodatkowo określić parametry, według których dobierane są wierzchołki trójkątów. Muszą cechować się one możliwie jak największą równobocznością, małymi kątami i krótkimi bokami. Dodatkowo program powinien uwzględnić wszystkie punkty modelu do tworzenia siatki. Biorąc pod uwagę znaczne deniwelacje na obszarze opracowania, stworzono powierzchnię kierując się wyżej wymienionymi zasadami (Rys. 3).



Rys. 3. Okno programu AutoCAD – utworzona powierzchnia modelu dla Miechowa.

Dane wejściowe do stworzenia brył budynków pozyskane zostały podczas pomiaru na fotogrametrycznej stacji cyfrowej Delta. Stanowiły je obrysy budynków w postaci wieloboków osadzonych na wysokości mierzonych elementów (dach budynku). Wynikiem pomiaru dachów budynków był zbiór punktów (x,y,z) charakteryzujący ich strukturę. Ściany boczne budynków powstały poprzez automatyczne rozciągnięcie poligonu tworzącego dach do powierzchni Numerycznego Modelu Terenu wykorzystując funkcję *Wyciągnij*. W ten sposób utworzono jednocześnie wszystkie domy, co widoczne jest na rysunku 4.

Podczas rysowania dachów budynków na modelu pracę znacznie ułatwiała zastosowanie funkcji „*wprowadzanie dynamiczne*”, dzięki której wiele spośród wykorzystywanych narzędzi programu AutoCAD posiadało dodatkowe opcje.

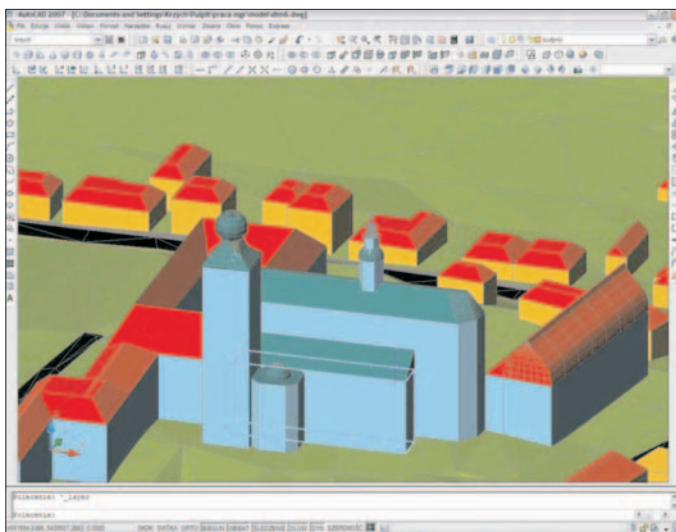


Rys. 4. Okno programu AutoCAD – bryły budynków w widoku izometrycznym.

Po zaznaczeniu kilku górnych powierzchni budowli i wybraniu polecenia *Wyciągnij*, konieczne następnie było określenie „kąta zwężenia” o jaki należało zwęzić wyciąganą powierzchnię dachu aż do kalenicy oraz podanie wysokości wyciągnięcia. Powyższe parametry były różne, a wynikały z różnorodności kształtów budynków. Ze względu na mnogość form, nie wszystkie dachy były wykonane tą metodą. Niektóre z nich należało „wyciągnąć” jako bryły proste (czyli bez zwężania), a następnie za pomocą narzędzia *Fazuj* nadać im żądaną postać. Przykłady dachów budynków stworzonych na modelu przedstawia rysunek 5.

Utworzone przy pomocy programu AutoCAD modele budynków stanowią uproszczony model 3D miasta Miechowa. Budynki zostały przedstawione w postaci elementarnych brył z pominięciem szczegółów, z wyjątkiem Katedry Bożogrobowców jako dominanty. Ze względu na duży obszar opracowania zrezygnowano z „nakładania” tekstur, zastosowano jedynie różnorodną paletę barw dla każdego typu obiektu. Pozyskiwanie oryginalnych tekstur fasad budynków możliwe jest poprzez wykorzystanie zdjęć niemetrycznych, jak również zdjęć lotniczych i satelitarnych. Jednak budowa takiego modelu pociąga za sobą duży rozmiar pliku, jak również konieczność posiadania komputera o dużej mocy obliczeniowej.

W celu pełniejszego oddania realnego wyglądu miasta w miejscach występowania roślinności wprowadzone zostały na modelu elementy zieleni. Dane niezbędne do ich rozlokowania zostały pozyskane na fotogrametrycznej stacji cyfrowej Delta. Były to wieloboki o nieregularnych kształtach, które wskazywały miejsca, w jakich miały znajdować się modele drzew. Same modele drzew stworzono wykorzystując funkcję *Przekręć* przy obrocie płaskiego obiektu wokół własnej osi obrotu. Rozmieszczenie elementów zieleni na modelu ilustruje rysunek 6.

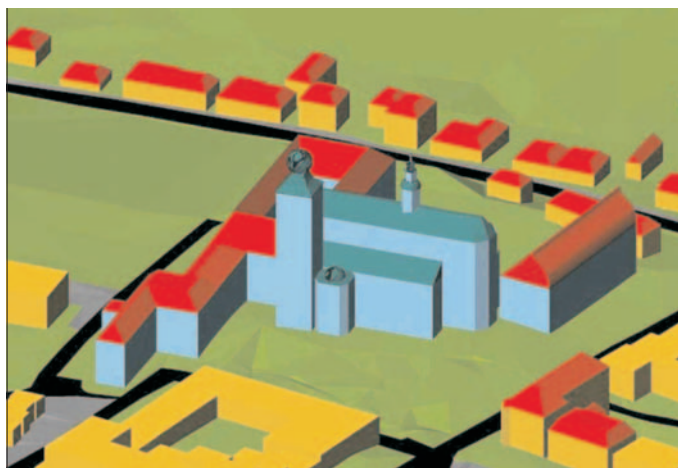


Rys. 5. Okno programu AutoCAD – dachy budynków.



Rys. 6. Elementy zieleni na modelu.

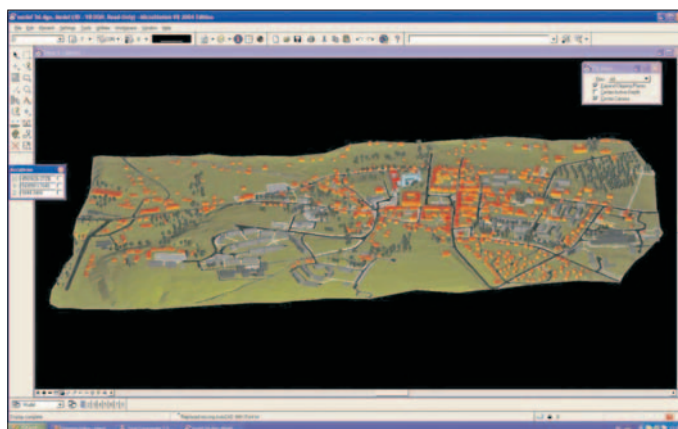
Efektem końcowym opracowania było wygenerowanie krótkiego filmu, który stanowił wirtualny spacer po „cyfrowym” Miechowie. W tym celu wykorzystano w programie AutoCAD, proste narzędzie do tworzenia animacji, podczas której kamera może poruszać się po wybranej ścieżce lub pozostawać w spoczynku. Cel kamery może być nieruchomy lub zmieniać się w czasie trwania przelotu. Do animacji modelu wykorzystano standardowe ustawienia renderingu wybierając formę prezentacyjną (Rys. 7).



Rys. 7. Renderowanie w stylu prezentacyjnym.

Plik wyjściowy został zapisany do formatu AVI (ang. *Audio Video Interleave*) o rozdzielczości 800x600 pikseli. Stworzono kilka animacji, które po połączeniu utworzyły dwuminutowy film, który można obejrzeć na dowolnym odtwarzaczu multimedialnym.

Opracowany model 3D miasta Miechowa przedstawia rysunek 8.



Rys. 8. Model 3D miasta Miechowa.

6. WYKORZYSTANIE TRÓJWYMIAROWYCH MODELI MIAST

Aglomeracje miejskie, jak również coraz większa liczba mniejszych miast na całym świecie, posiada lub dąży do stworzenia modeli 3D miast. Powszechnie panującą tenden-

cją jest opracowanie wizualizowanych map przestrzennych, wiernie oddających nie tylko wymiary obiektów, ale również ich rzeczywisty wygląd. Użyteczność modeli 3D miast w wielu dziedzinach jest ogromna. Zwizualizowana mapa przestrzenna dostarcza danych przestrzennych o charakterze geodezyjnym oraz pomaga w zarządzaniu miastem. Z modeli 3D korzystają projektanci i architekci np. do wpasowania nowych budynków w istniejącą zabudowę. Jednocześnie modele 3D są wykorzystywane w edukacji i turystyce.

Modele 3D mogą mieć również zastosowanie między innymi przy:

- sporządzaniu projektów studiów uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego oraz projektów miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego,
- planowaniu oraz projektowaniu nowych inwestycji (np. Warszawa),
- symulacji klęsk żywiołowych, zarządzaniu w sytuacjach kryzysowych,
- opracowaniu map akustycznych,
- ochronie zabytków (np. zamek w Chęcinach),
- projektach telekomunikacyjnych (np. zakłady chemiczne w Policach),
- tworzeniu serwisów lokalizacyjnych oraz nawigacji samochodowej.

Modele 3D stosuje się również w ochronie środowiska do stworzenia map przykładowego rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń.

Służby kryzysowe i policja korzystają z tych modeli do symulacji akcji ratunkowych. Należą do nich m.in. planowanie ewakuacji ludności w przypadku powodzi, zamachów terrorystycznych lub wojny. Możliwe jest również określenie najkrótszej drogi przejazdu karetek, wozów strażackich oraz ważnych delegacji.

Miasta wykorzystują modele 3D do promocji swoich regionów. Powszechne są animacje, wizualizacje oraz filmy promujące atrakcyjne turystycznie miejsca umieszczone na stronach internetowych (np. modele 3D miasta Warszawy, Poznania, Krakowa, Wrocławia).

7. PODSUMOWANIE

Kandydowanie, a następnie członkostwo Polski w Unii Europejskiej stworzyło warunki do rozwoju polskich firm geodezyjnych i modyfikacji stosowanych przez nie technologii fotogrametrycznych. Opóźnienie technologiczne względem podobnych firm w krajach Unii Europejskiej, jakie miało jeszcze miejsce w latach 90. poprzedniego stulecia, całkowicie się zatarło. W firmach tych, podobnie jak na Zachodzie, stosowane są najnowsze technologie pozwalające na budowanie trójwymiarowych modeli miast nie służących jedynie do prostych wizualizacji. Dostępne oprogramowanie pozwala przeprowadzać analizy przestrzenne na zbiorach 3D, a najciekawszymi produktami na rynku oferującymi takie możliwości są programy InReality i Urban Analyst. Programy te są wykorzystywane m. in. podczas sytuacji kryzysowych. Opracowanie modeli 3D miast możliwe jest też na podstawie łatwo dostępnych materiałów (zdjęć lotniczych) i mniej skomplikowanego oprogramowania typu MicroStation i AutoCAD dających takie same efekty, czego dowodem jest powyższa publikacja.

8. LITERATURA

- Cisło U., 2008. Zarys koncepcji trójwymiarowej wielorozdzielczej bazy topograficznej. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 18a, s. 49-57.
- Kolbe T.H., Bacharach S., 2006. CityGML: An Open Standard for City Models. *Directions Magazine*, 3 lipiec 2006, www.directionsmag.com
- Kozik K., Lech K., 2009. *Opracowanie modelu 3D miasta Miechowa w oparciu o dane pozyskane na fotogrametrycznej stacji cyfrowej Delta*. Praca dyplomowa napisana pod kierunkiem dr inż. Bogusławy Kwoczyńskiej, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie.
- Kurczyński R., 2006. *Lotniczy skaning laserowy (LIDAR)*. <http://www.geoforum.pl>
- Open Geospatial Consortium, 2008. OpenGIS® City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard, <http://www.opengeospatial.org>
- Preuss R., 2007. Uwarunkowania rozwoju fotogrametrii w Polsce. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 17b, s. 671-679.
- Różycki S., 2007. Trójwymiarowe modele miast tworzenie i zastosowania. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 17b, s. 709-716.
- Ulm K., 2003. Improved 3D City Modeling with Cybercity Modeler using Aerial, Satellite Imagery and Laserscanner Data. *International Archives of the Photogrammetry*. Vol. XXXIV-5/W10.

APPLICATION OF AERIAL PHOTOS IN CREATING A 3D TOWN MODEL. AN EXAMPLE BASED ON THE TOWN OF MIECHÓW

KEY WORDS: aerial photo, visualization, 3D model

SUMMARY: In recent years there has been growing interest in constructing 3D models of towns. The sources of data for the generation of 3D models can be stereograms of aerial photos, high resolution satellite images and data obtained from laser scanning. This paper presents an example of the application of panchromatic aerial photos carried out at a scale of 1:13 000 and scanned with a pixel resolution 14 μm to create a 3 dimensional model of the town of Miechów. The orientation of the stereograms and the generation of the Digital Terrain Model were performed on the photogrammetric digital station Delta produced by GeoSystem. The accuracy of the DTM was determined by the mean square error of interpolated height mDTM= 0.24 m. The data necessary to create the building structures (outlines of roofs and heights of ground floors) were obtained from measurements on digital station. The dataset obtained was saved in a .dxf file and imported to AutoCAD, where simplified processing of the 3D model of the town of Miechów was performed (without taking into account the rendering textures of the original facades of buildings). Finally a short film, which is a virtual walk around the digital town of Miechów, was created.

dr inż. Bogusława Kwoczyńska
rmkwoczy@cyf-kr.edu.pl
telefon: +48 12 6624505
fax: +48 12 6624503

mgr inż. Krzysztof Kozik
jozef.k@gmail.com
mgr inż. Karolina Lech
kala20.lech@interia.pl

* wersja kolorowa artykułu jest dostępna na stronie <http://www.sgp.geodezja.org.pl/pftfit>

**IMPLEMENTACJA ALGORYTMÓW ANALIZ PRZESTRZENNYCH DLA
DUŻYCH ZBIORÓW DANYCH NA PRZYKŁADZIE TOPOGRAFICZNEGO
INDEKSU POZYCJI Z WYKORZYSTANIEM ŚRODOWISKA MATLAB^{*}, ^{**}**

**IMPLEMENTATION OF SPATIAL ANALYSIS ALGORITHMS ON LARGE
COLLECTIONS OF DATA BASED ON THE TOPOGRAPHIC POSITION
INDEX WITH THE USE OF THE MATLAB ENVIRONMENT**

Jan Lach¹, Krystian Koziol²

¹ Wydział Leśny, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

² Katedra Geomatyki, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska,
Akademia Górniczo-Hutnicza

SŁOWA KLUCZOWE: geoinformatyka, analizy przestrzenne, NMT, indeksy topograficzne, orografia terenu, MATLAB

STRESZCZENIE: Popyt na informację przestrzenną przyczynił się do powstania nowych dyscyplin naukowych, jak również wielu nowych gałęzi przemysłu. Analizy przestrzenne wykonywane dzięki tym systemom, mogą dotyczyć różnych problemów, począwszy od określenia przestrzennej lokalizacji obiektów naturalnych bądź antropogenicznych, po skomplikowane analizy występowania różnorodnych zjawisk czy zagrożeń. Rozwój technologii pozyskania danych powoduje wzrost dokładności odzwierciedlenia rzeczywistości w modelach przestrzennych, w tym Numerycznego Modelu Terenu (NMT), jako przykład można tutaj podać rozwój technik LIDAR. Na podstawie NMT oraz jego atrybutów, można dokonywać pod różnym kątem oceny morfologii terenu, określać przydatność terenów pod określone formy zagospodarowania (np. zalesianie), modelować procesy hydrologiczne czy klimatyczne. Okazuje się jednak, że zagadnienia analizy przestrzennej spotykają się z różnymi ograniczeniami, w tym również z problemami wydajnych obliczeń komputerowych. Często dostępne oprogramowania z dziedziny GIS, zarówno komercyjne jak i darmowe, mają problem z analizą dużej ilości danych. Głównym celem artykułu jest implementacja wybranych algorytmów przetwarzania NMT w środowisku obliczeniowym MATLAB i wykazanie zasadności oraz korzyści płynących z zastosowania oprogramowania obliczeniowego do wspomagania decyzji przy dużej liczbie danych. Zaprojektowane algorytmy zostały zoptymalizowane pod względem: czytania dużych zbiorów ich fragmentacji i obliczeń ciągłych oraz zapisu. Dla weryfikacji poprawności obliczeń porównano wyniki otrzymywane w innych programach typu GIS. Testowe obliczenia przeprowadzono dla wybranych NMT. Przedmiotem porównania była dokładność obliczeń, ich niezawodność oraz czas niezbędny na ich przeprowadzenie. Autorzy wnioskują, iż stosowanie środowiska obliczeniowego umożliwia szybsze uzyskanie wyników dla dużych zbiorów danych przy zachowaniu tej samej dokładności.

1. WSTĘP

W różnego rodzaju analizach przyrodniczych wykorzystuje się głównie numeryczne modele terenu (NMT) w postaci rastrowej, ze względu na łatwość jego przetwarzania. Mając na uwadze rozdzielczość danego modelu, możemy dokonywać różnych prób klasyfikacji rzeźby terenu, modelować procesy przyrodnicze, jak chociażby erozję powierzchniową czy spływ powierzchniowy, określać lokalne warunki dla wzrostu roślin, itp. Dane wysokościowe zawarte w NMT możemy więc za pomocą różnych algorytmów przetworzyć, uzyskując ilościowe atrybuty ukształtowania powierzchni terenu. Atrybuty te określane są mianem produktów pochodnych NMT lub wskaźnikami topograficznymi (MacMillan *et al.*, 2000). Możemy podzielić je na dwie grupy: wskaźniki topograficzne pierwotne oraz wtórne (Wilson, Gallant, 2000).

Ze wskaźnikami pierwotnymi mamy do czynienia wtedy, gdy są one obliczane bezpośrednio z NMT. Większość takich wskaźników określanych jest za pomocą lokalnych wartości pochodnych kształtu powierzchni (Wilson, Gallant, 2000). Wskaźniki wtórne natomiast obliczane są w oparciu o wskaźniki pierwotne i tworzone są głównie w celu określenia wpływu topografii terenu na różnorakie zjawiska ekologiczne, lub też w celu sklasyfikowania występujących form terenu. Z przykładów można wymienić wskaźniki: EROS (ang. *Erosion*), SRAD (ang. *Solar Radiation*) czy klasyfikacje orograficzne terenu.

Wskaźniki podzielić możemy również ze względu na rodzaj opisywanego zjawiska. Najbardziej popularną grupę stanowią wskaźniki morfometryczne, które uzyskujemy za pomocą stosowania różnych filtrów na danych wysokościowych. Do tej grupy zaliczamy większość wskaźników zdefiniowanych jako pierwotne oraz wiele innych, jak np. SCI (ang. *Shape Complexity Index*). Kolejną popularną grupę stanowią produkty pochodne NMT, opisujące sytuację hydrologiczną wynikającą z ukształtowania terenu. Przykładowo wymienić można: CTI (ang. *Compound Topographic Index*), który opisuje tendencję terenu do gromadzenia wody, SPI (ang. *Stream Power Index*) używany do określania wielkości erozji, STI (ang. *Sediment Transport Index*) używany do określania lokalnego zagrożenia erozją oraz DDENS (ang. *Potential Drainage Network Density*) pokazujący względną odległość od cieków wodnych (Hengl *et al.*, 2003). Istnieje również grupa wskaźników klimatycznych, mających na celu badanie zależności meteorologicznych od topografii terenu. Z przedstawicieli tej grupy wymienić można następujące indeksy: TEMP (ang. *Mean Annual Temperature*), WINDE (ang. *Wind Exposure Potential*) (Hengl *et al.*, 2003). Obliczenie wartości wymienionych powyżej indeksów dla małego zbioru danych nie wymaga zastosowania komputerów o dużej mocy obliczeniowej. Jednakże stosowanie tych indeksów na skalę masową niejednokrotnie kończy się fiaskiem. Autorzy postawili sobie za cel przetestowanie możliwości wykorzystania oprogramowania typu matematycznego do uzyskania wartości wybranych indeksów dla dużej liczby danych. Prace testowe polegały na utworzeniu programu obliczającego wskaźniki w środowisku MATLAB. Utworzony program wykorzystano do wyliczenia wskaźników na podstawie NMT Beskidu Śląskiego, i Żywieckiego oraz całego obszaru Polski, o różnych charakterystykach ilościowych i rozdzielczościach przestrzennych.

Nachylenie terenu, zwane spadkiem, jest jednym z podstawowych parametrów morfologicznych terenu. Definiowane jest jako kąt, który tworzy styczna do powierzchni terenu z płaszczyzną poziomą, w określonym kierunku. Tangens tego kąta będzie więc stosunkiem przyrostu wysokości, pomiędzy dwoma punktami na powierzchni terenu, do odległości rzutów tych punktów na płaszczyznę poziomą (odległość geodezyjna). Spadek mówi o szybkości zmiany wysokości, a więc jest miarą stromości powierzchni. Powierzchnia topograficzna charakteryzuje się zazwyczaj pochyłością wielokierunkową. W związku z tym spadek liczony jest z pochodnych cząstkowych wysokości po odległo-

$$S = \arctg(S_{xy}), \text{ gdzie } S_{xy} = \sqrt{(S_x)^2 + (S_y)^2} \quad (1)$$

ści wzdłuż poziomych osi przyjętego układu współrzędnych.

Spadek wypadkowy S (1) obliczany jest z wypadkowej S_{xy} pochodnych cząstkowych:

Spadek jest czynnikiem determinującym wpływ siły ciężkości na przepływ wody, przesuwanie się mas skalnych czy erozję powierzchniową gleby, stąd ma on duże znaczenie w takich dziedzinach nauki jak: hydrologia czy geomorfologia. Mapy spadków wykorzystywane są również przy projektowaniu infrastruktury.

Topograficzny Indeks Pozycji (TPI – ang. *Topographic Position Index*) został przedstawiony po raz pierwszy przez Weissa na konferencji ESRI International User Conference w 2001 roku (Weiss, 2001). Idea wskaźnika jest prosta: TPI służy do porównywania wysokości każdej komórki NMT w postaci modelu GRID, ze średnią wysokością komórek sąsiednich i wyrażany jest różnicą tych dwóch wartości. Sąsiedztwo może być określone dowolnie, najczęściej ograniczane jest pewnym otoczeniem. Otoczenie to wskazuje, które komórki powinny być uwzględnione jako sąsiednie. Najczęściej do określania otoczenia stosuje się obszar kwadratu, prostokąta, koła lub pierścienia.

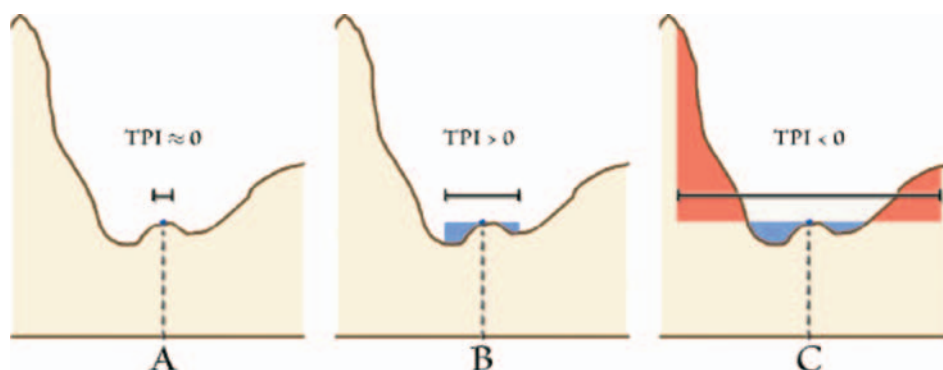
Wartość dodatnia TPI sugeruje, że dana komórka położona jest wyżej niż swoje otoczenie (np. obszar grzbietów i szczytów górskich), wartość ujemna wskazuje na niższe położenie w stosunku do sąsiedztwa (np. obszar dolin). Wartość TPI bliska zeru może oznaczać albo powierzchnię płaską, albo powierzchnie o średnim nachyleniu, zatem możemy te dwa przypadki rozróżnić za pomocą wyliczenia wartości spadku. TPI istotnie zależy od rozmiaru skali sąsiedztwa zastosowanej do obliczeń. Ten sam punkt może by przypisany do różnych kategorii na podstawie wartości TPI dla różnych skal (Rys. 1).

Na przedstawionym rysunku widzimy, jak ten sam punkt będący szczytem lokalnego wzniesienia na dnie doliny został na podstawie wartości TPI potraktowany jako część:

- powierzchni płaskiej: wariant A, gdzie skala sąsiedztwa jest relatywnie mała,
- szczytu: wariant B, gdzie skala obejmuje zbocza wzniesienia,
- dna doliny: wariant C, gdzie skala obejmuje swym zasięgiem zbocza sąsiednich wyższych wzniesień.

Użytkownik musi zatem dobierać skalę w sposób rozsądny, tak aby miała ona ścisły związek ze zjawiskiem poddawany analizie oraz specyfiką terenu.

Klasyfikacja *Slope Position* (Tab. 1) polega na wykorzystywaniu do klasyfikacji terenu wyliczonych wartości TPI oraz spadku. Możemy przyjąć pewne progi dla wartości TPI, po przekroczeniu których odpowiednio klasyfikujemy teren, np. przekroczenie usta-



Rys. 1. Zależność TPI od przyjętej skali sąsiedztwa.

Źródło: Jenness, 2006.

Tab. 1. Tabela przedstawiająca sposób klasyfikacji Slope Position wg Weissa (2001).

Nr klasy	Opis	Wartość standaryzowanego TPI (SDTPI)	Wartość spadku (SL)
1	grzbiet (rigde)	> 1	-
2	górną część stoku (upper slope)	$0.5 < i \leq 1$	-
3	środek zbocza (middle slope)	$-0.5 < i < 0.5$	$> 5^\circ$
4	teren płaski (flat slope)	$-0.5 \leq i \leq 0.5$	$\leq 5^\circ$
5	dolną część stoku (lower slope)	$-1 \leq i < -0.5$	-
6	dolina (valley)	< -1	-

lonej dodatniej wartości TPI oznaczać będzie, że teren zaliczymy do kategorii wzniesień lub grzbietów górskich. Analogicznie wartości TPI mniejsze od pewnej ujemnej wartości TPI będą przedstawiały analizowany obszar jako dno doliny, itp.

Weiss w swojej klasyfikacji *Slope Position* zaproponował sześć kategorii. Do ich wyznaczenia używa wartości TPI w jednostkach standaryzowanych (Weiss, 2001). Takie podejście sprawia, że dla każdej komórki modelu GRID uwzględniana jest zmienność wysokości w obrębie jej sąsiedztwa. W związku z tym, komórki z dwóch obszarów różniących się wysokością, ale posiadające tę samą wartość TPI, mogą zostać inaczej sklasyfikowane.

Klasyfikacja *Landform* przedstawiona przez Weissa (2001), bazuje na porównywaniu wartości TPI wygenerowanych dla dwóch różnych skal sąsiedztwa. Chcąc przystąpić do sklasyfikowania terenu musimy dysponować dwoma modelami GRID zawierającymi wartości TPI oraz jednym z wartościami spadku. Ponieważ zakres wartości TPI dla obu modeli mógłby się znacząco różnić ze względu na inną wielkość sąsiedztwa, dlatego wartości TPI muszą być zestandaryzowane, co ułatwi ich porównywanie. Wartość spadku używana jest do odróżnienia płaskich obszarów od otwartych stoków o stałym nachyleniu. Wyróżniono 10 kategorii form terenowych (Tab. 2). Przykładowo, mała wartość

TPI dla małej skali sąsiedztwa, przy jednocześnie dużej wartości TPI dla dużej skali sąsiedztwa pozwala przypuszczać, że mamy do czynienia z lokalnym wzniesieniem w szerokiej dolinie.

Tab. 2. Tabela przedstawiająca klasyfikację Landform wg Weissa (2001).

Nr klasy	Opis terenu	Wartość standaryzowanego TPI dla małej skali sąsiedztwa (SNTPI)	Wartość standaryzowanego TPI dla dużej skali sąsiedztwa (LNTPI)	Wartość spadku (SL)
1	Wąwozy i wcięte doliny	≤ -1	≤ -1	-
2	Płytke małe doliny	≤ -1	$-1 \leq i < 1$	-
3	Wyżyny pocięte dolinami	≤ -1	≥ 1	-
4	Doliny U-kształtne	$-1 \leq i < 1$	≤ -1	-
5	Szerokie płaskie obszary	$-1 \leq i < 1$	$-1 < i < 1$	$\leq 5^\circ$
6	Szerokie otwarte stoki	$-1 \leq i < 1$	$-1 < i < 1$	$> 5^\circ$
7	Połoniny, płaskie szczyty	$-1 \leq i < 1$	≥ 1	-
8	Lokalne grzbiety i wzniesienia w szerokich dolinach	≥ 1	≤ 1	-
9	Lokalne grzbiety na stokach i równinach	≥ 1	$-1 < i < 1$	-
10	Szczyty i wysokie grzbiety	≥ 1	≥ 1	-

2. ANALIZA ISTNIEJĄCYCH ROZWIĄZAŃ

Na rynku dostępnych jest szereg programów umożliwiających pracę nad Numerycznym Modelem Terenu. W Internecie odnaleźć można dość dużą liczbę programów z rodziny GIS w ramach licencji Open Source (FreeGIS DATABASE², Open Source GIS³). Z programów umożliwiających tworzenie NMT wymienić można programy AutoDEM, GRASS. Do wizualizacji terenu przeznaczony jest program 3DEM (Terrain Visualization and Flyby

² FreeGIS Database, <http://freegis.org/>

³ Open Source GIS, <http://opensourcegis.org/>

Animation). W wielu programach dostępne są funkcje konwersji danych oraz funkcje realizujące mniej lub bardziej skomplikowane analizy przestrzenne (np. programy GRASS, TAS, MICRODEM, QGIS, ILWIS). Większość programów oferuje także pewien zakres narzędzi realizujących wskaźniki topograficzne. Proste wskaźniki pierwotne, typu: spadek, ekspozycja można wyliczyć praktycznie w każdym programie. Program SAGA⁴ (ang. *System for Automated Geoscientific Analyses*) jest przykładem darmowego produktu, posiadającego bogaty zestaw narzędzi do analizy przestrzennych dla danych rastrowych. W programie zaimplementowano m.in. wskaźniki morfometryczne, hydrologiczne, klimatyczne.

Warto zaznaczyć, że algorytmy realizujące te same wskaźniki w różnych programach mogą się różnić – tak jest często w przypadku nachylenia. Często również z danym programem związane są wskaźniki nie występujące w innych programach, lub też będące pewnym merytorycznym odpowiednikiem innych opisanych wskaźników (kryjących się pod inną nazwą, ale ilustrujących podobne zjawisko).

W programie ILWIS⁵ (ang. *Integrated Land and Water Information System*) zaimplementowany jest algorytm obliczający opisany w rozdziale 3.6 wskaźnik SINS oraz szereg innych parametrów klimatycznych, morfometrycznych czy hydrologicznych (Hengl *et al.*, 2003). Darmowe rozwiązania mają jednak swoje wady. Programy takie nie radzą sobie z przetwarzaniem dużych danych wejściowych, co skutkuje zawieszeniem programu, przekroczeniem rozmiaru pamięci, lub bardzo długim czasem obliczeń. Bardziej zaawansowane narzędzia analizy terenu dostarczane są z reguły w programach komercyjnych. Przykładem jest rodzina oprogramowania firmy ESRI o nazwie ArcGIS (ESRI⁶). W ramach licencji ArcInfo mamy dostęp do wysoce funkcjonalnego narzędzia ArcToolbox.

W przypadku wskaźnika TPI nie istnieje program, który dostarcza bezpośrednio funkcję umożliwiającą jego policzenie. Jenness (2006) skonstruował moduł do programu ArcGIS ArcView 3.2 (ESRI) obliczający wskaźnik TPI i klasyfikację terenu na nim bazującą. Jednakże czas obliczeń dla dużych zbiorów jest zbyt długi, a przy zbyt dużej ilości danych program ulega zawieszeniu. Wykorzystując analizy sąsiedztwa i operacje statystyczne możemy policzyć TPI i klasyfikację w kilku krokach w programie ArcGIS. O ile jednak program w miarę dobrze radzi sobie z małymi rastrowymi, o tyle w przypadku dużych zbiorów danych wejściowych trzeba uzbroić się w cierpliwość. Pewnym usprawnieniem może być zastosowanie „Model Buildera” (tworzenie własnych zestawów funkcji) do obliczenia TPI oraz jego klasyfikacji.

Z uwagi na problem wydajności programów oferujących wykonywanie analiz na podstawie NMT, postanowiono zrealizować je za pomocą pakietu MATLAB⁷. Środowisko to charakteryzuje się bardzo dużą wydajnością obliczeń numerycznych dla danych macierzowych, w związku z tym może być wykorzystane do analizy danych wysokościowych w postaci modelu GRID. MATLAB to również język programowania wysokiego poziomu, dzięki czemu można tworzyć funkcje realizujące różne analizy przestrzenne.

⁴ SAGA, <http://www.saga-gis.org/>

⁵ ILWIS, <http://www.ilwis.org/>

⁶ ESRI, <http://www.esri.com/>

⁷ MathWorks™ <http://www.mathworks.com>

3. PROGRAM WŁASNY

Głównym zadaniem zaproponowanego programu jest obliczanie wybranych wskaźników NMT, takich jak: nachylenie terenu, TPI, klasyfikacje terenowe *Slope Position* oraz *Landform*, a także wskaźnika klimatycznego SINS. Podstawowym założeniem jest poprawność i szybkość wykonywania obliczeń. Aplikacja powinna generować obliczenia znacznie wydajniej niż w innych dostępnych rozwiązaniach na rynku oraz umożliwić obliczenia dla bardzo dużych danych wejściowych. Program po uzyskaniu niezbędnych danych od użytkownika ma automatycznie generować wynikowe pliki, duży nacisk położono na prostotę obsługi.

Biorąc pod uwagę fakt, że większość programów z dziedziny GIS umożliwia eksport oraz import plików ASCII GRID w standardzie ESRI, stąd też przyjęto ten format jako wejściowy. Oprogramowanie zaprojektowane zostało dla układów metrycznych z wyłączeniem projekcji w układach geograficznych. W przeciwnym wypadku rozmiar komórki byłby podany nie w metrach, lecz w stopniach, co uniemożliwiłoby obliczenia wskaźników. Zapis wyliczonych wskaźników również odbywa się do plików ASCII GRID.

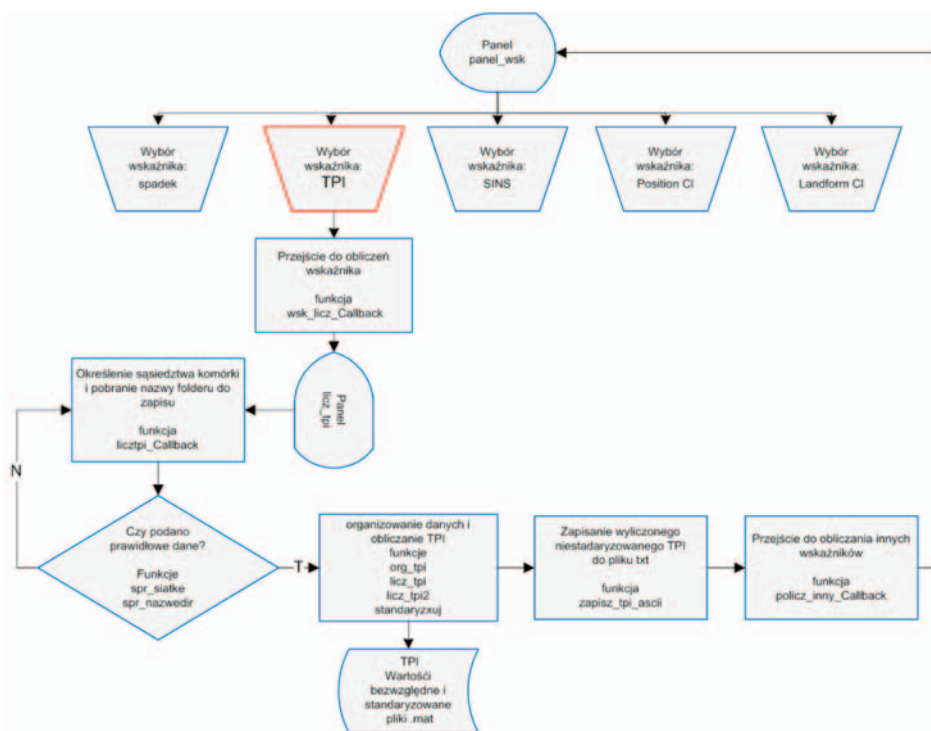
Pierwszym etapem pracy programu jest przygotowanie danych. Na tym etapie możemy wybrać przycisk umożliwiający podzielenie pliku wejściowego na Mat-pliki. W przypadku, gdy takimi danymi już dysponujemy, możemy tylko wskazać folder przechowujący te dane. Rozwiązanie to jest bardzo praktyczne, gdyż umożliwia wykonywanie wielokrotnych obliczeń dla tego samego NMT, a czasy odczytu plików binarnych są bardzo małe (nie porównywalne z operacjami na dużych plikach tekstowych).

W przypadku istniejącego już podziału dla wskazanego folderu odpowiednia funkcja wykonuje sprawdzenie, czy pliki w nim zawarte są właściwe dla danego pliku wejściowego. W przypadku, gdy ilość punktów wysokościowych jest większa od 9 000 000, jest wykonywany podział.

W przypadku wybrania do obliczeń wskaźnika TPI, funkcja powoduje wyświetlenie w oknie programu panelu obliczenia TPI i wykonywane są kolejne kroki umożliwiające obliczenia. Wspomniany panel daje użytkownikowi możliwość określenia siatki sąsiedztwa oraz wprowadzenia nazwy folderu do zapisu wyników. Przy określaniu siatki mamy możliwość skorzystania z pomocniczego okna, prezentującego graficzną ilustrację wprowadzanej wartości. Po wprowadzeniu wymaganych danych funkcja wywołuje procedurę sprawdzającą ich poprawność. Procedura ta sprawdza czy wprowadzono dopuszczalną odległość określającą siatkę oraz poprawność wprowadzonej nazwy folderu.

Dla każdej macierzy wczytanej z pojedynczego pliku, o ile jest to możliwe, następuje poszerzenie jej rozmiarów o pewną liczbę elementów z macierzy sąsiednich z danej strony, tak aby można było poprawnie wyliczyć TPI. Innymi słowy, dla każdego elementu macierzy, jeżeli jest to możliwe, musi zostać uzupełnione określone sąsiedztwo. Dla każdej odpowiednio przygotowanej macierzy funkcja wykonuje obliczenia średniej wartości wysokości w sąsiedztwie (Rys. 2).

Funkcja „standaryzuj” wykonuje standaryzację otrzymanych wartości TPI. W wyniku obliczeń wskaźnika otrzymujemy Mat-pliki z macierzami zawierającymi

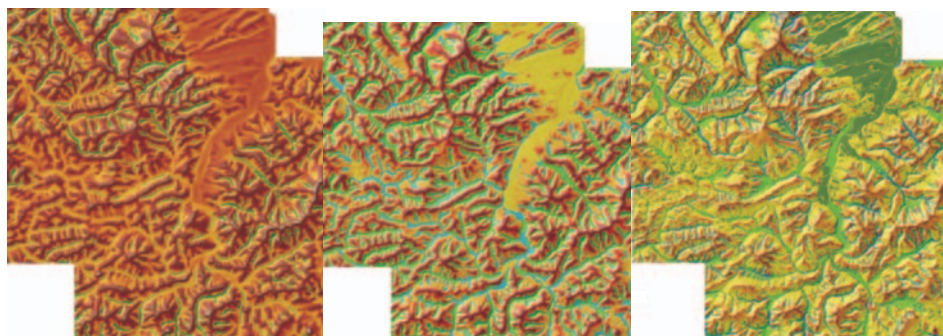


Rys. 2. Schemat blokowy przedstawiający obliczanie wskaźnika TPI.

TPI w jednostkach bezwzględnych, a także w jednostkach standaryzowanych. Wartości standaryzowane wykorzystywane będą w klasyfikacjach terenu. Możliwe jest także wywołanie funkcji zapisującej wynik obliczeń Topograficznego Indeksu Pozycji do pliku wyjściowego (Rys. 3).

4. WYNIKI DZIAŁANIA ORAZ PRZEPROWADZONE TESTY

Program przetestowano na podstawie danych NMT dla obszarów: Beskidu Śląskiego i Żywieckiego oraz obszaru Polski (Tab. 3). NMT dla Beskidu Śląskiego i Żywieckiego zakupiono w Wojewódzkim Ośrodku Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej w Katowicach. Teren przedstawiony był w 58 sekcjach za pomocą modelu wektorowego TIN, w układzie 1992, w skali 1: 10 000. Przed przystąpieniem do obliczeń należało w środowisku ArcGIS połączyć otrzymane dane w jeden NMT dla całego obszaru, utworzyć jeden raster o zadanej rozdzielczości przestrzennej (przyjęto 10 metrów) i wygenerować plik ASCII GRID. Dla wykonania obliczeń dla terenu całego kraju wykorzystany został model SRTM



Rys. 3. Przykładowe wyniki: TPI (510x510), *Slope Position*, *Landform*.

dla obszaru Polski. Wszystkie obliczenia wykonano dla modeli posiadających zdefiniowany układ odniesienia jako PUWG 1992 i zapisano do pliku ASCII GRID.

Pierwszy etap testowania polegał na obliczaniu czasów realizacji algorytmów. Na ich podstawie wprowadzano modyfikacje, dążąc do zoptymalizowania programu pod kątem szybkości wykonywania obliczeń.

Na czas końcowy składa się czas realizacji algorytmów oraz czas zapisu otrzymanego wyniku (w przypadku wskaźników) do pliku tekstowego (Tab. 4). Wskaźnik TPI wyliczono także w programie ArcGIS, a następnie porównano otrzymane czasy (Tab. 5). Wykonanie klasyfikacji *Slope Position* oraz *Landform* w programie ArcGIS, ze względu na większą złożoność obliczeń, wymaga większej ilości czasu niż w przypadku obliczeń TPI (Rys. 4 i Rys. 5).

Tab. 3. Charakterystyka danych wejściowych.

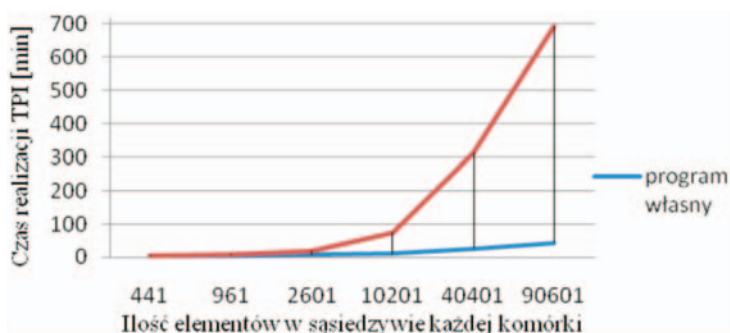
Dane wejściowe	Rozmiar komórki [m]	Wierszy	Kolumn	Liczba elementów
NMT Beskidy	10	3 997	4 570	18 266 290
SRTM Polska	58	11 712	13 775	161 332 800

Tab. 4. Czasy realizacji uzyskane dla danych wejściowych.

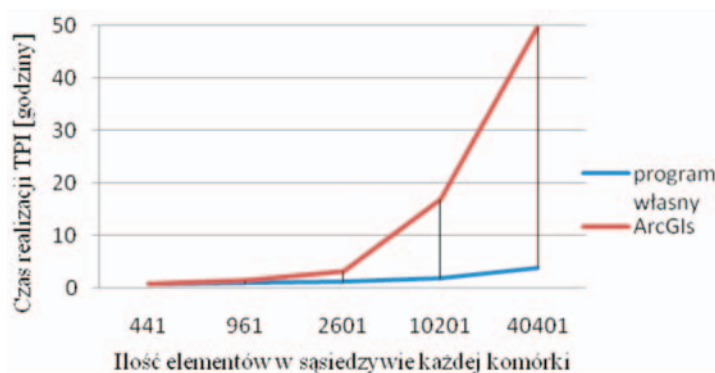
Dane wejściowe	Przygotowanie danych [min]	Obliczanie spadku [min]	Klasyfikacja <i>Slope Position</i> [min]	Klasyfikacja <i>Landform</i> [min]
NMT Beskidy	6.87	0.90	1.95	2.12
SRTM Polska	192.11	8.90	17.90	19.40

Tab. 5. Czasy obliczeń wskaźnika TPI uzyskane w programie własnym [min].

Rozmiar sąsiedztwa	21x21	31x31	51x51	101x101	201x201	301x301
NMT Beskidy	4.39	5.19	6.72	11.32	25.93	43.27
SRTM Polska	39.40	48.20	60.53	101.47	229.73	-



Rys. 4. Porównanie czasów obliczania TPI w programie własnym i ArcGIS dla Beskidów.



Rys. 5. Porównanie czasów obliczania TPI w programie własnym i ArcGIS dla Polski.

Sprawdzono także poprawność obliczania spadku i wskaźnika TPI, poprzez porównanie wartości obliczonych w programie własnym, z wartościami obliczonymi w programie ArcGIS. Wykorzystano do tego celu funkcję „Map Algebra” w ArcToolbox, pozwalającą wykonywać operacje algebraiczne na rastрах. Błąd obliczeń określono przez odjęcie od rastra prezentującego wynik otrzymany w MATLAB-ie, wyniki porównania potwierdziły zgodność obliczeń.

5. WNIOSKI

Rozwój nowych technik pozyskiwania i przetwarzania danych w geoinformatyce skutkuje coraz większym globalnym dostępem do informacji przestrzennej. Powstające Numeryczne Modele Terenu są coraz dokładniejsze i łatwiej dostępne. Fakt ten przyczynia się w dużej mierze do wzrostu zainteresowania tym produktem. Znajduje on zastosowanie w coraz to nowych dziedzinach życia. Wzrost dokładności NMT musi pociągać za sobą wzrost wydajności programów umożliwiających wykonywanie analiz przestrzennych. Dobrze uwidacznia się to w przypadku skaningu laserowego, kiedy występują często problemy z analizą otrzymanej, olbrzymiej objętościowo chmury punktów. Obliczanie wskaźników topograficznych i innych, dla większej rozdzielczości przestrzennej modelu rastrowego, wymaga coraz lepszych rozwiązań programowych. Jak pokazano w wynikach testowania, czasy obliczeń przykładowego wskaźnika TPI w jednym z najlepszych dostępnych obecnie rozwiązań programowych, mianowicie oprogramowaniu ArcGIS, dla odpowiednio dużego sąsiedztwa pozostawia wiele do życzenia. Nie trudno przewidzieć, ile musielibyśmy czekać na wyliczenia wskaźnika TPI dla badanego otoczenia 2 km, dla rastra wejściowego prezentującego obszar Polski o rozdzielczości pojedynczej komórki wynoszącym 1m. Mając na uwadze potencjalny rozmiar takiego rastra, z dużym prawdopodobieństwem można powiedzieć, że byłoby to zadanie niewykonalne w programie ArcGIS.

W tej pracy podjęto się realizacji wybranych wskaźników NMT, mając na uwadze problem wydajności obliczeń. Stworzony program, działający w środowisku MATLAB umożliwia wyliczenie wybranych parametrów opisujących orografię terenu. Wyniki otrzymywane dla wskaźnika TPI oraz spadku, praktycznie nie różnią się od tych otrzymywanych w programie ArcGIS, jednakże czas wyliczeń jest zdecydowanie krótszy. Przykładowo dla sąsiedztwa obejmującego 40 401 elementów, czas wyliczenia TPI w programie własnym był dziesięciokrotnie niższy od czasu realizacji wskaźnika w programie ArcGIS, wynoszącym prawie 50 godzin. Program własny dzięki odpowiedniej fragmentacji danych wejściowych umożliwić może także wyliczenie wskaźnika TPI, dla zdecydowanie większych rozmiarów sąsiedztwa, co w innych dostępnych programach rynkowych może być bardzo kłopotliwe bądź wręcz niewykonalne. Program zatem może okazać się przydatny praktycznie w wielu wyliczeniach.

Program działa poprawnie. Należałoby go rozbudować po kącie możliwości wyboru innych rodzajów sąsiedztwa przy wyliczaniu wskaźnika TPI. Następną możliwością rozbudowy jest realizacja innych, dodatkowych wskaźników NMT.

Niewątpliwie wskaźniki topograficzne cieszą się coraz większym zainteresowaniem. Wykorzystywane są coraz powszechniej w wielu badaniach naukowych, głównie przyrodniczych. Zaprezentowany w tej pracy wskaźnik TPI i klasyfikacje *Slope Position* oraz *Landform* okazują się być dobrym narzędziem do opisu orografii terenu. W zależności od charakteru badanego zjawiska, zawsze możemy tak dobrać analizowane sąsiedztwo, aby prawidłowo wykryć interesujące nas obszary.

6. LITERATURA

ESRI, <http://www.esri.com/>

FreeGIS Database, <http://freegis.org/>

Hengl T., Gruber S., Shrestha D.P., 2003. Digital Terrain Analysis in ILWIS. *International Institute for GEO-Information science and Earth observation Enschede*, The Netherlands.

ILWIS, <http://www.ilwis.org>

Jenness, J., 2006. Topographic Position Index extension for ArcView 3.x, v. 1.2., Jenness Enterprises, <http://www.jennessent.com/arcview/tpi.htm>

MacMillan R. A., Pettapiece W. W., Nolan S. C., Goddard T. W., 2000. A generic procedure for automatically segmenting landforms into landform elements using DEMs, heuristic rules and fuzzy logic. *Fuzzy Sets and Systems* 113, s. 81-109.

Open Source GIS, <http://opensourcegis.org/>

SAGA, <http://www.saga-gis.org/>

SRTM, <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>

The MathWorks™, <http://www.mathworks.com>

Weiss, A. 2001. Topographic Position and Landforms Analysis. *ESRI User Conference*, San Diego, CA.

Wilson J.P, Gallant J.C., 2000. *Terrain analysis (Principles and Applications)*, John.Wiley.&.Sons, New York.

IMPLEMENTATION OF SPATIAL ANALYSIS ALGORITHMS ON LARGE COLLECTIONS OF DATA BASED ON THE TOPOGRAPHIC POSITION INDEX WITH THE USE OF THE MATLAB ENVIRONMENT

KEY WORDS: geoinformatics, spatial analysis, DEM, topographic indexes, topography, MATLAB

SUMMARY: The demand for spatial information contributed to the emergence of new fields of science, as well as of many new branches of industry. Spatial analyses performed thanks to these systems may relate to various problems, from specifying the spatial location of natural or anthropogenic features, to complicated analyses of the occurrence of various phenomena or dangers. Development of the technology for the acquisition of data results in an increase in the degree of accuracy to which reality is reflected in spatial models, including Digital Terrain Model (DTM). The development of LIDAR technology may here serve as an example. On the basis of DTM and its attributes, one can do various assessments of terrain morphology, specify suitability of the terrain for particular forms of development (e.g., afforestation) or model hydrological or climatic processes. It turns out, however, that issues of spatial analysis face various limitations, including problems with the efficiency of computer calculations. It often happens that the software available in the GIS field, both commercial and free, has problems handling a large quantity of data.

The main aim of the article is to present the results of the implementation of selected algorithms for spatial analyses based on DTM to the MATLAB computing environment. The objective of this study is to demonstrate the necessity of and benefits resulting from application of the calculation software to assist decision-making with large quantities of data. The algorithms that have been designed have been optimized in terms of: reading large datasets, their fragmentation and calculations of continuous and write. For validation of the calculation the authors compare the results with another GIS software. Test calculations were carried out for selected DTM. The criteria considered in the comparison were their accuracy, their reliability and the time necessary to carry them out. The authors conclude that application in the MATLAB environment gives faster results for large data sets with the same accuracy. Work was done within research 11.11.150.006.

mgr inż. Jan Lach
janlach@wp.pl

dr inż. Krystian Koziół
krystian.koziol@agh.edu.pl
telefon: +48 12 6173323

* Praca wykonana w ramach badań statutowych 11.11.150.006.

** wersja kolorowa artykułu jest dostępna na stronie <http://www.sgp.geodezja.org.pl/ptfit>

**TWORZENIE I AKTUALIZACJA MAP ELEKTRONICZNYCH
DLA ŻEGLUGI ŚRÓDLĄDOWEJ Z WYKORZYSTANIEM
CYFROWYCH OBRAZÓW TELEDETEKCYJNYCH***

**CREATION AND UPDATING ELECTRONIC CHARTS FOR INLAND
SHIPPING BY USING DIGITAL REMOTE SENSING IMAGES**

Jacek Łubczonek¹, Marta Włodarczyk²

¹Zakład Bezpieczeństwa Nawigacyjnego, Akademia Morska, Szczecin

²Katedra Geoinformatyki, Akademia Morska, Szczecin

SŁOWA KLUCZOWE: mapy elektroniczne, zobrazowania teledetekcyjne, nawigacja

STRESZCZENIE: Obecnie coraz częściej do opracowania różnych map wykorzystuje się cyfrowe zobrazowania teledetekcyjne. Dotyczy to także map nawigacyjnych, które wypierają analogowe mapy papierowe. Szczególne znaczenie ma to w przypadku opracowania map dla żeglugi śródlądowej, ponieważ do tej pory nie opracowano nawet ich wersji papierowych. Wykorzystanie materiałów teledetekcyjnych do pozyskiwania danych w postaci wektorowej wymaga odpowiedniej wiedzy i doświadczenia, co z kolei przekłada się na dokładność kartowania obiektów geograficznych. W szczególności dotyczy to linii brzegowej oraz elementów topografii mających duże znaczenie dla nawigacji. Niestety, obecnie nie ma wytycznych co do wykorzystania tych materiałów do tworzenia czy uaktualniania map nawigacyjnych. W związku z tym autorzy niniejszej pracy przeprowadzili badania związane z możliwością wykorzystania zdjęć lotniczych oraz obrazów satelitarnych do kartowania obiektów topograficznych, na przykładzie linii brzegowej oraz mostów. Pozyskane obiekty na drodze wektoryzacji zostały zweryfikowane pomiarami bezpośrednimi, co z kolei umożliwiło określenie ich dokładności sytuacyjnej oraz skonfrontowanie jej z wymaganiami hydrograficznymi. Dodatkowo poddano ocenie potencjał interpretacyjny zobrazowań, który niewątpliwie stanowi istotny czynnik podczas opracowywania map nawigacyjnych.

1. WPROWADZENIE

W ostatnich latach obserwuje się tendencje rozwoju nawigacji śródlądowej głównie w zakresie tworzenia Rzecznych Systemów Informacyjnych¹ (*River Information Servi-*

¹ Tłumaczenie własne.

ces, RIS) pokrywających swoimi usługami strategiczne odcinki dróg wodnych. Zadaniem Rzecznych Systemów Informacyjnych jest dostarczenie zharmonizowanych usług informacyjnych wspierających zarządzanie ruchem i transportem w żegludze śródlądowej oraz jego koordynację z innymi gałęziami transportu. Zgodnie z ustawą, w Polsce, Rzeczny System Informacyjny obejmuje obszar sieci dróg wodnych od miejscowości Ognica do Szczecina wraz z jeziorem Dąbie. Jednym z podstawowych zadań, należących do RIS, jest zapewnienie dostępu jego użytkownikom do elektronicznych map nawigacyjnych (Dz.U., 2008).

Obecne pokrycie komórkami map elektronicznych wód śródlądowych w Polsce jest tylko częściowe, a dokładnie dotyczy obszaru styku wewnętrznych wód morskich oraz śródlądowych. Zapewniają to morskie komórki map elektronicznych, które pokrywają w niewielkim zakresie sąsiadujące akweny śródlądowe. Biorąc jednak pod uwagę ich przeznaczenie, część śródlądowa komórek posiada charakter bardziej informacyjny niż nawigacyjny. Taki stan wyklucza formalnie stosowanie tych materiałów w żegludze śródlądowej, ponieważ obowiązują w tym zakresie odrębne standardy tworzenia map. Pozostała część dróg wodnych pozostaje bez pokrycia, zarówno standaryzowanymi mapami elektronicznymi jak również mapami analogowymi.

W obecnych czasach tworzenie map elektronicznych, jak również ich późniejsza aktualizacja związane jest z zastosowaniem nowoczesnych technik pozyskiwania danych, które są realizowane zarówno w sposób bezpośredni jak i pośredni. Dotyczy to danych hydrograficznych, nawigacyjnych oraz topograficznych. W przypadku kartowania linii brzegowej oraz innych obiektów topograficznych, istotnym zadaniem jest dobór odpowiednich materiałów kartograficznych, spełniających wymogi z zakresu dokładności kartowania elementów sytuacyjnych. Dotychczas problem ten był nierozpoznawalny ze względu na tworzenie map cyfrowych na drodze digitalizacji nawigacyjnych map papierowych, a pojawił się wraz z upowszechnieniem wysokorozdzielczych obrazów teledetekcyjnych, które ze względu na ich potencjał informacyjny coraz częściej są wykorzystywane podczas produkcji oraz aktualizacji map elektronicznych (Espy, 2005)

2. NAWIGACYJNE MAPY ELEKTRONICZNE

Mapa nawigacyjna jest podstawowym źródłem informacji dla nawigatora. Obecnie mapy analogowe coraz częściej ustępują miejsca mapom cyfrowym (Yogendran, 1999), które w lepszy sposób zapewniają bezpieczeństwo nawigacji statku. Dzięki nim nawigator może między innymi szybko uzyskać dostęp do interesującej go informacji, ocenić sytuację w oparciu o stale wyświetlaną pozycję statku oraz kontrolować i monitorować drogę statku. W nawigacji śródlądowej można korzystać ze standaryzowanych oraz niestandaryzowanych opracowań map elektronicznych. W pierwszym przypadku są one elementem systemu zobrazowania informacji nawigacyjnej (*Inland ECDIS, Electronic Chart Display and Information System*), natomiast w drugim pozostałych systemów map elektronicznych (*ECS, Electronic Chart System*).

Informacje, które powinny być zawarte na mapie elektronicznej Inland ENC (*Inland Electronic Navigational Chart*) są określone w standardach hydrograficznych wydanych przez Międzynarodową Organizację Hydrograficzną (IHO, 1996, 2000). Tworząc mapy dla żeglugi śródlądowej należy także korzystać ze specjalnie do tego celu opracowanych standardów dotyczących katalogu obiektów oraz wytycznych ich kodowania (Inland ENC Harmonization Group, 2008a, 2008b).

Według Inland ENC Harmonization Group (2008a) obiekty związane z topografią dzielą się następująco²: obszar lądu (*Land Area*), region lądu (*Land Region*), naturalne wydmy lub wały (*Natural Dunes or Ridges*), ściany skalne (*Rock Wall*), linia brzegowa (*Shoreline*). Inne obiekty, w tym szczegóły terenowe zwyczajowo tworzące zasób informacyjny map topograficznych, są umieszczone w innych kategoriach.

3. DOKŁADNOŚĆ KARTOWANIA ELEMENTÓW SYTUACYJNYCH MAP NAWIGACYJNYCH

Tradycyjnie, w opracowaniach map lądowych (mapy zasadnicze, topograficzne, tematyczne) dokładności sytuacyjne obiektów są określone w geodezyjnych standardach technicznych (Dz.U., 1999). Według instrukcji technicznych określają ją wielkości błędów średnich położenia punktów na mapie o określonej skali. Inaczej sytuacja przedstawia się w przypadku map nawigacyjnych. Według obowiązujących zaleceń przyjęto 11 standardowych skal kompilacji komórek map elektronicznych (IHO, 2007), które odpowiadają skalom zakresów obrazu radarowego (Tab. 1).

Tab. 1. Powiązanie zasięgów radarowych oraz skal kompilacji.

Zasięg radarowy [mile morskie]	Standardowa skala	Zasięg radarowy [mile morskie]	Standardowa skala
200	1:3 000 000	3	1:45 000
96	1:1 500 000	1.5	1:22 000
48	1:700 000	0.75	1:12 000
24	1:350 000	0.5	1:8 000
12	1:180 000	0.25	1:4 000
6	1:90 000	-	-

W elektronicznych mapach śródlądowych obraz radarowy stanowi dodatkową, istotną warstwę informacyjną. Biorąc pod uwagę różne skale materiałów źródłowych, skala kompilacji mapy powinna posiadać wartość najbliższej standardowej skali, np. dane pozyskane z mapy o skali 1:25 000, znajdujące się w przedziale standardowych skal 1:45 000 oraz 1:22 000, powinny być skompilowane w skali 1:22 000. Dodatkowo stosowane są odstępstwa od tej reguły, które dopuszczają większą migrację skal materiałów źródłowych oraz skal kompilacji.

² Tłumaczenie własne.

Mapy elektroniczne, ze względu na swoje przeznaczenie, zawierają informacje topograficzne użyteczne z punktu widzenia nawigacji. W przypadku danych topograficznych przepisy nie uwzględniają metod pozyskiwania danych, a tylko określają ich uogólnioną dokładność sytuacyjną na poziomie ufności 0.95. Informacje te znajdują się w normach hydrograficznych S-44 (IHO, 2008), gdzie dokładność sytuacyjna danych topograficznych uzależniona jest od jej znaczenia w nawigacji oraz przynależności do kategorii akwenu nawigacyjnego.

4. WYKORZYSTANIE CYFROWYCH OBRAZÓW TELEDETEKCYJNYCH W TWORZENIU I AKTUALIZACJI MAP

Obecnie pomiary topograficzne mogą być przeprowadzone przez pomiar bezpośredni (pomiary polowe) oraz z wykorzystaniem metod teledetekcyjnych. Szczególnie duże znaczenie mają wysokorozdzielcze zdjęcia lotnicze jak również obrazy satelitarne, które umożliwiają pozyskanie szczegółowej informacji dla rozległego i często trudno dostępnego terenu przyległego do akwenu nawigacyjnego.

W niniejszej pracy przedstawiono analizę dostępnych cyfrowych obrazów teledetekcyjnych w aspekcie zarówno tworzenia jak i aktualizacji elektronicznych map nawigacyjnych dla żeglugi śródlądowej. W badaniach wykorzystano obrazy teledetekcyjne o różnej rozdzielczości terenowej, co umożliwiło określenie potencjału kartograficznego powyższych materiałów w zakresie wykorzystania ich do opracowywania map nawigacyjnych na przykładzie kartowania linii brzegowej oraz mostów.

W tworzeniu komórki (arkusza mapy) *Inland ENC* dla obszaru portu Szczecin wykorzystano dwa rodzaje cyfrowych barwnych ortofotomap pozyskanych z Wojewódzkiego Ośrodka Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej w Szczecinie. Pierwsze z nich zostały wykonane na podstawie obrazów satelitarnych (IKONOS). Obrazy te, odpowiadające skali 1:5 000, zostały opracowane w roku 2003 na podstawie scen satelitarnych z roku 2002 z terenową wielkością piksela 1 m. Drugie to ortofotomapy, odpowiadające skali 1:5 000, sporządzone zostały na podstawie zdjęć lotniczych zrobionych kamerą analogową lub cyfrową z pikselem terenowym 0.5 m. Zostały one wykonane w roku 2008, natomiast materiały źródłowe sporządzono jesienią 2007 lub wiosną 2008 roku ze zdjęć o skali 1:26 000.

Według standardu S-57, który jest jednym z podstawowych dokumentów normalizacyjnych związanych z elektronicznymi mapami nawigacyjnymi, linia brzegowa jest to linia styku łądu i wody. Z nieco inną definicją spotkać się można w obowiązującym w Polsce Prawie Wodnym (Dz.U., 2001). Wg definicji zawartej w tej ustawie, linia brzegu dla cieków naturalnych, jezior oraz innych naturalnych zbiorników wodnych stanowi krawędź brzegu lub linię stałego porostu traw albo linię ustalaną według średniego stanu wody z okresu co najmniej ostatnich 10 lat (rozdział 2, art. 15). Jeżeli krawędź brzegu jest wyraźna, linia brzegu biegnie tą krawędzią. W przypadku, gdy krawędź nie jest wyraźna, linia brzegu biegnie granicą stałego porostu traw. W momencie, gdy granica stałego porostu traw leży powyżej średniego stanu wody, linia brzegowa jest linią przecięcia się

zwierciadła wody przy tym stanie z gruntem przyległym. Jeżeli brzegi wód są uregulowane, linia brzegu biegnie linią łączącą zewnętrzne krawędzie budowli regulacyjnych.

O ile pierwsza definicja linii brzegowej uogólnia problem jej kartowania, o tyle druga definicja rzeczywiście uwypukla wszystkie problemy związane z jej identyfikacją na akwenach śródlądowych. Przekłada się to automatycznie na ocenę poziomu potencjału interpretacyjnego zobrazowań teledetekcyjnych, który z kolei umożliwia osiągnięcie wymaganej dokładności. Należy przy tym wspomnieć, że linię brzegową na obszarach zurbanizowanych czy portowych nie zawsze wyznaczają dość dobrze kontrastujące z wodą betonowe nabrzeża. Często napotkać można odcinki porośnięte różną roślinnością: wysokie trawy, trzcina, krzewy, drzewa. Obiekty te niestety skutecznie utrudniają wyznaczenie jej przebiegu. Ponadto brzegi rzeki są często zniszczone, co dodatkowo utrudnia ich identyfikację na obrazach teledetekcyjnych nawet o wysokiej rozdzielczości.

4.1. Ocena potencjału interpretacyjnego

Potencjał interpretacyjny cyfrowego obrazu teledetekcyjnego jest rozumiany jako możliwość odczytania jego treści. W zależności od potencjału zdjęcia, zwiększa się lub zmniejsza ilość obiektów, które mogą być zidentyfikowane w końcowej fazie procesu interpretacji. Potencjał interpretacyjny zależy głównie od terenowej zdolności rozdzielczej, określanej na poziomie 2-3 pikseli obrazu, oraz rozdzielczości radiometrycznej. W bardziej szczegółowym podejściu do problemu, ilość czynników wpływających na pojemność informacyjną obrazu jest większa (Ciołkosz *et al.*, 1986).

Biorąc pod uwagę różny stopień użyteczności obiektów topograficznych do prowadzenia nawigacji, analizę skupiono przede wszystkim na linii brzegowej, która jest podstawowym elementem informacyjnym wyznaczającym granice akwenu. Na akwenach śródlądowych można rozróżnić linię brzegową naturalną oraz sztuczną, której przebieg wyznaczają różne budowle hydrotechniczne.

Roślinność w istotny sposób obniża potencjał interpretacyjny obrazów. Związane jest to z występowaniem wysokich drzew w bliskim sąsiedztwie linii brzegowej. Ze względu na różnorodność gatunków drzew oraz ich zagęszczenie, trudno jest ocenić przebieg linii brzegowej pod ich koronami. Problem ten istnieje już w przypadku pojedynczych drzew (Rys. 1), niemniej jednak znacznie się zwiększa w przypadku ich zagęszczenia. W niektórych przypadkach nachylenie koron drzew nad wodą na analizowanym obszarze dochodziło do 10 m (Rys. 2). Z kolei drzewa w połączeniu z porastającą brzeg trzcina skutecznie maskują jego krawędź, co w zasadzie wyklucza możliwość jego identyfikacji (Rys. 3).

Podczas poprawnej identyfikacji przebiegu linii brzegowej problem stanowiły także wysokie budynki oraz portowe urządzenia przeładunkowe. Przy rozdzielczości zdjęć satelitarnych wynoszącej 1m problem ten był dość istotny, szczególnie w przypadku urządzeń przeładunkowych o konstrukcji kratowej (Rys. 4). Na zdjęciach lotniczych, ze względu na lepszą rozdzielczość, ich identyfikacja była znacznie łatwiejsza, zwłaszcza na podstawie rzucanego cienia. Należy również nadmienić, że niektóre przeładunkowe urządzenia portowe są na stałe lub czasowo wysunięte nad powierzchnię wody (Rys. 5), stąd odpowiednia ich klasyfikacja wymaga weryfikacji polowej.



Rys. 1. Drzewo przesłaniające mały basen (zdjęcie lotnicze).



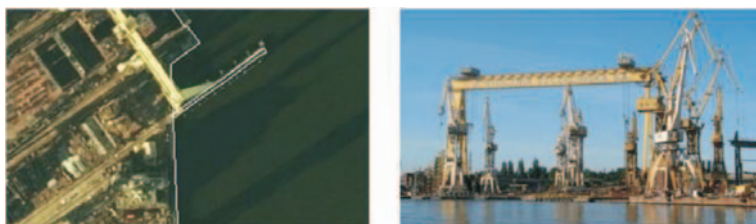
Rys. 2. Korony drzew przesłaniające brzeg (zdjęcie lotnicze).



Rys. 3. Cypel porośnięty niskimi drzewami oraz trzcina (zdjęcie lotnicze).



Rys. 4. Żurawie portowe usytuowane wzdłuż nabrzeża (obraz satelitarny).



Rys. 5. Suwnica bramowa (na zdjęciu lotniczym znajduje się nad wodą).

W przypadku budynków problem wynikał z ich pozornego nachylenia w kierunku wody (zniekształcenie wynikające z własności rzutu środkowego), co automatycznie uniemożliwiało wektoryzację linii brzegowej (Rys. 6). Problem ten powinien być rozwiązany przez odpowiednie zaplanowanie szeregów zdjęć oraz ich podział zgodnie z kierunkiem osi rzeki (Kurczyński, 2006).



Rys. 6. Nachylenie budynków w kierunku wody (zdjęcie lotnicze).

Na obszarze Szczecińskiego Węzła Wodnego występuje duża liczba obiektów pływających, które są przycumowane do nabrzeży. Największe z nich to statki, doki dla dużych jednostek, pływające żurawie, dźwigi oraz inne specjalistyczne jednostki. Obiekty te często przesłaniają linię brzegową. W przypadku statków takie przesłonięcie jest uzależnione od jego długości, która może wynosić od kilkudziesięciu do powyżej 200 m (Rys. 7).



Rys. 7. Duże jednostki przycumowane do nabrzeży (zdjęcie lotnicze).

Mniejsze jednostki z kolei stanowią problem interpretacyjny w przypadku obrazów o gorszej rozdzielczości przestrzennej, ponieważ trudno je odpowiednio sklasyfikować. Małe jednostki, takie jak jachty, mogą być rozpoznane bezpośrednio lub na podstawie cech pośrednich (zgrupowane w przystaniach żeglarskich). Problem ten praktycznie nie istnieje już na zdjęciach o rozdzielczości 0.5 m, w przeciwieństwie do wykorzystywanych w tej pracy obrazów satelitarnych (Rys. 8).



Rys. 8. Przystań jachtowa z zacumowanymi jachtami (obraz satelitarny).

Z kolei inna sytuacja występuje wówczas, gdy w basenach znajdują się różne konstrukcje pływające o niestandardowych kształtach. Można do nich zaliczyć pływające rusztowania, doki śródlądowe czy odbijacze typu *Yokohama* o objętości kilku metrów sześciennych. Ich identyfikacja oraz późniejsze wyznaczenia przebiegu linii brzegowej przy tej rozdzielczości zdjęć jest raczej niemożliwa i wymaga interpretacji polowej (Rys. 9, 10)



Rys. 9. Mniejsze konstrukcje pływające w basenie portowym.



Rys. 10. Dok śródlądowy. Na zdjęciu lotniczym wynurzony, na obrazie satelitarnym częściowo wynurzony, na fotografii wynurzony z pchaczem.

Dość istotnym problemem były cienie od wysokich budynków, budowli hydrotechnicznych czy drzew znajdujących się w pobliżu linii brzegowej. Na analizowanych materiałach były skierowane na wodę oraz posiadały zbliżoną do niej barwę. Niestety, w wielu przypadkach ich występowanie znacznie utrudniało identyfikację linii brzegowej, co automatycznie przełożyło się na zmniejszenie potencjału interpretacyjnego zobrazowań teledetekcyjnych. Przykłady przedstawiono na Rys. 11.



Rys. 11. Zacieniona linia brzegowa (zdjęcia lotnicze).

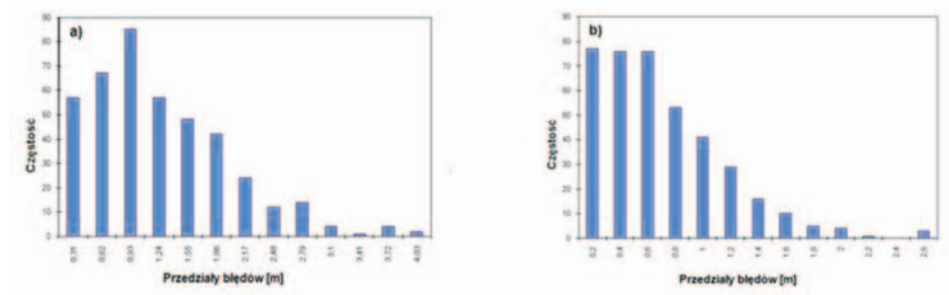
4.2. Ocena dokładności sytuacyjnej

Jak już wcześniej wspomniano, skala mapy nawigacyjnej nie musi posiadać powiązania z wymogami sytuacyjno-dokładnościowymi kartowania szczegółów terenowych, tak jak ma to miejsce w przypadku opracowań lądowych (mapa zasadnicza, mapy topograficzne do celów gospodarczych). Wymagania zawarte w standardach hydrograficznych określają wymogi dokładności sytuacyjnej obiektów w zależności od przynależności akwenu do jednej z czterech kategorii obszarów nawigacyjnych oraz znaczenia dla nawigacji. Biorąc pod uwagę charakter śródlądowego akwenu nawigacyjnego w Szczecińskim Węźle Wodnym, obszar ten powinien posiadać kategorię specjalną (IHO, 2008). Stąd, dane topograficzne mające znaczenie w nawigacji, powinny posiadać dokładność sytuacyjną 2 m. Linia brzegowa i dane topograficzne mniej ważne dla nawigacji powinny mieć dokładność 10 m. Powyższe wartości podane są na poziomie ufności 0.95.

W celu ustalenia zgodności wymogów dokładności sytuacyjnej kartowanych obiektów z wymogami hydrograficznymi, zbadano dokładność wektoryzacji obiektów topograficznych na przykładzie linii brzegowej oraz mostów. Dokładność sytuacyjna obiektów została zweryfikowana bezpośrednimi pomiarami terenowymi z wykorzystaniem zestawu pomiarowego Trimble R6 działającego w trybie RTK w sieci ASG-EUPOS. Linia brzegowa naturalna, ze względu na występowanie wysokich drzew, braku dostępu do samego brzegu (teren podmokły, porośnięty często trzcina), nie została zweryfikowana pomiarami bezpośrednimi, a tym samym nie uwzględniono jej w badaniach.

Do celów analizy obliczono błędy, których wartości wyznaczają odległości od punktów pomierzonych odbiornikiem RTK do zwektoryzowanej linii. W przypadku prostoliniowych odcinków nabrzeży błędy geometryczne reprezentuje odcinek tworzący z linią kąt prosty, a w przypadku narożników odcinki te łączą rzeczywiste współrzędne z odpowiednim punktem załamania opracowanej linii.

Do analizy wykorzystano te fragmenty linii, które mogły być pozyskane bez żadnych wątpliwości natury interpretacyjnej. W przypadku zdjęć lotniczych liczebność próby statystycznej n liczyła 391 próbek, natomiast dla obrazu satelitarnego jej wartość wyniosła 417. Pomiary przeprowadzono na różnych nabrzeżach leżących na terenie portu i miasta Szczecin, leżących na obszarze o powierzchni ok. 14 km². Łącznie badania objęły linię brzegową o długości ok. 9.8 km. Po opracowaniu danych, w obu przypadkach histogramy analizowanych błędów nie posiadały rozkładu normalnego. Dla próby ze zdjęć lotniczych nie można jednoznacznie określić typu rozkładu, natomiast dla próby z obrazów satelitarnych przyjmuje on postać umiarkowanie asymetrycznego (Rys. 12).



Rys. 12. Histogramy analizowanych błędów: a) obraz satelitarny, b) zdjęcia lotnicze.

W związku z tym, analizę statystyczną przeprowadzono dla średniej m w populacji o nieznanym rozkładzie. W końcowym etapie obliczono przedziały ufności, które wyznaczono dla średniej m z odchyleniem standardowym z próby S (1).

$$(1) \quad P\left\{\bar{X} - z_{\alpha} \frac{S}{\sqrt{n}} < m < \bar{X} + z_{\alpha} \frac{S}{\sqrt{n}}\right\} \approx 1 - \alpha$$

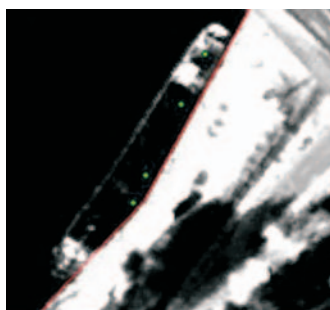
Wartość współczynnika ufności, zgodnie z wymogami *IHO*, przyjęto na poziomie 0.95. Przedziały ufności dla wcześniej obliczonych błędów zestawiono w tabeli 2.

Tab. 2. Przedziały ufności dla próby ze zdjęć lotniczych i obrazu satelitarnego.

	Przedział ufności	Średnia (m)	Odch. standardowe (S)
Zdjęcie lotnicze	0.55 m < m < 0.64 m	0.59 m	0.45 m
Obraz satelitarny	1.01 m < m < 1.16 m	1.09 m	0.76 m

Biorąc pod uwagę powyższe wyniki można stwierdzić, że zarówno dane pozyskane z analizowanych zdjęć lotniczych jak i obrazów spełniają wymagania dokładnościowe z uwzględnieniem błędu pomiaru *RTK* (błąd średni pomiaru 2.2 cm, maksymalny 6.3 cm). Należy przy tym jednak zwrócić uwagę na fakt, że nie zawsze może to oznaczać wnioskowanie ostateczne. Powodem tego mogą być błędy opracowania ortofotomapy

czy umiejscowienia tych błędów. Przykładem tego jest niepoprawne opracowanie arkusza ortofotomapy w okolicy mostu (Rys. 13), gdzie widoczne jest również „przełamanie” zacumowanej barki, co przyczyniło się do błędnego wyznaczenia linii brzegowej. Na podstawie pomiarów RTK, które oznaczono na poniższym rysunku punktami, odchylenie zwektoryzowanej linii od nabrzeża wyniosło odpowiednio 3.26, 2.77, 2.03 oraz 1.29 m.



Rys. 13. Fragment błędnie opracowanej ortofotomapy (zdjęcie lotnicze).

Mosty w żegludze śródlądowej są obiektami bezpośrednio związanymi z bezpieczeństwem nawigacji i stanowią jej ograniczenie. Z tego powodu precyzja odwzorowania mostów powinna być jak największa, choć zgodnie z wymogami tolerancja błędu w tym przypadku wynosi 2 m. Mosty nie stwarzają problemów natury interpretacyjnej, jednak ich dokładność sytuacyjna uzależniona jest od ich odchylenia względem rzutu ortogonalnego. Podczas opracowania dokładność sytuacyjna została zweryfikowana pomiarami RTK. Na analizowany obszarze dokładność ta mieściła się w granicach dopuszczalnego błędu 2 m, co umożliwiło ich dalszą wektoryzację. W przypadku błędów niespełniających standardów, pomiary należy zrealizować pomiarami bezpośrednimi bądź skorzystać z opracowań spełniających wymogi dokładnościowe.



Rys. 14. Weryfikacja dokładności sytuacyjnej mostów pomiarami RTK, oznaczonych na ortofotomapie punktami (zdjęcie lotnicze).

5. PODSUMOWANIE

W przypadku linii brzegowej na obszarach zurbanizowanych czy portowych, gdzie dominują betonowe nabrzeża, jej rozpoznanie oraz identyfikacja nie nastręcza większych problemów. Na niektórych jej odcinkach jest jednak wymagana weryfikacja połowa z powodu pozornego nachylenia obiektów znajdujących się w jej pobliżu w kierunku wody. Dodatkowo jest to związane z rzucaniem przez te obiekty cieni na wodę. Należy przy tym zwrócić uwagę na fakt, że w wielu przypadkach możliwości rozpoznania linii brzegowej były łatwiejsze w przypadku zdjęć satelitarnych, które miały mniejszą ilość obszarów zacienionych oraz zauważalnie większy kontrast pomiędzy wodą a lądem. Zdjęcia lotnicze pomimo większej rozdzielczości niestety często były zawodne ze względu na długie cienie, co w połączeniu z niemal identyczną barwą wody znacznie utrudniało czy wręcz uniemożliwiało rozpoznanie linii brzegowej.

Podczas tworzenia oraz aktualizacji map elektronicznych z wykorzystaniem zobrażeń teledetekcyjnych niezbędna jest uzupełniająca interpretacja połowa, ze względu na ilość obiektów usytuowanych w pobliżu brzegu, zarówno od strony wody jak i lądu. Najlepszym i raczej jedynym rozwiązaniem jest rekonesans z wykorzystaniem jednostki pływającej. W badaniach do weryfikacji połowej wykorzystano jednostkę hydrograficzną Akademii Morskiej w Szczecinie Hydrograf XXI.

Na podstawie przeprowadzonej analizy materiałów źródłowych oraz badań można również stwierdzić, że do tworzenia i aktualizacji nawigacyjnych map elektronicznych można wykorzystywać zarówno zobrażenia o rozdzielczości 0.5 jak również 1 m. Dyskusyjny pozostaje potencjał interpretacyjny zdjęć lotniczych. Pomijając wykonanie tych zdjęć w niezbyt korzystnych warunkach oświetleniowych, należy zastanowić się nad lepszą rozdzielczością terenową zdjęć podczas produkcji map elektronicznych. W subiektywnym odczuciu wystarczająca rozdzielczość do poprawnej identyfikacji obiektów powinna wynosić 0.25 m. Dodatkowo istotna jest pora roku wykonywania zdjęć. Ze względu na duże problemy natury interpretacyjnej należy zdjęcia wykonać po zrzuceniu przez drzewa liści.

Innym aspektem są błędy materiałów źródłowych, które mogą istotnie wpłynąć na poziom bezpieczeństwa żeglugi. Stąd dla obiektów o szczególnym znaczeniu dla żeglugi śródlądowej, takich jak np. mosty, dane powinny być pozyskiwane pomiarami bezpośrednimi. Podczas kartowania różnych obiektów odczuwalny stał się brak precyzyjnego uszczegółowienia dokładności sytuacyjnej obiektów terenowych i nawigacyjnych, która może być mniejsza bądź większa ze względu na ich znaczenie w nawigacji.

6. LITERATURA

- Ciołkosz A., Miszański J., Olędzki J.R., 1986. *Interpretacja zdjęć lotniczych*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa.
- Dz. U., 2008. Nr 171. Poz. 1057, Ustawa z dnia 4 września 2008 r. o zmianie ustawy o żegludze śródlądowej.
- Dz.U., 1999. Nr 30 poz. 297, Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 24 marca 1999 r. w sprawie standardów technicznych dotyczących geodezji, kartografii oraz krajowego systemu informacji o terenie.
- Dz.U., 2001. Nr 115 poz. 1229, Ustawa z dnia 18 lipca 2001 r., Prawo wodne
- Espey M., 2005. Remote Sensing Division, NGS, NOS, NOAA. Using Commercial Satellite Imagery and GIS to Update NOAA ENC's. *ESRI International User Conference Proceeding*.
- IHO, 1996. *Specification for Chart Content and Display Aspects of ECDIS Ed.5.0*. Special Publication No. 52.
- IHO, 2000. *Transfer Standard for Digital Hydrographic Data, Ed.3.1*. Special Publication No. 57.
- IHO, 2007. *Annex A to Circular Letter 108/2007*. IHB File No. S3/8151/CHRIS.
- IHO, 2008. *Standards for Hydrographic Surveys*. 5th Edition, February 2008. Special Publication N^o44.
- Inland ENC Harmonization Group, 2008a. *Inland Electronic Navigational Chart Encoding Guide*. Edition 1, version 3.1.
- Inland ENC Harmonization Group, 2008b. *Inland ENC Feature Catalogue, Edition 2.1*.
- Kurczyński Z., 2006. *Lotnicze i satelitarne obrazowanie Ziemi*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, s. 252.
- Yogendran S., 1999. ECDIS Approach for Paperless Navigation. *Hydro International, GITC Publication*, Vol. 5, No 8, November/December.

CREATION AND UPDATING ELECTRONIC CHARTS FOR INLAND SHIPPING BY USING DIGITAL REMOTE SENSING IMAGES

KEY WORDS: electronic charts, remote sensing imagery, navigation

SUMMARY: Digital remote sensing images are currently used to prepare various maps, including navigational charts, which are more and more frequently used in place of paper products. A particularly important application of remote sensing images is the preparation of maps for inland shipping, because up till now there are no navigational charts, even in paper form. The use of remote sensing products to acquire information on geographical features in vector form requires proper knowledge and experience, which is tightly correlated with their final accuracy. This problem

is particularly relevant as regards shorelines and topographic elements which have a significant role in navigation. Unfortunately, there is no recommendation concerning the application of these data to the creation and updating of navigational charts. Therefore the authors of this paper studied the range of applications for charting topographical features for example shorelines and bridges from aerial photographs and satellite images. Digital vector objects were verified by field measurements, which permitted the determination of their horizontal accuracy and further comparison with hydrographical requirements. In addition to this, their interpretation potential was studied, which is for certain an essential consideration in the preparation of navigational maps

Jacek Łubczonek
j.lubczonek@am.szczecin.pl

mgr inż. Marta Włodarczyk
m.wlodarczyk@am.szczecin.pl
telefon: +48 91 4809472

* wersja kolorowa artykułu jest dostępna na stronie <http://www.sgp.geodezja.org.pl/pftit>

INTEGRACJA DANYCH LIDAROWYCH I FOTOGRAMETRYCZNYCH W PROCESIE AUTOMATYCZNEGO WYKRYWANIA OBIEKTÓW

INTEGRATION OF AIRBORNE LIDAR AND PHOTOGRAMMETRIC DATA IN THE PROCESS OF AUTOMATIC OBJECT EXTRACTION

Urszula Marmol

Katedra Geoinformacji, Fotogrametrii i Teledetekcji Środowiska,
Akademia Górniczo-Hutnicza

SŁOWA KLUCZOWE: integracja danych, lidar, ortofotomapa, wykrywanie obiektów

STRESZCZENIE: Artykuł przedstawia metodę integracji danych lidarowych i fotogrametrycznych w procesie automatycznego wykrywania obiektów. Zdjęcia lotnicze stanowią klasyczną metodę pozyskiwania informacji o przestrzeni. Ostatnie lata to coraz powszechniejsze stosowanie lidarów jako źródła informacji. Zdjęcia lotnicze cechują się możliwością wykrywania granic obiektów, ale w procesie ekstrakcji cech, często dochodzi do nadmiernego oszacowania lub zaniżenia liczby obiektów. Dane lidarowe dostarczają bezpośredniej informacji o wysokości obiektów, ale posiadają ograniczenia związane z dokładnym wyznaczeniem krawędzi obiektów. Można zatem powiedzieć, że techniki przetwarzania danych: fotogrametryczna i laserowa dostarczają danych komplementarnych, a ich integracja może przyczynić się do poprawy jakości uzyskiwanych wyników. W artykule przedstawiono badania nad integracją fotogrametrii i danych laserowych w procesie wykrywania obiektów 3D – budynków i drzew. W procesie automatycznej segmentacji zostały wykorzystane cechy teksturalne pochodzące ze zdjęć lotniczych. Obiekty 3D zostały wyodrębnione na podstawie danych lidarowych, jako różnica NMPT i NMT. Przeprowadzone badania ujawniły duży potencjał danych zintegrowanych w procesie automatycznego wykrywania obiektów.

1. WPROWADZENIE

Celem pracy jest oszacowanie na ile integracja danych lidarowych i fotogrametrycznych może przyczynić się do zwiększenia dokładności automatycznego wykrywania obiektów 3D – budynków i drzew. W obecnych systemach skanerowych równocześnie

z rejestracją laserową pozyskiwane są obrazy cyfrowe. Scalenie informacji pochodzących z tych dwóch technologii daje nowe możliwości w procesie przetwarzania i analizy danych. Postawiono tezę, że dane fotogrametryczne i lidarowe są komplementarne i mankamenty jednej metody mogą być niwelowane poprzez wykorzystanie danych pozyskanych drugą techniką.

2. DANE ŹRÓDŁOWE

2.1. Obszar badań

Obszar badawczy obejmuje fragment miasteczka Lewes w Anglii o powierzchni około 6 ha. Pole testowe charakteryzuje się bardzo urozmaiconą rzeźbą terenu. Obszar składa się z fragmentu drogi z elementami zabudowy oraz pojedynczymi drzewami, odcinku rzeki Ouse oraz kamieniołomu otoczonego gęstą roślinnością drzewiastą (Rys. 1).



Rys. 1. Prawdziwa ortofotomapa obszaru badawczego o wielkości piksela terenowego 0.10 m.

2.2. Dane laserowe

W listopadzie 2002 roku wykonano pomiar obszaru badawczego za pomocą lotniczego skanera laserowego TopEye (TopEye, 2009). Średnia gęstość skanowania dla wybranego pola badawczego wyniosła 25 punktów/m².

2.3. Dane obrazowe

Równocześnie z rejestracją laserową pozyskano dane obrazowe z wykorzystaniem kamery cyfrowej Hasselblad. Na podstawie zdjęć wygenerowano ortofotomapę prawdziwą (ang. *true ortho*) w barwach naturalnych o rozdzielczości przestrzennej 0.10 m.

3. ANALIZA DANYCH LASEROWYCH

3.1. Generowanie Znormalizowanego Numerycznego Modelu Pokrycia Terenu

Znormalizowany Numeryczny Model Pokrycia Terenu (ang. *normalized Digital Surface Model – nDSM*) został wygenerowany jako różnica pomiędzy NMPT i NMT.

W pierwszym etapie został wygenerowany Numeryczny Model Pokrycia Terenu (ang. *DSM*) według prostego algorytmu przedstawionego w artykule (Marmol, Będkowski, 2008).

W celu wyselekcjonowania punktów leżących na terenie, jako metodę filtracji wybrano algorytm aktywnego modelu TIN zaimplementowany w oprogramowaniu TerraScan firmy Terrasolid Corporation z Finlandii (Axelsson, 1999, 2000). Procedura ta pozwoliła na wyodrębnienie z chmury pomiarowej punktów związanych z przebiegiem powierzchni topograficznej.

Zostały wygenerowane dwa modele TIN odpowiadające odpowiednio NMPT i NMT. Znormalizowany model zNMPT powstał jako różnica dwóch modeli TIN, a następnie został zapisany w siatce regularnej o rozmiarze 1058x1485 i rozdzielczości przestrzennej 0.20 m (Rys. 2).



Rys. 2. Znormalizowany zNMPT (czarne piksele – brak danych laserowych).

4. ANALIZA DANYCH OBRAZOWYCH

4.1. Analiza teksturalna

Tekstura stanowi jedną z ważniejszych charakterystyk obrazu. Analizy teksturalne znajdują zastosowanie w wielu dziedzinach, gdzie kluczowym zagadnieniem jest wyodrębnienie obiektów m.in. w analizie obrazów biomedycznych (Rangayyan, 2005), obrazów radarowych (Paget, Longstaff, 1996), zdjęć lotniczych i satelitarnych (Faber, Förstner, 1999; Eckstein, Munkelt, 1995), w geologii i przemyśle, gdy istnieje konieczność badania powierzchni materiału. Tekstura jest wrodzoną własnością prawie wszystkich powierzchni (Malina, 2002). Dla człowieka określenie tekstury nie stanowi zazwyczaj problemu, jednakże jej opis ilościowy jest trudny do precyzyjnego zdefiniowania. W związku z tym stosowane są różne definicje, różne miary oraz różne techniki badania cech obrazu (Srinivasan, Shobha, 2008).

W niniejszym artykule skupiono się na metodzie analizy teksturalnej zaproponowanej przez Lawsa (Laws, 1980a, 1980b).

4.2. Teksturalne filtry Lawsa

Metoda zaproponowana przez Lawsa (Laws, 1980a, 1980b) oparta jest na klasyfikacji pikseli obrazu na podstawie miar lokalnej „energii teksturalnej”. Energia teksturalna reprezentuje ilość zmian wewnątrz rozpatrywanego okna na obrazach poddanych określonego wariantowi filtracji.

Podstawowe jednowymiarowe filtry Lawsa mają postać:

$$L3 = [1 \ 2 \ 1]$$

$$E3 = [-1 \ 0 \ 1]$$

$$S3 = [-1 \ 2 \ -1]$$

Okna 5-elementowe mogą być wygenerowane jako splot filtrów L3, E3, S3 w różnych kombinacjach. Najczęściej wykorzystywane są następujące filtry:

$$L5 = L3 * L3 = [1 \ 4 \ 6 \ 4 \ 1] \text{ – wyrównanie (ang. level)}$$

$$E5 = L3 * E3 = [-1 \ -2 \ 0 \ 3 \ 1] \text{ – pierwsza pochodna – wykrywanie krawędzi (ang. edge)}$$

$$S5 = -E3 * E3 = [-1 \ 0 \ 2 \ 0 \ -1] \text{ – druga pochodna – wykrywanie plam (ang. spot)}$$

$$W5 = -E3 * S3 = [-1 \ 2 \ 0 \ -2 \ 1] \text{ – wykrywanie zafalowań (ang. wave)}$$

$$R5 = S3 * S3 = [1 \ -4 \ 6 \ -4 \ 1] \text{ – wykrywanie zmarszczek (ang. ripple)}$$

Można uzyskać 25 dwuwymiarowych filtrów poprzez konwolucję filtrów 1D. Przykładowe filtry mają postać: $L5E5 = L5^T E5$ i są reprezentowane jako maska $A(i,j)$ – 5x5 pikseli.

W kolejnym etapie dokonywany jest splot masek filtrów z oryginalnym obrazem (Kumar, Ganesan, 2008):

$$(1) \quad F(i, j) = A(i, j) * I(i, j) = \sum_{p=-a}^a \sum_{l=-a}^a A(p, l) \cdot I(i + p, j + l)$$

gdzie:

$F(i,j)$ – obraz po filtracji ($i = 0.1 \dots N, j = 0.1 \dots M$)

$I(i,j)$ – obraz wejściowy

$A(i,j)$ – jądro filtra o rozmiarze $(2a+1) \times (2a+1)$

Przeprowadzana jest estymacja energii na otrzymanych obrazach, określana przez Laws'a jako „makrostatystyka”. Energia jest wyznaczana jako średnia różnica wartości bezwzględnych:

$$E(i,j) = \frac{1}{(2n+1)^2} \sum_{p=i-n}^{i+n} \sum_{l=j-n}^{j+n} |F(p,l) - M(i,j)| \quad (2)$$

gdzie:

$F(p,l)$ – obraz po filtracji

rozmiar okna $(2n+1) \times (2n+1)$

$$M(i,j) = \frac{1}{(2n+1)^2} \sum_{p=i-n}^{i+n} \sum_{l=j-n}^{j+n} F(p,l) \quad (3)$$

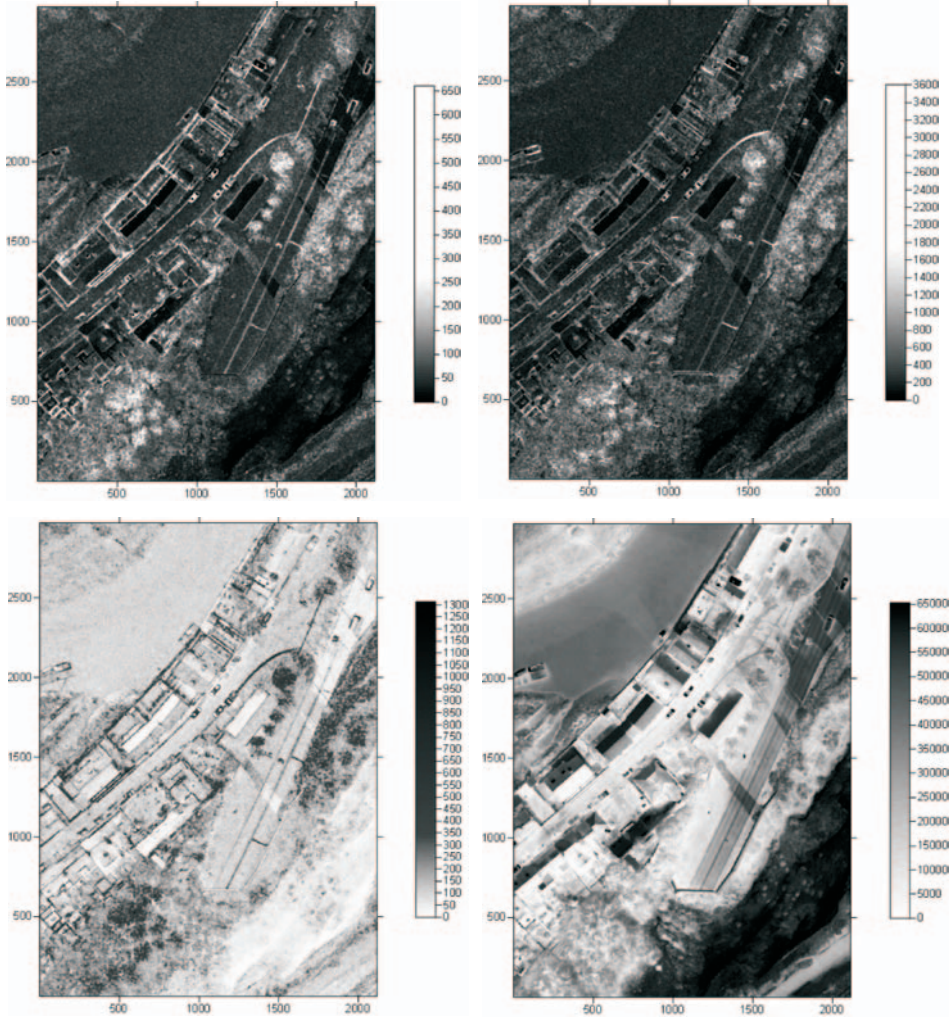
Średnia przyjmuje wartość 0 dla odpowiednio dużego rozmiaru okna w związku z tym można przyjąć następujące uproszczenie:

$$E(i,j) = \frac{1}{(2n+1)^2} \sum_{p=i-n}^{i+n} \sum_{l=j-n}^{j+n} |F(p,l)| \quad (4)$$

4.3. Praktyczna realizacja filtrów

Filtry Laws'a zostały zaprojektowane w środowisku MATLAB. Zastosowanie filtrów Laws'a do ortofotomapy prawdziwej pozwoliło na wygenerowanie 25 przefiltrowanych obrazów. W kolejnym etapie zostały wyznaczone obrazy zawierające wartości energii. Szczegółowa analiza uzyskanych danych pozwoliła wyodrębnić te, które w najlepszy sposób pozwalają na wyznaczenie budynków i drzew.

Analiza ujawniła przydatność filtracji S5S5, L5S5 i R5R5 w procesie wyodrębnienia drzew. Energia na tych obrazach dla pikseli opisujących drzewa jest zdecydowanie wyższa niż dla pozostałych obiektów i osiąga odpowiednio wartości 300÷650 dla obrazu S5S5 oraz 2000÷3600 dla obrazu L5S5. Z kolei filtry E5S5 i L5L5 w sposób jednoznaczny wyznaczyły płaszczyzny dachów budynków. Na analizowanym obszarze występowały dachy dwuspadowe, z których jedna połacie była intensywnie oświetlona, druga natomiast pozostawała w cieniu (patrz Rys. 1). W związku z tym na obrazach energii uzyskane wartości różniły się zasadniczo dla sąsiadujących połaci. Problem uwidocznił się także dla fragmentu kamieniołomu, który na wszystkich przefiltrowanych obrazach posiadał wartość energii zbliżoną do energii budynków. Możliwość włączenia w proces analizy danych laserowych, a dokładnie zNMPT, który dla kamieniołomu przyjmuje wartości 0, sprawiła, że błąd ten mógł zostać wyeliminowany.

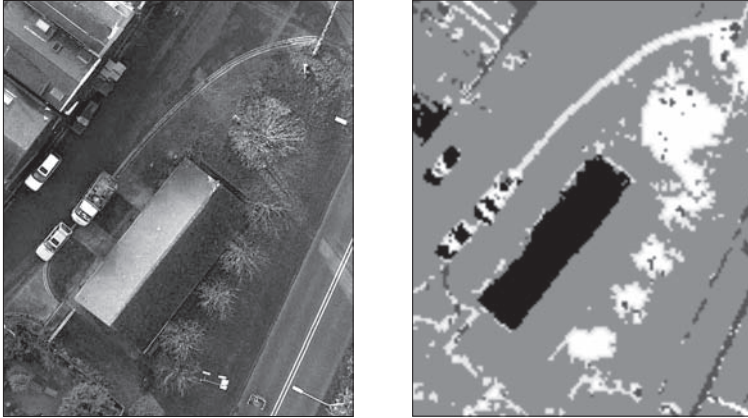


Rys. 3. Wybrane obrazy po filtracji, odpowiednio z wykorzystaniem filtru S5S5, L5S5, E5S5 i L5L5.

4.4. Klasyfikacja na podstawie cech teksturalnych Lawsa

Obrazy powstałe po filtracji zostały wykorzystane w klasyfikacji nadzorowanej przeprowadzonej metodą najmniejszej odległości w programie IDRISI. Klasyfikacja miała na celu wyznaczenie trzech kategorii: „budynki”, „drzewa” i „inne”. Dla każdej klasy zostało wybranych po pięć pól treningowych. Po klasyfikacji powstał obraz z wyznaczonymi trzema kategoriami: „budynki”, „drzewa” i „inne”. Fragment obrazu po klasyfikacji

widoczny jest na Rys. 4 (po prawej). Dla porównania po lewej stronie zamieszczono prawdziwą ortofotomapę analizowanego fragmentu.



Rys. 4. Ortofotomapa fragmentu terenu z budynkiem oraz pojedynczymi drzewami (po lewej), kategorie: budynek (kolor czarny) i drzewa (kolor biały) wyznaczone na podstawie klasyfikacji obrazów teksturalnych (po prawej).

W wyniku klasyfikacji obrazów teksturalnych w zadawalający sposób zostały wydzielone pojedyncze drzewa. Ich liczebność oraz zasięg przestrzenny zgadzają się z wynikami wizualnej weryfikacji ortofotomapy. Należy jednak zwrócić uwagę, że do kategorii drzewa zostały błędnie zaklasyfikowane krawężniki, jasne fragmenty samochodów i latarnie.

Problemem okazało się wydzielenie budynków. Na analizowanym terenie znajdowały się budynki o dachach dwuspadowych, dla których jedna połać była oświetlona, druga natomiast pozostawała w cieniu. Energia tekstury obrazu dla części zacienionych pokrywała się z energią „tła” (czyli pozostałymi obiektami, które nie stanowiły tematu badań) i w wyniku procesu klasyfikacji zostały błędnie przydzielone do kategorii obiektów „innych”.

5. INTEGRACJA DANYCH LASEROWYCH I OBRAZOWYCH

Kolejny etap prac badawczych to scalenie informacji o budynkach i drzewach pochodzących z dwóch niezależnych źródeł, tj. lotniczego skaningu laserowego i prawdziwej ortofotomapy.

W wyniku przetwarzania chmury punktów laserowych został wyznaczony z NMPT. Natomiast na podstawie prawdziwej ortofotomapy została przeprowadzona klasyfikacja z wydzieleniem kategorii: „budynki”, „drzewa” i „inne”. Ze względu na rozbieżności

w rozdzielczości przestrzennej danych, dokonano zmiany rozdzielczości obrazów do piksela terenowego 0.20 m.

Scalenie informacji pochodzących z tych dwóch źródeł polegało na ustaleniu następujących warunków:

- 1) Piksele zNMPT przyjmują wartości z zakresu 5÷25 m.
- 2) Na obrazie ortofotomapy po klasyfikacji piksel odpowiada kategorii „budynki” lub „drzewa”
- 3) Minimalny rozmiar obiektu „drzewa” na obrazie przekracza wielkość 2 m².

Dla uzyskanego obrazu wynikowego przyjęto następujące założenia:

- 1) Jeśli ustalone warunki są spełnione – drzewa i budynki są wykryte w prawidłowy sposób.
- 2) Jeśli spełniony jest tylko warunek 1, a badany obszar przekracza wielkość 25 m² - obszar jest przeklasyfikowany do kategorii „budynek”.
- 3) Jeśli spełniony jest tylko warunek 2 - obiekt zostaje przeklasyfikowany do grupy obiektów „inne”.

Integracja danych pozwoliła na wykrycie i wyeliminowanie błędu związanego z zacięzionymi fragmentami budynków. Dzięki wykorzystaniu zNMPT udało się poprawnie zidentyfikować budynki, niemniej jednak nadal pozostały błędy związane z wyznaczeniem krawędzi.

Dane laserowe przyczyniły się także do wykrycia błędu związanego z zaklasyfikowaniem kamieniołomu do kategorii „budynki” (różnicowy model zNMPT dla obszaru kamieniołomu przyjmuje wartość 0).

Obrazy teksturalne pozwoliły na przeprowadzenie identyfikacji drzew. Niestety równocześnie do klasy drzew zostały zaklasyfikowane krawężniki, fragmenty samochodów i latarnie. Warunek 1 związany z analizą zNMPT pozwolił na automatyczne wyeliminowanie krawężników z kategorii „drzewa”. Z kolei warunek 3 pozwolił na usunięcie błędnie sklasyfikowanych latarni. Błędy związane z fragmentami samochodów nie zostały usunięte.

6. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Przeprowadzone badania potwierdziły stawianą hipotezę, że integracja danych pozwoli na bardziej precyzyjne wyznaczenie obiektów: budynków i drzew. Wybrane pole testowe posiadało liczne utrudnienia: duże deniwelacje terenu, obszar o skomplikowanej rzeźbie (kamieniołom) oraz rzekę. Przeprowadzone badania ujawniły, że dane laserowe i fotogrametryczne rzeczywiście są komplementarne i błędy jednej metody mogą być niwelowane drugą metodą. Automatyczne wykrycie kamieniołomu na ortofotomapie jest właściwie niemożliwe, gdyż wartości energii obrazów teksturalnych pokrywają się z wartościami dla zabudowy. Włączenie w proces analizy danych laserowych pozwoliło w sposób oczywisty pozbyć się tego problemu. Z kolei pomiar laserowy posiadał luki w danych źródłowych (patrz Rys. 2 - woda), co mogło zostać uzupełnione informacjami z ortofotomapy. Integracja zNMPT i prawdziwej ortofotomapy pozwoliła także na wyznaczenie drzew (wyeliminowanie błędnie sklasyfikowanych krawężników i latarni).

Na podstawie przeprowadzonych badań można sformułować następujące wnioski:

- 1) Teksturalne filtry Lawsa zastosowane do prawdziwej ortofotomapy wykazują przydatność w procesie wyodrębniania drzew.
- 2) Zaskakująco, problemem okazało się wyznaczenie budynków. Można jednakże przyjąć założenie, że spowodowane to było złą jakością zdjęć – szczegóły sytuacyjne były słabo czytelne w zacienionych partiach obrazu.
- 3) Jako metodę klasyfikacji obrazów teksturalnych przyjęto najprostsza metodę minimalnej odległości. Zastosowanie bardziej wyszukanych algorytmów np. klasyfikację obiektową przyczyniłoby się przypuszczalnie do poprawy wyników.

Podsumowując, przeprowadzone badania ujawniły potencjał tkwiący w integracji danych lidarowych i fotogrametrycznych. Wykorzystanie filtrów Lawsa wymaga dalszych analiz, gdyż na obecnym etapie badań sformułowanie ostatecznych wniosków nie jest jeszcze możliwe.

Praca została wykonana w ramach badań statutowych AGH nr 11.11.150.949

7. LITERATURA

Axelsson P., 1999. Processing of laser scanner data – algorithms and applications. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* 54, s. 138-147.

Axelsson P., 2000. DEM generation from laser scanner data using adaptive TIN models. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Amsterdam, Vol. XXXIII/4B, s. 110-117.

Eckstein W., Munkelt O., 1995. Extracting objects from digital terrain models. *Proc. SPIE*, 2572, s. 43-51.

Faber A., Förstner W., 1999. Scale characteristic of local autocovariances for texture segmentation. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 32, Part 7-4-3 W6.

Kumar S., Ganesan L., 2008. Texture classification using wavelet based Laws energy measure. *International Journal of Soft Computing*, 3 (4), s. 293-296.

Laws K. I., 1980a. *Texture image segmentation*. Ph.D. dissertation, Dept. Of Engineering, University of Southern California.

Laws K. I., 1980b. Rapid texture identification. *Proc. SPIE*, Vol. 238, s. 376-380.

Malina W., 2002. *Podstawy automatycznej klasyfikacji obrazów*. Wydawnictwo PG.

Marmol U., Będkowski K., 2008. Dokładność określenia wysokości drzew na podstawie Numerycznego Modelu Koron Drzew z w wykorzystaniem danych lotniczego skanowania laserowego. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol.18.

Paget RD., Longstaff D., 1996. Terrain mapping of radar satellite. *Journal of Electronic Imaging*, 6 (2).

Rangayyan R. M., 2005. *Biomedical Image Analysis*. CRC Press.

Srinivasan G. N., Shobha G., 2008. Statistical Texture Analysis. *Proceedings of world academy of science, engineering and technology*, Vol. 36, s.1264-1269.

TopEye, 2009. <http://www.topeye.com>.

INTEGRATION OF AIRBORNE LIDAR AND PHOTOGRAMMETRIC DATA IN THE PROCESS OF AUTOMATIC OBJECT EXTRACTION

KEY WORDS: data integration, lidar, ortophoto, object extraction

SUMMARY: This paper describes a method of integrating LIDAR data and aerial images in the process of automatic object extraction. Aerial photos are classical method for obtaining spatial information. However, in recent years, LIDAR data has become more and more popular as a source of information. Aerial imagery has the ability to delineate object boundaries, but during feature extraction, the number of objects may be overestimated or underestimated. LIDAR data provide direct information about the height of an object, but have limitations when identifying boundaries. Therefore, we can say that photogrammetric sensors and LIDAR provide complementary data and their integration can improve the quality of the results. This paper presents a study of the integration of photogrammetry and LIDAR in the process of extraction of 3D objects: buildings and trees. Textural filters have been used in the automatic segmentation process. 3D objects have been separated from LIDAR data, as a DSM and DTM difference. The study has revealed the high potential and flexibility of integrated data in the automatic process of object extraction.

dr inż. Urszula Marmol
entice@agh.edu.pl
telefon: +48 12 6172302
fax: +48 12 6173826

**PRÓBA REKONSTRUKCJI NIEISTNIEJĄCYCH OBIEKTÓW
ARCHITEKTONICZNYCH NA WYBRANYM PRZYKŁADZIE* ****

**AN ATTEMPT AT THE PHOTOGRAMMETRIC RECONSTRUCTION
OF NO LONGER EXISTING BUILDINGS OF ARCHITECTURAL INTEREST
BASED ON A SELECTED EXAMPLE**

Sławomir Mikrut, Urszula Dużyńska

Katedra Geoinformacji, Fotogrametrii i Teledetekcji Środowiska,
Akademia Górniczo-Hutnicza

SŁOWA KLUCZOWE: obraz cyfrowy, zdjęcia archiwalne, fotogrametria cyfrowa, fotogrametria bliskiego zasięgu

STRESZCZENIE: Celem niniejszego artykułu jest zaprezentowanie wyników prac mających na celu próbę rekonstrukcji nieistniejącego obiektu architektonicznego. Przedstawiono etapy i wyniki badań związanych z fotogrametryczną rekonstrukcją nieistniejącego obiektu w oparciu o przedwojenne zdjęcia naziemne i lotnicze o nieznanych elementach orientacji. Oprócz stworzenia trójwymiarowego modelu budynku na podstawie archiwalnych zdjęć niemetrycznych, dokonano prób pozyskania wybranych szczegółów detali architektonicznych. Obiektem badań była krakowska willa wybudowana na Cyplu Dębnickim w pobliżu Wawelu. Do projektu wykorzystano zdjęcia wykonane niemetrycznymi kamerami, pochodzące z okresu 1900-1930. Do kalibracji zdjęć wykorzystano fotopunkty pomierzone na zdjęciach lotniczych, do tego celu użyto programu Dephos, kalibracje i rekonstrukcję wykonano w oprogramowaniu PhotoModeler i MicroStation. Zapropnowana metodyka polegająca na połączeniu archiwalnych zdjęć lotniczych i naziemnych pozwala na odtwarzanie wyglądu i rekonstrukcję wybranych obiektów. Prace te, prowadzone dzięki pomocy Muzeum Historii Fotografii w Krakowie, pozwolą na wirtualne zrekonstruowanie „zaginionych” obiektów.

1. WSTĘP

Problematyka odtwarzania nieistniejących obiektów metodami fotogrametrycznymi jest zagadnieniem stosunkowo nowym, wynikającym z możliwości jakie w ostat-

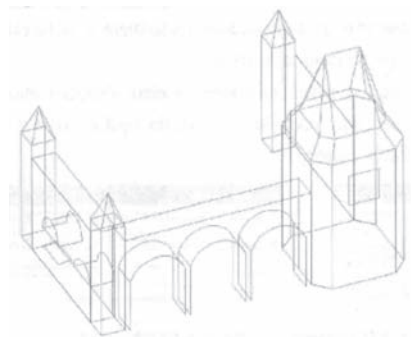
Innym przykładem było wykonanie trójwymiarowego modelu budynku na podstawie archiwalnych zdjęć niemetrycznych. Rekonstruowanym obiektem był odwach krakowski znajdujący się na Rynku Głównym obok Ratusza w latach 1882-1946 (Rys. 2).



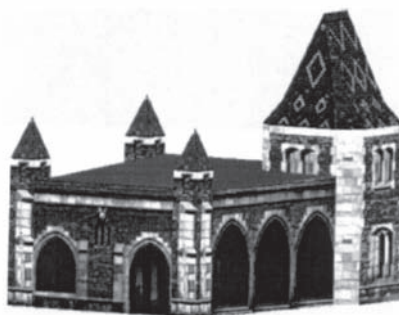
Rys. 2. Odwach Krakowski – zdjęcie archiwalne.

Danymi źródłowymi były zdjęcia niemetryczne z lat 1880-1938 oraz fragment mapy w skali 1:1000 pokazującej Rynek z przyziemiem odwachu. Przeprowadzono prace terenowe, podczas których metodą geodezyjną pomierzono około 110 fotopunktów. Fotopunkty te oraz punkty rekonstruowanego obiektu pomierzone zostały następnie na cyfrowym autografie analitycznym Video Stereo Digitizer AGH. Obliczenia przeprowadzono na darmowej wersji programu AeroSys, przy użyciu funkcji transformacji rzutowej DLT.

Kompletny rysunek wektorowy opracowano w programie MicroStation SE (Rys. 3). Trójwymiarowy model wektorowy odwachu został pokryty przetworzonymi zdjęciami archiwalnymi w celu uzyskania fotorealistycznej wizualizacji (Rys. 4).



Rys. 3. Model wektorowy Odwachu Krakowskiego.



Rys. 4. Model 3D Odwachu z przypisanymi teksturami

Źródło: Tokarczyk et al., 2005.

Innym przykładem było opracowanie metod szybkiego tworzenia obiektów trójwymiarowych dla środowiska wirtualnej rzeczywistości (ang. *The Virtual Reality System*) przy wykorzystaniu zdjęć cyfrowych. Przeprowadzono architektoniczną rekonstrukcję nieistniejącego już Dworku w Laskach Odrzańskich. Do tego celu wykorzystano schematy architektoniczne przedstawiające elewacje budynku (przednią, tylną i boczne) oraz rzut parteru. Materiały te były w postaci zeskanowanych planów architektonicznych w skali 1:100 (Rys. 5).



Rys. 5. Elewacja przedniej ściany Dworku w Laskach Odrzańskich.

Do procedur pomiarowych wykorzystano pakiety oprogramowania BluePrint Modeler. Dzięki narzędziom korekcji perspektywicznej doprowadzono plany do postaci ortofotografii oraz przeprowadzono dla nich wstępną orientację wzajemną. Po skalibrowaniu otrzymanych ortofotografii przeprowadzono rekonstrukcję obiektu wykorzystując metodę rzutowania (Rys. 5). Na powstały trójwymiarowy model wektorowy budynku nałożono tekstury co nadało mu realistycznego wyglądu (Rys. 6).



Rys. 6. Zrekonstruowany Dworek w Laskach Odrzańskich.

3. DANE WYKORZYSTANE W PROJEKCIE

Rekonstruowanym obiektem była krakowska willa należąca do rodziny Rożnowskich, położona na Cyplu Dębnickim. Powstała ona w roku 1891, po wybudowaniu mostu kolei obwodowej łączącego dworzec krakowski z Bonarką (1887-1888 r.). Willa ta była dużym i kosztownym budynkiem o nieregularnym kształcie: główna część była trzykondygnacyjna, połączona dwupiętrową przelączką z wieżą o dachu w kształcie czworobocznego ostrosłupa, zwróconą w kierunku północno-zachodnim. Dach wieży górował nad murem otaczającym wawelskie wzgórze. Jak nakazywała ówczesna moda, willa miała zachowaną elewację z czerwonej, surowej cegły. Szczególną cechą rezydencji było jej bliskie sąsiedztwo z Wawelem oraz lokalizacja na niepewnym i zalewanym przez Wisłę terenie.

Około 1920 roku willa przeszła na własność skarbu państwa i mieściła Dyрекcję Dróg Wodnych. Przez cały ten czas budynek niszczone był przez częste i długotrwałe wylewy rzeki (m. in. w 1903 i 1925 roku). Po ostatniej wielkiej powodzi w 1934 r., kiedy to Wisła zabrała ze sobą większą część budynku, podjęto decyzję o rozbiórce willi, co ostatecznie nastąpiło dopiero w 1938 roku.

Archiwalne zdjęcia obiektu udało się pozyskać dzięki współpracy z kilkoma jednostkami muzealnymi, takimi jak:

- Muzeum Historyczne Miasta Krakowa,
- Muzeum Historii Fotografii,
- Muzeum Lotnictwa Polskiego oraz prywatne zbiory pana Jana Hoffmana.

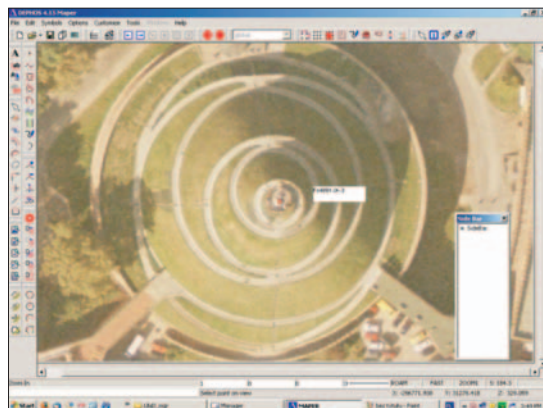
Materiały ze wszystkich placówek zostały udostępnione już jako gotowe skany zdjęć. Zdjęcia pochodzą z różnych okresów i są dziełem wielu autorów. Większość pozyskanych zdjęć została wykonana przez Walerego Rzewuskiego albo Ignacego Kriegera. Mimo początkowych problemów udało się skompletować zdjęcia przedstawiające budynek willi ze wszystkich stron.

4. METODYKA BADAŃ

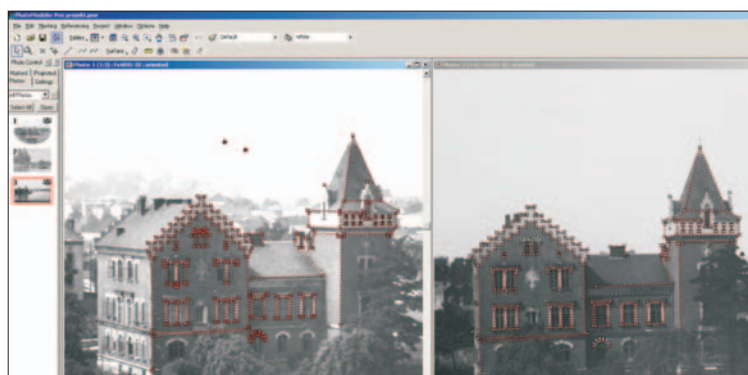
Po skompletowaniu materiałów pozyskanych z różnych miejsc Krakowa wspomnianych w poprzednim rozdziale, przystąpiono to wyboru fotografii, które mogłyby zostać wykorzystane w projekcie. Wyboru dokonano pod kątem możliwości fotopunktów, widocznych na zdjęciu i jednocześnie aktualnie istniejących w terenie. Zdjęcia wykonano amatorskim aparatem cyfrowym, w przybliżeniu z tego samego miejsca, z którego robiono dawne zdjęcie oraz starano się uchwycić podobny kadr. Na tak pozyskanych parach zdjęć szukano punktów homologicznych, najczęściej były to wieże zamku królewskiego, wieże kościołów, obmurowania zamku, fragmenty budynków. Współrzędne wybranych fotopunktów pomierzono na zdjęciach lotniczych przy wykorzystaniu pakietu programu Dephos. Przykład fotopunktu zlokalizowanego na Kopcu Kościuszki pokazano na rysunku 7. W ten sposób pozyskano współrzędne 55 fotopunktów, które posłużyły do odtworzenia elementów orientacji zdjęć archiwalnych wykonanych ze stanowisk naziemnych.

Do tego celu wykorzystano program PhotoModeler. Program ma wszechstronne zastosowanie, wykorzystywany może być również do: rekonstrukcji wypadków, analizowania miejsc zbrodni, w antropologii i archeologii, w architekturze i konserwacji, w filmach i animacjach, w sądownictwie itp. PhotoModeler jest oprogramowaniem bazującym na pomiarze monoskopowym obrazów cyfrowych pochodzących praktycznie z każdego źródła.

Po założeniu projektu w programie PhotoModeler opracowanie zaczynało się od pomiaru fotopunktów (o znanych już współrzędnych) na kolejno wczytywanych zdjęciach. Następnie uruchomiono proces orientowania zdjęć i przeprowadzono trójwymiarową symulację. Po przeprowadzeniu tego procesu na co najmniej dwóch zdjęciach można było przejść do monoskopowego pomiaru punktów danego obiektu. Pozyskano główne elementy krawędziowe budynku oraz wybrane szczegóły elewacji (przykład na Rys. 8). Końcową korektę kształtu obiektu wykonano w programie MicroStation SE, gdzie dokonano również końcowego tekstuowania obiektu.



Rys. 7. Przykład fotopunktu umiejscowionego na Kopcu Kościuszki.



Rys. 8. Przykład pozyskiwania linii wektorowych w programie PhotoModeler.

5. ANALIZA WYNIKÓW OPRACOWANIA

Zasadniczym etapem projektu był pomiar danych oraz obliczenie elementów orientacji wewnętrznej i zewnętrznej zdjęć w programie PhotoModeler. Na rysunku 9 przedstawiono zrzut z ekranu z wynikami orientacji pięciu przykładowych zdjęć, najbardziej reprezentatywnych, na podstawie których najlepiej mierzyło się konstrukcję główną budynku.

Na uwagę zasługuje fakt, że dla środków rzutów dwóch zdjęć (nr 4 i 5) uzyskano zbyt duże wartości współrzędnej Z (Rys. 9, na czerwono), co miało później odzwierciedlenie w dopasowywaniu sąsiednich krawędzi. Autorzy przypuszczają, że wpływ na niektóre mniej dokładne wyniki, mogło mieć rozmieszczenie fotopunktów na zdjęciach, nie zawsze bowiem dało się dobrać je optymalnie, z racji braku odpowiedników na zdjęciu starym i nowym.

Podczas opracowania napotkano na następujące trudności:

- problemy z równomiernym rozłożeniem fotopunktów na zdjęciach; wynikało to z niekorzystnego kadru na zdjęciach (np. połowa zdjęcia to niebo, albo na większej części zdjęcia znajdował się obiekt na którym stwierdzono brak fotopunktów),
- trudności z wyborem fotopunktów, ponieważ przez prawie 90 lat wiele obiektów się pozmiało, część została wyburzona a część przebudowana, czego przykładem jest Wawel. Problem stanowiła także identyfikacja tych samych fotopunktów na zdjęciach naziemnych (archiwalnych) i na zdjęciach lotniczych (do pomiaru w programie Dephos),
- zła geometria rozłożenia fotopunktów na zdjęciu uniemożliwiła programowi przeprowadzenie orientacji zdjęcia albo powodowała niekorzystne wyniki,

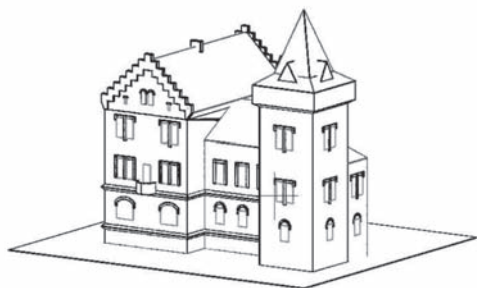
Photo #	Description	Center X (m)	Center Y (m)	Center Z (m)	Omega (deg.)	Phi (deg.)	Kappa (deg.)	Oriented	Focal Length (mm)
1	Fs4891-0c	-293605.113561	30939.766426	220.330671	65.792593	82.449225	23.496224	yes	55.896534
2	Fs10975-0c	-293665.264153	30918.981733	211.949215	91.661643	13.644462	-4.320206	yes	46.681628
3	Fs165-0c	-293603.612489	30955.589117	217.452907	56.687826	86.993309	31.865794	yes	65.310535
4	MHK506-N	-293494.151562	31105.91514	283.803552	-85.845513	73.96751	12.620487	yes	30.12356
5	22162	-294125.479099	30801.798527	274.781875	63.544056	-69.504509	-31.265239	yes	40.892774

Rys. 9. Zrzut z ekranu z programu PhotoModeler z wynikami orientacji zewnętrznej pięciu przykładowych zdjęć.

- wygenerowany pierwotny model 3D badanego obiektu (willi) zawsze był w dużej mierze zniekształcony, a zatem w celu estetycznej wizualizacji wymagał manualnej korekty w programie graficznym typu MicroStation,
- niektóre zniekształcenia pierwotnego modelu 3D uniemożliwiały pozyskanie poprawnych tekstur ze zdjęć.

W przypadku kiedy opracowanie ma charakter głównie rekonstrukcji wizualnej, problemy powyższe można rozwiązać dzięki korekcie modelowania w MicroStation. Niemniej jednak w pracach tego typu istotnym elementem jest analiza geometrii rozmieszczenia fotopunktów. Autorzy zdają sobie sprawę, że aby podnieść dokładność opracowania należałoby dokonać szeregu prób optymalizacji rozmieszczenia fotopunktów. Jest to jednak proces trudny, związany właśnie z dużym okresem czasu pomiędzy pozyskanymi zdjęciami, niemniej jednak takie próby zostaną wykonane w kolejnych etapach prac nad tym projektem.

Na rysunkach 10 i 11 przedstawiono przykładową wizualizację zrekonstruowanego obiektu, którym jest nieistniejąca już Willa Rożnowskich w Krakowie, wybudowana w roku 1891.



Rys. 10. Pierwszy pełny wektorowy model 3D obiektu (nieistniejącej Willi Rożnowskich).



Rys. 11. Model 3D obiektu z nałożoną teksturą.

6. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Celem niniejszego artykułu było zaprezentowanie wyników prac mających na celu próbę rekonstrukcji nieistniejącego obiektu architektonicznego. W ramach prac stworzono trójwymiarowy model budynku Willi Rożnowskich na podstawie przedwojennych zdjęć niemetrycznych. Zagadnienie samej rekonstrukcji obiektów nieistniejących miało już swoje pierwsze zastosowania. W prezentowanym tekście autorzy zaprezentowali podejście związane z integracją zdjęć naziemnych i lotniczych. Wyznaczenie fotopunktów niezbędnych do określenia nieznanych elementów orientacji zdjęć było kluczowym problemem z racji dużej różnicy lat dzielących dane archiwalne i aktualne, z których

pozyskiwano dane oraz nieoptymalnym ich rozmieszczeniem na zdjęciach. Wykorzystanie zdjęć lotniczych w celu wyboru dodatkowych fotopunktów poprawiło geometrię rozwiązania. Końcowym efektem pracy była trójwymiarowa wizualizacja prezentowanego obiektu.

Prace tego typu są szczególnie cenne jeśli chodzi o rekonstruowanie obiektów „zapomnianych”, które mają swoją historię zarejestrowaną tylko na starych fotografiach. Dzięki fotogrametrii cyfrowej i zaprezentowanych tutaj procedur, istnieje możliwość odtworzenia trójwymiarowego kształtu takich budynków i dokonania ich wizualizacji. Autorzy widzą również sens w kontynuowaniu prac zwłaszcza pod kątem optymalizacji rozwiązań analitycznych (związanych z określeniem liczby oraz geometrii rozmieszczenia fotopunktów).

Celem tego opracowania było w głównej mierze zrekonstruowanie wyglądu 3D obiektu, natomiast dokładności samego odtworzenia pozostawiono w drugim planie z racji mało optymalnej geometrii sieci zdjęć. Niemniej jednak temat ten będzie kontynuowany w dalszych badaniach.

7. LITERATURA

Tokarczyk R., Brodzińska M., 2003. Fotogrametryczna rekonstrukcja odwachu na rynku w Krakowie na podstawie zdjęć archiwalnych. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol.13 B, s. 467-476.

Zawieska D., 2008. Rekonstrukcja 3d obiektów bliskiego zasięgu na podstawie zdjęć archiwalnych. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 18 B, s. 717-726.

AN ATTEMPT AT THE PHOTOGRAMMETRIC RECONSTRUCTION OF NO LONGER EXISTING BUILDINGS OF ARCHITECTURAL INTEREST BASED ON A SELECTED EXAMPLE

KEY WORDS: digital image, archive photos, digital photogrammetry, close-range photogrammetry

SUMMARY: The goal of this paper is to present results of work designed to develop technology for the reconstruction of buildings of architectural interest that no longer exist. The paper shows the stages in and results of investigations relating to the photogrammetric reconstruction of a no longer existing building on the basis of pre-war ground and aerial photos with unknown orientation elements. In addition to the creation of a 3D model of a building based on archive non-metric photos, the authors made attempts at obtaining selected details of architectural elements. The subject of the investigations was a villa owned by the Rożnowskis family, located in Kraków, near the Vistula, on a headland close to the Wawel Royal Castle. Both the villa, and the headland on which it had been constructed were flooded by the Vistula in the inter-war period, and at present they no longer exist. The research project utilised photos, which were made with the use of non-metric cameras in the period 1900-1930. Photo points measured on aerial images were later used for the

calibration of these photos using the Dephos program. Calibration and reconstruction were carried out using the PhotoModeler and MicroStation software. The methodology as proposed under that approach consisted of the combination of archival aerial and ground photos, thus making it possible to reconstruct the appearance of selected buildings and to recreate them. This work, carried out thanks to the assistance of the local Museum of Photography in Kraków, will enable a virtual reconstruction of Kraków's „lost” landmarks appearing on photos in the museum's collection. Finally, the technology will allow a wider use of archive photos and a reconstruction of heritage buildings and structures known from historical descriptions, as is the case in the city of Kraków.

dr inż. Sławomir Mikrut
smikrut@agh.edu.pl
telefon: +48 12 6172302
fax: +48 12 6173993

Urszula Dużyńska
hydra@wp.pl
telefon: +48 605308061

* praca wykonana w ramach Badań Statutowych AGH o nr 11.11.150.949

** wersja kolorowa artykułu jest dostępna na stronie <http://www.sgp.geodezja.org.pl/ptfit>

**TECHNICZNE I FORMALNE ASPEKTY BUDOWY BAZY WZORCÓW
DO TELEDETEKCYJNEJ KONTROLI WNIOSKÓW
O PŁATNOŚCI OBSZAROWE W RAMACH
WSPÓLNEJ POLITYKI ROLNEJ UNII EUROPEJSKIEJ***

**TECHNICAL AND FORMAL ASPECTS OF SPECTRAL SIGNATURES
DATABASE BUILDING WITH REMOTE SENSING FOR CONTROL
OF AREA-BASED SUBSIDIES IN THE FRAMEWORK
OF THE COMMON AGRICULTURAL POLICY**

Marek Mróz¹, Magdalena Mleczko²

¹Katedra Fotogrametrii i Teledetekcji, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

²Wydział Geodezji i Gospodarki Przestrzennej,
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

SŁOWA KLUCZOWE: CwRS, baza danych ARiMR, płatności obszarowe, TerraSAR-X

STRESZCZENIE: Głównym zagadnieniem przedstawionym w artykule jest badanie możliwości utworzenia bazy danych wzorców spektralnych do klasyfikacji upraw rolniczych na zdjęciach satelitarnych, na podstawie dokumentacji zawartej w bazach i rejestrach Agencji Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa (ARiMR), pozyskiwanych corocznie z wniosków rolników ubiegających się o dopłaty. W pierwszej części pracy analizie została poddana struktura zbioru wniosków o dopłaty z obszaru powiatów malborskiego i sztumskiego (woj. pomorskie) w postaci natywnej, tj. takiej, jaka jest przechowywana i udostępniana w bazie danych ARiMR, z roku 2008. Dane zostały udostępnione przez ARiMR w ramach projektu badawczego TerraSAR_Agri finansowanego przez MNiSzW. W następnym kroku utworzono bazę działek rolnych tworząc poligony (obszary domknięte topologicznie) w formacie ESRI *shape*, po uzgodnieniu przebiegu granic ewidencyjnych z przebiegiem granic pól odczytanych z treści przetworzonych zdjęć satelitarnych Landsat i TerraSAR-X. Następnie połączono bazę działek rolnych z danymi ARiMR określającymi rodzaj uprawy danej działki rolnej w celu znalezienia odpowiedzi na pytanie o możliwość tworzenia bazy wzorców klas do procesu klasyfikacji automatycznych wykorzystywanych do kontroli metodą teledetekcji, w Europie nazywanej *CwRS – Control with Remote Sensing of Area-Based Subsidies*, a w Polsce metodą FOTO. Przedstawione wyniki wskazują, że tworzenie „bazy wiedzy zewnętrznej” (bazy wzorców) do klasyfikacji obrazów satelitarnych na podstawie zbioru wniosków pozyskanych z ARiMR do teledetekcyjnej kontroli jest możliwe, jednakże w obecnej strukturze gromadzenia i przechowywania danych atrybutowych oraz graficznych jest to procedura pracochłonna i czasochłonna.

na. Baza ARiMR wymagałaby znacznych zmian strukturalnych oraz pełnego zintegrowania danych opisowych z danymi przestrzennymi, co uczyniłoby to zadanie nie tylko łatwym do zrealizowania w przyszłości, ale zachęcałoby to takiego sposobu wykorzystania informacji z wniosków w procedurach kontroli.

1. WPROWADZENIE

Jedną z metod kontroli wniosków składanych przez farmerów z obszaru Unii Europejskiej o dotacje w ramach programu dopłat obszarowych jest teledetekcja wykorzystująca zdjęcia lotnicze i satelitarne. Istnieje specjalna, unijna procedura pozyskiwania zdjęć satelitarnych, koordynowana przez Joint Research Centre we Włoszech, dla obszaru wszystkich krajów UE stosujących kontrole teledetekcyjne¹. Zdjęcia te są następnie przekazywane poprzez krajową administrację (w Polsce ARiMR – Agencja Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa) do zewnętrznych wykonawców kontroli (kontrahentów), którzy są zobowiązani do zastosowania odpowiedniej metodyki ich przetwarzania, w tym często automatycznych klasyfikacji obrazów w celu rozpoznania upraw znajdujących się na poszczególnych polach (działkach rolnych)². Klasyfikacje automatyczne wymagają jednak zdefiniowania statystycznych wzorców opartych na zbiorze pikseli reprezentujących konkretne obszary, i o wartościach wynikających ze zmiennej w czasie charakterystyki radiometrycznej upraw i użytków gruntowych. Zmusza to wykonawców kontroli do wyjazdów i rekonesansów terenowych w celu określenia takich reprezentatywnych statystycznie wzorców na miejscu (na polu).

Z drugiej strony, fakt składania wniosków teoretycznie w ogromnej większości poprawnych, co do rodzaju użytkowania, tworzy bazę danych, która mogłaby być wykorzystana, jako baza wiedzy zewnętrznej w procesie klasyfikacji automatycznych. Idea taka pojawiła się po raz pierwszy w roku 1993, pierwszym roku teledetekcyjnej kontroli wniosków we Francji, która jest największym promotorem stosowania bezkontaktowych metod kontroli.

Autorzy poszukiwali odpowiedzi na pytanie o możliwości tworzenia bazy wzorców klas do procesu klasyfikacji automatycznych, na podstawie zbioru rzeczywistych wniosków farmerskich, udostępnionych przez ARiMR, dla obszaru poligonu badawczego „Malbork” w ramach projektu badawczego TerraSAR_Agri finansowanego przez MNiSzW.

¹ CTS, „Common Technical Specification. For the 2009 campaign of Remote Sensing control of area-based subsidies” 2008/S 228-302473, JRC Ispra/IPSC/MARS 2008.

² Rozporządzenie Komisji (WE) nr 796/2004 z dnia 21 kwietnia 2004 r. ustanawiające szczegółowe zasady wdrażania wzajemnej zgodności, modulacji oraz zintegrowanego systemu administracji i kontroli przewidzianych w rozporządzeniu Rady (WE) nr 1782/2003 ustanawiającego wspólne zasady dla systemów pomocy bezpośredniej w zakresie wspólnej polityki rolnej oraz określonych systemów wsparcia dla rolników. Dz.U.UE.L.04.141.18

2. MATERIAŁY

W opracowaniu wykorzystano zbiór wniosków o dopłaty z obszaru powiatów malborskiego i sztumskiego (woj. pomorskie) w postaci natywnej, tj. takiej, jaka jest przechowywana i udostępniana w bazie danych ARiMR, z roku 2008³.

W obecnym stanie rzeczy system baz referencyjnych ARiMR jest oparty o rejestr publiczny Ewidencji Gruntów i Budynków (EGiB) – zarówno system kontroli wniosków jak i system identyfikacji działek rolnych LPIS (*Land Parcel Identification System*), tj. baza identyfikacji pól zagospodarowania wyróżniająca 9 kategorii terenu (D, K, L, S, T, U, W, Z i I) oznaczających kolejno: D – siedlisko, K – teren komunikacyjny, L – las, S – sad, T – trwałe użytki zielone, U – teren uprzemysłowiony lub zurbanizowany, W – woda, Z – teren zadrzewiony lub zakrzewiony i I – inny teren nie nadający się do działalności rolniczej.

Podstawową jednostką EGiB jest działka ewidencyjna, którą stanowi ciągły obszar gruntu, jednorodny pod względem prawnym, wydzielony z otoczenia za pomocą linii granicznych. Rolnicy składając aplikacje o przyznanie płatności do gruntów rolnych identyfikują działki rolne w odniesieniu do działek ewidencyjnych [2,3]. Teoretycznie⁴ działki rolne deklarowane przez rolników można wykorzystywać, jako pola treningowe lub kontrolne w procesie klasyfikacji.

Uzyskane dane z Departamentu Ewidencji Gospodarstw ARiMR to:

- granice działek odniesienia (działki z ewidencji gruntów i budynków) dla powiatu malborskiego i sztumskiego, plik w formacie XML,
- zestawienie przedstawiające dane z wniosków o płatności w ramach systemów wsparcia bezpośredniego dla wniosków zawierających działki zadeklarowane w 2008 roku na terenie gmin: Malbork, Miłoradz, Sztum (Rys. 1).

A	B	C	D	E	F	G
id rolnika	ID DZIAŁKI EWIDENCYJNEJ	POW. CAŁKOWITA DZIAŁKI EWIDENCYJNEJ W HA	GRUPA UPRAW	GATUNEK	OZNACZENIE DZIAŁKI ROLNEJ	POWIERZCHNIA DZIAŁKI ROLNEJ W HA
213	17 221605_5 0014 337/1		0,98 JPO - TUZ Płatność bezpośrednia - TUZ		P	0,10
214	17 221605_5 0014 337/1		0,98 UPO - Uprawy podstawowe		R1	0,10
215	17 221605_5 0014 337/1		0,98 JPO - Płatność bezpośrednia		R	0,10
216	17 221605_5 0014 337/2		15,76 UPO - Uprawy podstawowe		AG1	2,28
217	17 221605_5 0014 337/2		15,76 JPO - Płatność bezpośrednia	pszenżyto ozime	T	2,50
218	17 221605_5 0014 337/2		15,76 JPO - Płatność bezpośrednia	pszenica ozima	AC	3,10
219	17 221605_5 0014 337/2		15,76 JPO - Płatność bezpośrednia	pszenica ozima	AF	2,07
220	17 221605_5 0014 337/2		15,76 JPO - Płatność bezpośrednia	pszenica ozima	S	1,19
221	17 221605_5 0014 337/2		15,76 JPO - Płatność bezpośrednia		Y	0,25
222	17 221605_5 0014 337/2		15,76 JPO - TUZ Płatność bezpośrednia - TUZ		U	0,87
223	17 221605_5 0014 337/2		15,76 JPO - Płatność bezpośrednia		AG	2,28
224	17 221605_5 0014 337/2		15,76 JPO - Płatność bezpośrednia		W	3,26
225	17 221605_5 0014 337/2		15,76 UPO - Uprawy podstawowe		AF1	2,07
226	17 221605_5 0014 337/2		15,76 UPO - Uprawy podstawowe		W1	3,26
227	17 221605_5 0014 337/2		15,76 UPO - Uprawy podstawowe	pszenica ozima	S1	1,19
228	17 221605_5 0014 337/2		15,76 UPO - Uprawy podstawowe	pszenica ozima	AC1	3,10
229	17 221605_5 0014 337/2		15,76 UPO - Uprawy podstawowe	pszenżyto ozime	T1	2,50

Rys. 1. Tabela (arkusz kalkulacyjny) z danymi z wniosków ARiMR.

³ Szczegółowa instrukcja wypełniania wniosku o przyznanie płatności na rok 2009. ARiMR 2009. „Zasady deklaracji działek rolnych we wniosku o przyznanie płatności na rok 2009” ARiMR 2009.

⁴ Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi, <http://www.bip.minrol.gov.pl>; Agencja Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa, <http://www.arimr.gov.pl>

W zestawieniu zastosowane zostały następujące kody:

- id_rolnika – niepowtarzalny identyfikator każdego rolnika składającego wniosek (stworzony na potrzeby tego raportu);
- id_działki ewidencyjnej – unikalny w skali kraju identyfikator działki ewidencyjnej składający się z identyfikatora określającego położenie działki ewidencyjnej (TERYT) oraz jej numeru;
- grupa upraw i gatunek;
- oznaczenie działki rolnej – oznaczenie działki rolnej wg. danych z wniosku o przyznanie płatności;
- powierzchnia działki rolnej – pole powierzchni działki rolnej leżąca na danej działce ewidencyjnej (zgodnie z zasadą, iż działka rolna leży na jednej lub więcej działkach ewidencyjnych).

System dofinansowań stworzony w ramach Wspólnej Polityki Rolnej daje możliwość ubiegania się o przyznanie różnych dotacji, w ramach różnych schematów płatności, tzw. „brukselskich” jak i krajowych [1,4,7]. Stąd wynika skomplikowanie zarówno potrzeb kontroli jak i samej procedury deklarowania upraw. Są to następujące schematy:

- 1) płatności bezpośredniej, obejmującej:
 - jednolitą płatność obszarową (JPO),
 - płatność do upraw roślin energetycznych (RE),
 - przejściowe płatności z tytułu owoców miękkich (OM);
- 2) płatności uzupełniającej do powierzchni grupy upraw podstawowych (UPO);
- 3) płatności uzupełniającej do powierzchni uprawy chmielu (CH);
- 4) płatności uzupełniającej do powierzchni upraw roślin przeznaczonych na paszę, uprawianych na trwałych użytkach zielonych (płatności zwierzęcej – PZ);
- 5) płatności uzupełniającej do powierzchni uprawy chmielu, do której przyznano płatność uzupełniającą do powierzchni uprawy chmielu za 2006 rok;
- 6) oddzielnej płatności z tytułu owoców i warzyw (płatność do pomidorów);
- 7) płatności cukrowej;
- 8) pomocy do rzepaku;
- 9) pomocy finansowej z tytułu wspierania gospodarowania na obszarach górskich i innych obszarach o niekorzystnych warunkach gospodarowania (ONW);
- 10) płatności do obszaru będącego trwałym użytkiem zielonym (TUZ)
- 11) płatności do obszaru, na którym prowadzona jest uprawa:
 - lnu (L),
 - konopi włóknistych (K).

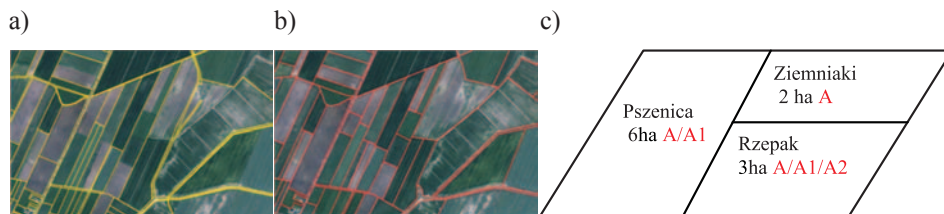
Zestawienie gatunków przypisanych do grup upraw przedstawia tabela 1.

Powyższe informacje przytoczone są tak szczegółowo dlatego, aby pokazać, że dla jednej działki rolnej może wystąpić kilka możliwych sytuacji w danym roku, i że determinuje to stopień szczegółowości kontroli. Pierwszym napotkanym problemem jest fakt, iż działkę rolną stanowi zwarty obszar gruntu, na którym jeden rolnik prowadzi jedną grupę upraw, a nie jeden rodzaj rośliny. Gatunek uprawianej rośliny mógłby posłużyć do tworzenia wzorców w przeciwieństwie do grupy upraw, która w przypadku JPO ze względu na szeroką zawartość gatunków tworzyłaby jedną klasę roślin uprawnych.

Tab. 1. Zestawienie gatunków roślin przypisanych do grup upraw.

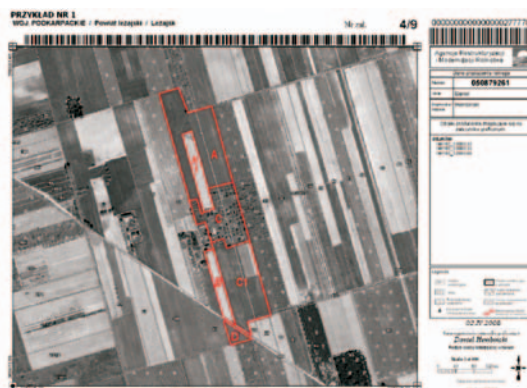
Grupa Upraw	Gatunek
JPO	Do przyznania jednolitej płatności obszarowej kwalifikują się wszystkie rośliny uprawne (rolnicze) uprawiane na gruntach ornych, trwałych użytkach zielonych, plantacje wieloletnie oraz ogródki przydomowe, a także: - szkółki drzew i krzewów (z wyłączeniem drzewek bożonarodzeniowych); - rośliny uprawiane w szklarniach i tunelach foliowych; - ugór; - wierzba przeznaczona do wyplatania; - zagajniki drzew leśnych o krótkim okresie rotacji (np. wierzba, topola, robinia akacjowa); - powierzchnie gruntów rolnych, na których znajdują się: oczka wodne
UPO	- zboża, w tym kukurydza; - mieszanki zbóż, roślin oleistych, roślin wysokobiałkowych, roślin strączkowych, roślin motylkowatych drobnonasiennych; - rośliny oleiste (rzepak, rzepik, słonecznik, soja); - len włóknisty i oleisty; - konopie na włókno; - rośliny wysokobiałkowe (bób, bobik, łubin słodki, groch siewny); - rośliny strączkowe (wyka siewna, soczewica jadalna i ciecierzycza pospolita); - orzechy: orzechy włoskie, leszczyna; - rośliny okopowe pastewne, z wyłączeniem ziemniaków pastewnych; - rośliny strączkowe pastewne mieszanki roślin motylkowatych drobnonasiennych z trawami na gruntach rolnych innych niż trwale użytki zielone; - rośliny przeznaczone na materiał siewny kategorii elitarny i kwalifikowany (zboża, oleiste i włókniste, trawy, motylkowate); - trawy na trwałych użytkach zielonych przeznaczone na susz paszowy;
RE	Rośliny uprawiane na gruntach rolnych, będące przedmiotem umowy dostarczenia roślin energetycznych przeznaczonych do przetworzenia na produkty energetyczne: - buraki cukrowe - jednoroczne rośliny (np. rzepak, rzepik, żyto, kukurydza, len włóknisty); - zagajniki drzew leśnych o krótkim okresie rotacji (np. wierzba energetyczna, topola, robinia akacjowa); - rośliny wieloletnie (np. róża bezkolcowa, ślazowiec pensylwański, miskant olbrzymi, topinambur, rdest sachaliński, mozga trzciniowata); - soja Rośliny uprawiane na gruntach rolnych, wykorzystywane jako paliwo do ogrzewania gospodarstw lub w celu wytworzenia energii bądź biopaliwa w gospodarstwie: - miskant; - ślazowiec pensylwański; - mozga trzciniowata; - spartina preriowa; - lnicznik siewny; - zboża - nasiona roślin oleistych – nasiona soi łamane nieprzeznaczone do siewu, rzepak, rzepik o niskiej zawartości kwasu erukowego, nasiona słonecznika (łamane, wyluskane, w łusce), - nasiona słonecznika nieprzeznaczone do siewu; - zagajniki drzew leśnych o krótkim okresie rotacji (np. wierzba energetyczna, topola, robinia akacjowa); - jednoroczne i wieloletnie rośliny przetwarzane w gospodarstwie na biogaz.
OM	- truskawki, maliny
CH	- chmiel

Działka rolna może być położona na całej działce ewidencyjnej lub jej części albo na kilku przylegających do siebie działkach ewidencyjnych (Rys. 2). A ponadto grupy upraw: JPO, UPO, RE, CH, OM, PZ stanowiące odrębne działki rolne powodują, że na jednej działce ewidencyjnej może znajdować się kilka „nakładających się” na siebie działek rolnych (Rys. 2c), gdzie działkę A – JPO stanowi 6 ha pszenicy + 2 ha ziemniaków + 3 ha rzepaku, działkę A1 – UPO stanowi 6 ha pszenicy + 3 ha rzepaku a działkę A2 – RE rzepak stanowi 3 ha rzepaku.



Rys. 2. a) działki ewidencyjne b) granice upraw c) przykład zagospodarowania działki ewidencyjnej.

Działki rolne identyfikowane są w bazie danych wniosków na podstawie oznaczeń literowych (Rys.1). Niemożliwe jest zatem stwierdzenie na podstawie takiej tabeli, w sposób jednoznaczny, do jakiego ciągłego fragmentu przestrzeni rolniczej to oznaczenie się odnosi. Można tylko sprawdzić, do jakich działek ewidencyjnych jest przypisane, nie można natomiast wskazać konkretnej lokalizacji przestrzennej. Pomocne w tym zakresie jest pole powierzchni działki rolnej wykazywane we wniosku. Można na ogół „domyślić się”, której uprawy widocznej na zdjęciu to dotyczy, ale nie jest to poprawne wskazanie lokalizacji w przestrzeni geograficznej. Dlatego jednym z elementów wniosku, który wypełniają rolnicy jest tzw. załącznik graficzny wniosku spersonalizowanego (Rys. 3).



Rys. 3. Załącznik graficzny wniosku.

Załącznik graficzny ma postać wydruku papierowego dostarczanego przez ARiMR w komplecie dokumentacji zarówno rolnikowi, jak i kontrahentom wykonującym kontrole. Wydruk jest wykonywany na podstawie pliku cyfrowego PDF, ale od momentu wykonania przez rolnika oznaczeń działek rolnych na tle ortofotomapy funkcjonuje jako dokument analogowy, powielany metodą kserograficzną w razie potrzeby (np. do kontroli terenowych). Wykazywanie w treści wniosku i załącznika rodzaju/gatunku uprawianej rośliny jest w większości przypadków fakultatywne, natomiast obowiązkowe jest tylko w schematach płatności: RE - energetyczne, RS - rolno środowiskowe i OM – owoce miękkie. Ma to miejsce również wtedy, gdy w ramach schematu płatności UPO występuje w obrębie działki rolnej jedno ze zbóż podstawowych (żyto, jęczmień, owies, pszenica).

Materiały teledetekcyjne wykorzystane do tworzenia i badania wzorców klasyfikacyjnych stanowiła seria zdjęć radarowych TerraSAR-X oraz dwie sceny satelitarne Landsat 5 TM, pozyskane w roku 2008, wyszczególnione w tabeli 2.

Tab. 2. Zestawienie obrazów satelitarnych.

Data rejestracji	System obrazowania/Tryb obrazowania
2008_04_25	TerraSAR -X/R013_VV_VH
2008_04_26	Landsat 5TM
2008_05_17	TerraSAR -X/R013_VV_VH
2008_06_08	TerraSAR -X/R013_VV_VH
2008_06_16	TerraSAR -X/R013_VV_VH
2008_06_30	TerraSAR -X/R013_VV_VH
2008_08_07	Landsat 5TM

3. METODY

Na podstawie oryginalnych danych ARiMR przekazanych w formacie XML (działki ewidencyjne) oraz danych z wniosków w formacie arkusza kalkulacyjnego Excel, utworzono bazę działek rolnych, tworząc wieloboki (obszary domknięte topologicznie) w formacie ESRI *shape*, po uzgodnieniu przebiegu granic ewidencyjnych z przebiegiem granic pól odczytanych z treści przetworzonych zdjęć satelitarnych Landsat lub TerraSAR X.

Zaimportowano ok. 3000 działek ewidencyjnych, które utworzyły ok. 2500 działek rolnych. 100 działek rolnych (4% wszystkich działek rolnych) poddano szczegółowemu badaniu, tj. interpretacji kameralnej i obliczeniu na ich podstawie wzorców spektralnych. 20% badanych działek było również sprawdzonych i opisanych w terenie w ramach tworzenia wzorców niezależnych od bazy ARiMR. Rysunek 4 przedstawia wieloczasową kompozycję barwną TerraSAR z uwidocznionymi wektorowymi granicami działek rolnych.

Zasadniczym elementem metodyki było utworzenie przykładowych wzorców spektralnych dla wybranych klas i wskazanie (na tym etapie przy pomocy histogramów) czy i w jakim zakresie możliwe jest zidentyfikowanie działek rolnych, deklarowanych jako przynależące do danej klasy, ale różniących się od typowego wzorca spektralnego.



Rys. 4. Wieloczasowa kompozycja barwna TerraSAR-X.

Proces tworzenia wzorców spełnia zatem dwa zadania:

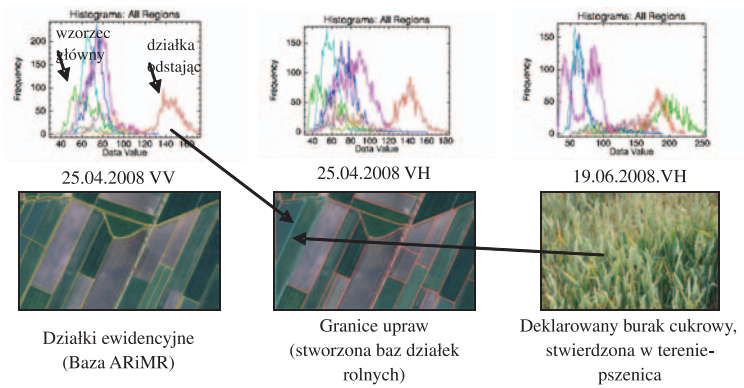
- umożliwia przeprowadzenie klasyfikacji automatycznej obrazu/ów na całym obszarze kontroli,
- ujawnia występowanie działek rolnych nietypowych, „podejrzanych”, odstających od zasadniczego wzorca.

Ten drugi aspekt jest już elementem kontroli, chociaż zidentyfikowanie działek różniących się od wzorca może być elementem decydującym o konieczności poszerzenia bazy wzorców spektralnych.

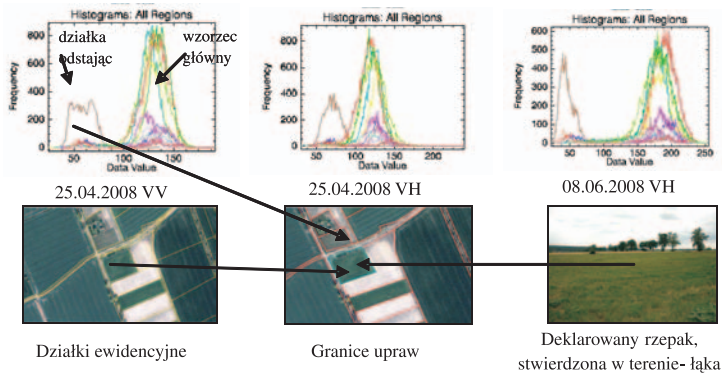
4. WYNIKI

Rysunki 5, 6 i 7 przedstawiają histogramy pikseli działek stanowiących działki wzorcowe dla przykładowych dat i trybów rejestracji. Na rysunkach 5 i 6 (dla uprawy buraka cukrowego i rzepaku) zauważa się działki odbiegające od wzorca głównego a błędne przypisanie ich do klasy potwierdziły ucytelnienia terenowe.

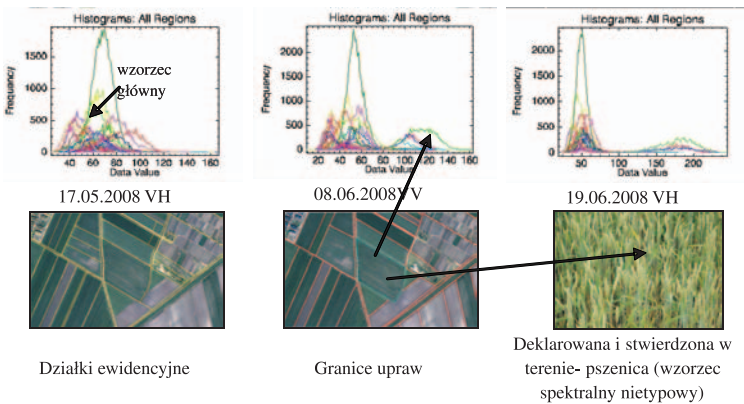
Uzupełnieniem ilościowym przedstawionej wizualnej procedury oceny działek rolnych pod względem poprawności ich definiowania we wnioskach oraz, w następstwie, tworzenia z nich wzorców do klasyfikacji może być, (co zaproponowano w niniejszej pracy), obliczenie miary separatywności klas JMD (*Jeffries-Matusita Distance*). Wartość



Rys. 5. Histogramy wraz ze zdjęciami z uczytelnienia dla uprawy buraka cukrowego.



Rys. 6. Histogramy wraz ze zdjęciami z uczytelnienia dla uprawy rzepaku.



Rys. 7. Histogramy wraz ze zdjęciami z uczytelnienia dla uprawy pszenicy ozimej.

tej miary powyżej 1.8 (w skali 0-2) wskazuje dobrą rozdzielność pary wzorców. A zatem obliczenie odległości (miary) JMD między wzorcem uzyskanym dla danej, pojedynczej działki (w tabeli nazwanej działką referencyjną czyli sprawdzaną), a wszystkimi pozostałymi wzorcami z pozostałych działek pozwala na stwierdzenie, w jakim procencie par wzorców odległość JMD jest wyższa od ustalonego progu (np. 1.8). A zatem, jeżeli np. 66% działek wykazuje na dobrą separatywność z daną działką, tzn. że badana działka najprawdopodobniej należy do innej klasy i jest błędnie zadeklarowana we wniosku. Należy stwierdzić, że „najprawdopodobniej”, gdyż może to być przypadek wzorca nietypowego. Ale im wyższy odsetek oraz wyższa wartość JMD tym pewność potrzeby kontroli na miejscu wzrasta. W grupie badanych działek stwierdzono, że dla wartości JMD >1.8:

- 1) w klasie buraka cukrowego wystąpiła 1 działka odstająca na 7 analizowanych,
- 2) w klasie rzepaku wystąpiły 3 działki wyraźnie odstające oraz 3 bardzo nietypowe na 16 analizowanych.
- 3) analiza klasy pszenicy ozimej wykazała dużą heterogeniczność działek wzorcowych, z których 3 najwyraźniej są błędnie deklarowane.

Szczegółowe wyniki przedstawia tabela 3, gdzie udział % oznacza procent wszystkich działek danej klasy z wyłączeniem działki badanej.

5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Przedstawiony problem oraz uzyskane wyniki wpisują się w szerszy kontekst prowadzonej obecnie dyskusji nt. kontynuowania lub zmiany sposobu prowadzenia baz referencyjnych ARiMR. Przedstawione wyniki wskazują, że tworzenie „bazy wiedzy zewnętrznej” (bazy wzorców) do klasyfikacji obrazów satelitarnych na podstawie zbioru wniosków pozyskanych z ARiMR do teledetekcyjnej kontroli jest możliwe, jednakże w obecnej strukturze gromadzenia i przechowywania danych atrybutowych oraz graficznych jest to procedura pracochłonna i czasochłonna. Jeżeli wykonawcy kontroli mieliby wykorzystać bazę wniosków ARiMR w sposób podobny do przedstawianego, to wymagałaby ona zmian strukturalnych, zintegrowania danych opisowych z danymi przestrzennymi. Jak już stwierdzono wcześniej, przeszkodą w tworzeniu wzorców jest brak obowiązku określania gatunku rośliny we wnioskach, w każdym ze schematów płatności.

Niekompletne zintegrowanie danych opisowych z danymi przestrzennymi uniemożliwia zidentyfikowanie przestrzenne każdej działki rolnej w odniesieniu do działek ewidencyjnych, czego następstwem jest niespełnienie wymogu klasyfikacji mówiącego o konieczności bezbłędneho przyporządkowania atrybutu wzorca do lokalizacji przestrzennej. W tym wypadku wzorcami mogą być jedynie te działki rolne, które zajmują całe działki ewidencyjne. Umożliwia to stworzenie nielicznej bazy wzorców, zaledwie dla paru gatunków upraw.

Bazy oparte na rejestrze publicznym, jakim jest powszechna Ewidencja Gruntów i Budynków spełniały swoją rolę na początku funkcjonowania systemu kontroli IACS. Niemniej jednak z mnogości schematów płatności, programów dopłat i analiz zgodności krzyżowych (*cross compliance*) wyłoniło się pytanie, czy nie jest uzasadnione przejście

Tab. 3. Zestawienie liczby działek odstających od wzorca głównego.

nr działki	Liczba działek odstających od działki referencyjnej oraz udział %		nr działki	Liczba działek odstających od działki referencyjnej oraz udział %	
pszenica ozima			rzepak		
561	23	66%	396	5	31%
603	24	69%	1133	5	31%
527	25	71%	606	9	56%
569	25	71%	388	9	56%
591	25	71%	395	9	56%
602	26	74%	1043	10	63%
1365	26	74%	608	11	69%
426	27	77%	392	11	69%
604	27	77%	1468	11	69%
364	28	80%	1350	11	69%
365	28	80%	1292	12	75%
808	28	80%	1075	13	81%
370	29	83%	1335	15	94%
391	29	83%	1156	15	94%
404	29	83%	371	16	100%
1068	29	83%	1838	16	100%
390	30	86%	1058	16	100%
568	30	86%	burak		
1351	30	86%	401	1	14%
549	31	89%	526	1	14%
1395	31	89%	547	1	14%
403	32	91%	1380	1	14%
806	32	91%	1590	1	14%
807	32	91%	1592	1	14%
810	32	91%	1609	1	14%
811	32	91%	548	7	100%
545	33	94%			
570	33	94%			
571	33	94%			
607	33	94%			
1396	33	94%			
1155	34	97%			
1560	34	97%			
283	35	100%			
458	35	100%			
1069	35	100%			

na system blokowy. System taki, który tworzyłby nowy układ referencyjny dla działek rolnych, oparty o granice pól zidentyfikowane na podstawie ortofotomap lotniczych i satelitarnych. System blokowy nazywany również systemem „ilôt” (z jęz. fr. - wysępka), powstały z dotychczasowej formy LPIS. Taka zmiana mogłaby prawdopodobnie w sposób ewolucyjny również doprowadzić do łatwiejszej lokalizacji przestrzennej określonych pól uprawnych i działek rolnych, gdyby z roku na rok, po każdej kampanii kontrolnej uzupełniać granice działek rolnych w formie wektorowej w systemie.

Podstawowym warunkiem, który musiałby być spełniony, byłby obowiązek nałożony na farmera, deklarowania najpierw gatunków i rodzajów upraw, a potem wskazywanie w zestawieniu końcowym konkretnego schematu płatności, o którą się ubiega. Obecne rozwiązanie, dopuszczające fakultatywność deklarowania szczegółowego, jest może i rozwiązaniem łatwiejszym dla rolnika, ale tylko z pozoru lepszym dla całości funkcjonowania systemu. Ujednolicenie stopnia szczegółowości deklaracji upraw w różnych schematach niczemu by nie zaszkodziło, pozwalając na jednoczesne kontrolowanie np. wymogów „Dobrej Kultury Rolnej” w zakresie rotacji upraw i zakazu monokultury, ułatwiłoby też zadanie postawione w celu tej pracy, jakim jest generowanie wzorców klas na podstawie potężnej bazy danych, jaką jest baza ARiMR. To ujednolicenie mogłoby dać efekt większej interoperacyjności systemu i mogłoby być skuteczniejsze w przekazywaniu informacji pomiędzy różnymi aktorami w systemie kontroli.

TECHNICAL AND FORMAL ASPECTS OF SPECTRAL SIGNATURES DATABASE BUILDING WITH REMOTE SENSING FOR CONTROL OF AREA-BASED SUBSIDIES IN THE FRAMEWORK OF THE COMMON AGRICULTURAL POLICY

KEY WORDS: Control with Remote Sensing, ARiMR database, area-based subsidies, TerraSAR-X

SUMMARY: The main issue presented in this paper is the analysis of the possibility of constructing a spectral signatures database using the official registers and records of the Polish government's Agency for Restructuring and Modernization of Agriculture (ARMA) in order to classify satellite images. This database is updated every year based on the applications made by farmers demanding area-based subsidies. The first part of the work concerned the analysis of the database structure using the data delivered by ARMA in its original format. Data was made available for the TerraSAR_Agri project financed by the Polish Ministry of Science and Higher Education. In the second step a database of agricultural parcels was created in the form of topologically consistent polygons in ESRI's shape format, after adjustment of cadastral borders to the field limits visible on processed satellite images Landsat 5/TM and TerraSAR-X. In the next step the database of parcels was connected to the database of applications where information about the use of the parcel and maybe also plant species is entered. This operation focused on finding the answer to the question: Is it possible to create a database of the spectral signatures of crops and other agricultural uses nearly automatically using this approach? The results achieved in this work show that the creation of a database of spectral signatures from the official ARMA's database for CwRS control is possible, however the present structure for the collection and management of geometric and attribute data make this procedure laborious and time consuming.

dr hab. inż. Marek Mróz, prof. UWM
telefon: +48 609125816
fax: +48 89 5233210

mgr inż. Magdalena Mleczko
magdalena.mleczko@uwm.edu.pl

* wersja kolorowa artykułu jest dostępna na stronie <http://www.sgp.geodezja.org.pl/pftfit>

**METODYKA OCENY STANU ŚRODOWISKA PRZYRODNICZEGO
OBSZARÓW PRAWNIE CHRONIONYCH W POLSCE W OPARCIU
O ZINTEGROWANE DANE TELEDETEKCYJNE I KLIMATYCZNE**

**THE METHODOLOGY OF ASSESSMENT OF THE ENVIRONMENTAL
CONDITIONS IN PROTECTED AREAS IN POLAND BASED
ON INTEGRATED REMOTE SENSING AND CLIMATIC DATA**

Jan Musiał

Zakład Teledetekcji, Instytut Geodezji i Kartografii

SŁOWA KLUCZOWE: wskaźniki roślinne, NDVI, VCI, MODIS, monitoring środowiska, obszary chronione, dane klimatyczne

STRESZCZENIE: Celem opracowania jest prezentacja możliwości zastosowania obrazów satelitarnych w połączeniu z danymi klimatycznymi do badania chwilowych i długookresowych zmian zachodzących w środowisku przyrodniczym obszarów objętych ochroną prawną. Wykorzystanymi w pracy materiałami są: ośmiodniowe kompozycje obrazów satelitarnych pozyskane przez radiometr MODIS oraz autorska baza danych zawierająca informacje o wybranych elementach meteorologicznych (temperatura powietrza, opady, etc.). Długość analizowanej serii danych zawiera się w przedziale od 2000 do 2008 roku. Na podstawie zgromadzonych obrazów satelitarnych zostały wyprowadzone i skorygowane za pomocą filtru Savitzky-Golay wskaźniki roślinne NDVI oraz VCI. Uzyskane wskaźniki roślinne zostały uśrednione w ramach klas pokrycia terenu CORINE dla obszarów chronionych sieci NATURA 2000 w Polsce. Następnie łącząc ośmiodniowe wartości indeksów roślinnych z danymi klimatycznymi utworzono szeregi czasowe prezentujące przebieg tych dwóch elementów w poszczególnych latach. Obliczając współczynniki korelacji dla tego zestawu danych określono zależność fluktuacji wartości wskaźnika NDVI od warunków klimatycznych. Na wybranych przykładach potwierdzono przydatność proponowanej metody do oceny kondycji i zdolności środowiska przyrodniczego do regeneracji. Dzięki przeprowadzonym analizom, można było umiejscowić w czasie nagłe i gwałtowne zmiany zachodzące w środowisku, jak również ocenić ich skalę. Możliwości oceny długofalowych, powolnych zmian w środowisku zaprezentowano na przykładzie sukcesji roślinnej na hałdzie poeksploatacyjnej. Pojedyncze wyniki analiz opracowane dla każdego z obszarów NATURA 2000 zestawiono wyciągając ogólne wnioski na temat kondycji środowisk przyrodniczych w poszczególnych klasach pokrycia terenu.

1. WSTĘP

1.1. Monitoring i ocena środowiska przyrodniczego

Ocena stanu środowiska przyrodniczego w Polsce w świetle zachodzących w nim zmian wywołanych działalnością człowieka (zmianami pokrycia terenu, zanieczyszczeniem środowiska), zmianami klimatu, zagrożeniami naturalnymi (pożarami, porywistymi wiatrami, szkodnikami) stała się kluczową kwestią w ostatnich latach. Liczne konwencje: Berneńska (o ochronie gatunków dzikiej fauny i flory europejskiej oraz siedlisk przyrodniczych), Ramsarska (o obszarach błotno-wodnych), Konwencja o Ochronie Różnorodności Biologicznej oraz zobowiązania wprowadzone przez Unię Europejską (liczne dyrektywy: Ptasia, Siedliskowa) nakładają na Polskę obowiązek monitorowania i oceniania stanu środowiska przyrodniczego. Dzięki rzetelnej ocenie można lepiej zarządzać środowiskiem w ramach zasad zrównoważonego rozwoju oraz monitorować i prognozować zmiany zachodzące w przyrodzie. W Polsce systemem pomiarów, ocen i prognoz stanu środowiska oraz gromadzenia, przetwarzania i rozpowszechniania informacji o środowisku zajmuje się Państwowy Monitoring Środowiska. Gromadzenie danych w ramach monitorowania środowiska przyrodniczego jest procesem pracochłonnym, wymagającym zaangażowania dużej liczby specjalistów i znacznych środków finansowych. Według projektu Ministerstwa Ochrony Środowiska z roku 2006: „Prowadzenie monitoringu na obszarach NATURA 2000 będzie kosztowało około 20 000 zł rocznie dla jednego obszaru, czyli w sumie 1 520 000 zł.” Oprócz obszarów sieci NATURA 2000 istnieje wiele innych cennych przyrodniczo powierzchni i siedlisk objętych różnymi formami ochrony prawnej. Prowadzenie częstego, systematycznego monitoringu i oceny stanu środowiska przyrodniczego wszystkich obszarów wartościowych przyrodniczo za pomocą badań terenowych jest niemożliwe z powodów finansowych. Fakt ten stwarza możliwość dla zastosowania technik teledetekcyjnych, a w szczególności satelitarnych, dzięki którym proces gromadzenia danych jest o wiele mniej kosztowny, obejmuje swym zasięgiem znaczne obszary i pozwala na pozyskiwanie danych o dużej rozdzielczości czasowej. Jednakże oprócz niewątpliwych zalet dane teledetekcyjne posiadają również ograniczenia związane z samym sposobem pozyskiwania danych. Skanowanie powierzchni Ziemi ze znacznych wysokości wiąże się z potrzebą wyeliminowania wpływu atmosfery na wiązkę promieniowania elektromagnetycznego (np. rozpraszania i pochłaniania promieniowania). Również same zjawiska zachodzące w atmosferze takie jak: rozwój zachmurzenia, zamglenia, jej zapylenie wymagają odpowiedniej korekcji obrazu satelitarnego. Wszystkie te czynniki wpływają na rzetelność uzyskanych wyników i poprawność wyciągniętych wniosków, dlatego ważną kwestią podczas pracy z danymi satelitarnymi jest ich początkowa ocena pod kątem występujących na nich zakłóceń.

1.2. Zastosowanie wskaźników roślinnych do oceny stanu środowiska przyrodniczego

Proces monitoringu środowiska przyrodniczego prowadzony na podstawie danych satelitarnych bazuje głównie na wykorzystaniu wskaźników roślinnych. Indeksy wege-

tacyjne (spektralne) służą do ilościowej i jakościowej oceny stanu roślinności, a także do korekty obrazów pod względem radiometrycznym, ze względu na wpływ rzeźby terenu, atmosfery lub różnego oświetlenia (Adamczyk, Będkowski, 2005). Główna zasada ich konstrukcji jest bardzo prosta i opiera się na różnicy w odbiciu różnych długości fal elektromagnetycznych przez powierzchnię roślin (Dąbrowska-Zielińska *et al.*, 2003). Zielone części roślin absorbują energię słoneczną w zakresie promieniowania czynnego fotosyntetycznie PAR (*Photosynthetically Active Radiation*), które zawiera się w przedziale od 400÷700 nm. Chlorofil pochłania głównie promieniowanie w zakresie niebieskim (<500 nm) oraz w zakresie czerwonym (600÷700 nm), a odbija w zakresie zielonym (500÷600 nm), co powoduje, że postrzegamy rośliny w tym kolorze. Dłuższe niż 700 nm fale elektromagnetyczne są bezużyteczne z punktu widzenia syntezy nowych komórek roślinnych. Dodatkowo mogłyby one doprowadzić do przegrzania rośliny, dlatego specjalna warstwa komórek w liściach określana, jako miękisz palisadowy, posiada zdolność silnego odbijania promieniowania elektromagnetycznego z zakresu bliskiej podczerwieni.

Pokrywa roślinna jest ściśle powiązana z innymi komponentami ekosystemów, takimi jak: atmosfera, hydrosfera, pedosfera, zoosfera, stąd na jej podstawie można wnioskować o kondycji całego środowiska przyrodniczego. Śledząc przebieg wartości wskaźników roślinnych w czasie dla danego obszaru można wnioskować o pozytywnym, bądź negatywnym charakterze zmian zachodzących w jego środowisku przyrodniczym lub ich braku (Maselli, 2004). Głównym, naturalnym czynnikiem wpływającym na rozwój roślinności w skali globalnej jest przebieg warunków klimatycznych. Korelując wartości wskaźników roślinnych i wybranych parametrów klimatycznych, można wyróżnić zmiany w środowisku przyrodniczym wywołane innymi niż klimatyczne czynnikami (Xiao, Moody, 2005).

W niniejszej pracy wykorzystano dwa wskaźniki roślinne NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) i VCI (*Vegetation Condition Index*).

Wskaźnik NDVI jest prostym wskaźnikiem roślinnym, opierającym się na opisywanej wcześniej różnicy w odbiciu spektralnym zielonej roślinności w kanałach czerwonym (RED) i bliskiej podczerwieni (NIR). Wyraża się go wzorem:

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED) \quad (1)$$

Wskaźniki wprowadzone wcześniej niż NDVI, np. indeks RVI (*Ratio Vegetation Index*), odznaczały się zakresem wartości od zera do nieskończoności, co utrudniało ich porównywanie i wykorzystywanie. Określenie *Normalized Index* odnosi się do stałego zakresu wartości wskaźnika NDVI, który zawiera się w przedziale od -1 do 1. Wartości tego wskaźnika z zakresu od -1 do 0 charakteryzują tereny pozbawione pokrywy roślinnej, podczas gdy pozostałe wartości (od 0 do 1) oszacowują stan fizjologiczny roślinności, zgodnie z zasadą: im większa zawartość chlorofilu, tym większe odbicie spektralne w zakresie podczerwieni i większa absorpcja promieniowania czerwonego, co przekłada się na wysoką wartość indeksu NDVI.

Drugim wskaźnikiem roślinnym porównywanym w niniejszym opracowaniu jest wskaźnik VCI (*Vegetation Condition Index*), który wyliczany jest na podstawie szeregu wartości NDVI w danym okresie. Wyrażany jest – dla danego piksela – jako stosunek

różnicy wartości NDVI w wybranym momencie i minimalnej wartości NDVI w analizowanym okresie badawczym do różnicy wartości maksymalnej i minimalnej NDVI w analizowanym okresie badawczym (Dąbrowska-Zielińska *et al.*, 2002). Przyjmuje on wartości z zakresu od 0 do 100. Zapis matematyczny wskaźnika VCI przedstawia równanie.

$$(2) \quad VCI = 100 \cdot (NDVI - NDVI_{min}) / (NDVI_{max} - NDVI_{min})$$

Wskaźnik VCI został skonstruowany z myślą o uwypukleniu wartości ekstremalnych NDVI w analizowanym okresie badawczym. Zgodnie z zaprezentowanym równaniem (2), jeżeli wartość NDVI danego piksela w wybranym momencie analizowanego szeregu czasowego jest bliska wartości minimalnej w całym szeregu, wtedy VCI jest niskie (rzędu 0÷33). Na tej podstawie można wnosić o złych warunkach klimatycznych panujących w tym okresie (Seiler *et al.*, 2007). Jeżeli natomiast dany piksel w wybranym momencie analizowanego szeregu czasowego charakteryzuje się ponadprzeciętną wartością NDVI w porównaniu z resztą okresu, wtedy indeks VCI ma wysokie wartości (rzędu 66÷100). W pozostałych przypadkach, gdy wartość NDVI danego piksela jest zbliżona do średniej wartości tegoż piksela z całego analizowanego okresu, wtedy VCI przyjmuje wartości od 34÷65.

2. CEL PRACY

Celem niniejszej pracy było opracowanie metodologii oceny stanu środowiska przyrodniczego obszarów prawnie chronionych przy wykorzystaniu wskaźników roślinnych wyprowadzonych z obrazów satelitarnych i skorelowanych z danymi klimatycznymi. Na tej podstawie podjęto próbę scharakteryzowania kondycji poszczególnych klas pokrycia terenu CORINE w ramach wszystkich obszarów NATURA 2000 w Polsce. Wcześniej prowadzone prace o zbliżonej tematyce przyniosły zadawalające rezultaty (Senay, Elliott, 2000).

3. WYKORZYSTANE DANE

3.1. Dane klimatyczne

Bezpłatne, codzienne dane klimatyczne pochodzące z depesz synoptycznych z 140 stacji rozmieszczonych na terenie Polskie i w jej najbliższym sąsiedztwie pobrano z witryny internetowej <https://www.tutiempo.net>. Pozyskany materiał zawierał informacje o: temperaturze średniej, minimalnej, maksymalnej powietrza, opadach atmosferycznych, ciśnieniu atmosferycznym, prędkości wiatru, wilgotności powietrza, indykatorach deszczu, śniegu, burzy oraz mgły. W toku dalszych analiz wykorzystano jedynie dane o temperaturze powietrza i opadach atmosferycznych. W zależności od stacji meteorologicznej zakres czasowy uzyskanych danych zawierał się w przedziale od kilku do ponad 60 lat.

3.2. Dane satelitarne

Wykorzystane w pracy dane satelitarne pochodzą z radiometru MODIS (*Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer*) zainstalowanego na pokładzie amerykańskiego satelity Terra. Ich zasięg czasowy obejmuje lata 2000 do 2008. Sensor MODIS skanuje powierzchnię Ziemi w 36 wąskich zakresach spektralnych od 0.4 μm do 14.4 μm , z czego pierwsze dwa kanały: $b_1 = 0.62 \div 0.67 \mu\text{m}$; $b_2 = 0.841 \div 0.876 \mu\text{m}$, mają najlepszą rozdzielczość przestrzenną wynoszącą 250 m (właśnie te kanały wykorzystano w wyznaczaniu wskaźnika NDVI). Obrazy z kolejnych 5 zakresów spektralnych charakteryzują się rozdzielczością przestrzenną 500 m. Dla pozostałych 29. kanałów wielkość zarejestrowanego piksela wynosi 1 km. Szerokość skanowanego pasa terenu przez sensor MODIS wynosi 2330 km, co pozwala mu w zależności od szerokości geograficznej, na pokrycie danego obszaru co jeden lub dwa dni. Sensor MODIS jest również zainstalowany na pokładzie satelity AQUA, który został głównie zaprojektowany do badania globalnego cyklu obiegu wody w przyrodzie. Wyposażenie dwóch satelitów w ten sam instrument pozwala na zwiększenie rozdzielczości czasowej otrzymywanych obrazów do jednego dnia.

Na podstawie dziennych obrazów satelitarnych tworzone są ośmiodniowe kompozycje poszczególnych kanałów spektralnych, które w wyniku przetworzeń są skorygowane o zakłócenia atmosferyczne (Vermote *et al.*, 2002) i błędy geometrii zobrazowania. Dodatkowo oprócz samych scen satelitarnych dołączany jest obraz *Quality Check*, który zawiera informację o jakości danych dla każdego piksela zapisaną w postaci bitowej. Dzięki tej informacji można ustalić czy dany piksel był zachmurzony, pokryty śniegiem, czy sąsiadował z chmurą, itp. Pozwala to w toku dalszych analiz na wyeliminowanie pikseli, które mają zafałszowane wartości związane ze wspomnianymi czynnikami.

Darmowe dane zarejestrowane przez sensor MODIS dostępne są na stronie internetowej: <https://wist.echo.nasa.gov>.

3.3. Pozostałe dane wykorzystane w opracowaniu

Do przeprowadzenia analiz wykorzystano ponadto następujące dane:

- Baza CORINE LAND COVER 2000, która posłużyła do wyznaczenia klas pokrycia terenu w ramach obszarów NATURA 2000 (<http://www.eea.europa.eu/themes/landuse/clc-download>);
- Numeryczny model rzeźby terenu SRTM30, który uwzględniono podczas interpolacji temperatury powietrza (<http://srtm.usgs.gov/index.php>);
- Warstwy wektorowe przedstawiające granice obszarów sieci NATURA 2000 (materiały Ministerstwa Ochrony Środowiska).

4. METODY

4.1. Przetwarzanie danych klimatycznych

Dane klimatyczne pobrano z witryny <https://www.tutiempo.net> za pomocą programu do archiwizacji stron html. Następnie ściągnięte strony html przetworzono do pliku

tekstowego .txt. Za pomocą opracowanego skryptu w języku programowania Python, przekształcono pliki tekstowe na formę tabelaryczną i zapisano w formacie .dbf. Wszystkie tabele zaimportowano do środowiska ArcGIS w postaci bazy danych Access i utworzono warstwę geometryczną zawierającą lokalizację wszystkich stacji meteorologicznych. Następnie za pomocą kolejnych skryptów uśredniono dane dzienne do ośmiodniowych, tak aby pokrywały się przedziałami czasowymi z ośmiodniowym kompozycjami skanera MODIS. Ostatecznie opracowano skrypt, który jednocześnie połączył część opisową bazy danych (tabele klimatyczne) z częścią geometryczną (warstwa ze stacjami meteorologicznymi) i wyinterpolował w siatce 5x5 km ośmiodniowe obrazy zawierające informacje o średnich temperaturach i sumie opadów. Do interpolacji temperatury wykorzystano metodę (Dodson, Marks, 1997), która polega na redukcji temperatury rzeczywistej do poziomu morza zgodnie z gradientem wilgotnoadiabaticznym ($0.6^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$). Następnie dokonuje się interpolacji uzyskanej temperatury przy użyciu krugingu uniwersalnego i ostatecznie na sprowadzeniu wyinterpolowanych wartości temperatury na poziom rzeczywisty ponownie uwzględniając gradient wilgotnoadiabaticzny. Do interpolacji ośmiodniowych sum opadów atmosferycznych użyto metody wieloboków Thiessena. Wybór wspomnianych metod był podyktowany potrzebą szybkiej i efektywnej interpolacji całego zestawu danych klimatycznych (ponad 400 warstw wektorowych), dla wszystkich wybranych parametrów meteorologicznych.

4.2. Przetwarzanie danych satelitarnych

W oprogramowaniu ENVI 4.5 zintegrowanym ze środowiskiem programistycznym IDL 7.0 przeprowadzono cały cykl przetwarzania danych pozyskanych przez sensor MODIS. Z uwagi na bardzo dużą ilość obrazów wejściowych wymagających automatycznego przetwarzania według określonego wzorca, prawie wszystkie operacje były wykonywane za pomocą skryptów zapisanych w środowisku IDL 7.0. Pozwalały one na zapętlenie określonych funkcji programu ENVI 4.5, poprzez automatyczne zmienianie parametrów tych funkcji takich jak np. pliki wejściowe i wyjściowe.

W pierwszym etapie przygotowywania danych, zmozaikowano cztery sceny zawierające odbicie spektralne w pierwszych dwóch kanałach b1 ($0.62\div 0.67\ \mu\text{m}$) i b2 ($0.841\div 0.876\ \mu\text{m}$) oraz obraz *Quality Check* zawierający informacje na temat jakości poszczególnych pikseli dla każdej oktady w analizowanych 9 latach. Kolejnym krokiem było uzyskanie informacji o zachmurzeniu, pokrywie śnieżnej i pikselach zakwalifikowanych jako niepewne, które zapisane były w formie bitowej w obrazie *Reflectance Band Quality*. Zapis wielu atrybutów danego piksela w tego rodzaju obrazie polega na tym, iż poszczególne informacje przypisane są do określonych numerowanych bitów. Dzięki temu kombinacja zer i jedynek na danej pozycji bitowej określa pewien unikalny atrybut piksela. Ten sposób rejestracji danych pozwala na zapisanie wszystkich atrybutów danego piksela w postaci pojedynczej wartości liczbowej. Z wektorowej bazy CORINE 2000 utworzono rastrową maskę wód powierzchniowych o rozdzielczości przestrzennej 250 m.

Na podstawie uprzednio przygotowanych obrazów satelitarnych zawierających odbicie spektralne w pierwszych dwóch kanałach obliczono wskaźnik NDVI i usunięto

zachmurzenie, pokrywą śnieżną, wody powierzchniowe i obszary zakwalifikowane jako niepewne. Następnie przebiegi wartości NDVI w poszczególnych latach zostały wygładzone za pomocą filtru Savitzky-Golay przy wykorzystaniu opracowanego w języku programowania R skryptu (Bojanowski *et al.*, 2009). Ostatecznie na podstawie skorygowanych obrazów NDVI obliczono wskaźnik VCI.

4.3. Tworzenie klas pokrycia terenu dla obszarów chronionych

W celu uśrednienia wartości wskaźników NDVI i VCI oraz danych klimatycznych zostały utworzone maski rastrowe poszczególnych klas pokrycia terenu w ramach obszarów NATURA 2000 (OSO – Obszary Specjalnej Ochrony ptaków i SOO – Specjalne Obszary Ochrony siedlisk). Warstwy z obszarami NATURA 2000 przecięto z bazą CORINE 2000, a następnie z warstwą prezentującą przestrzenny rozkład pikseli obrazów MODIS. Z wynikowej warstwy wybrano piksele homogeniczne, w których dana klasa pokrycia CORINE stanowiła ponad 90% powierzchni piksela. Operacja ta miała na celu wyeliminowanie pikseli składających się z mozaiki klas pokrycia terenu, których wartość wskaźnika NDVI w znaczący sposób odbiegałaby od średniej wartości tegoż wskaźnika w danej klasie. Każdej klasie pokrycia terenu w poszczególnych obszarach NATURA 2000 nadano unikatowy identyfikator tak, aby w toku dalszych analiz określone wyniki można było przypisać konkretnemu obszarowi.

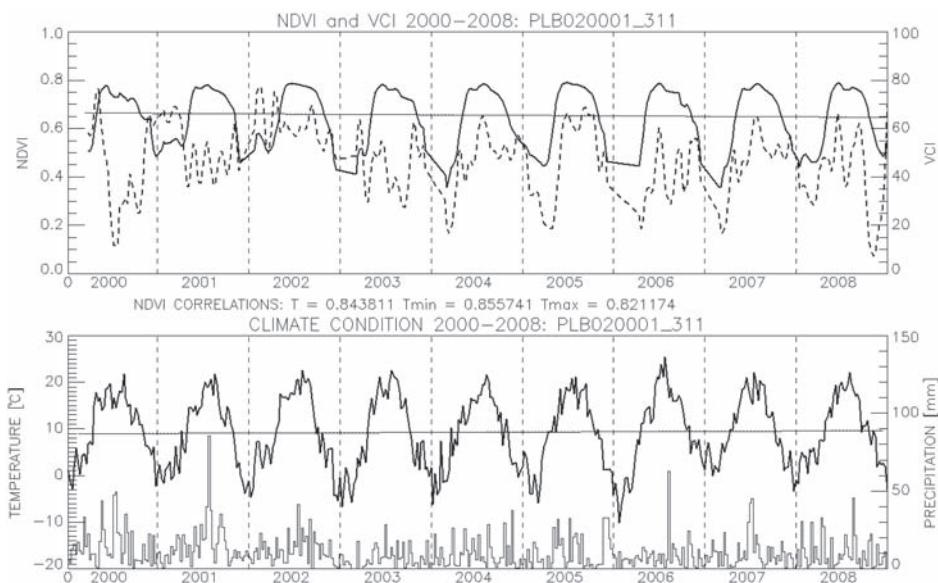
4.4. Zestawienie wskaźników roślinnych i danych klimatycznych

W ramach utworzonych klas pokrycia terenu dla obszarów chronionych uśredniono wartości wskaźników roślinnych oraz parametrów klimatycznych i wygenerowano tabele zbiorcze dla całego badanego wielolecia. Następnie wyliczono korelacje pomiędzy wskaźnikami roślinnymi a parametrami klimatycznymi, wyznaczono trendy dla poszczególnych zbiorów danych oraz zaprezentowano uzyskane wyniki w formie graficznej na wykresie. W celu prowadzenia dalszych analiz wyliczone parametry zostały zapisane w jednej wynikowej tabeli.

5. ANALIZA UZYSKANYCH WYNIKÓW

W wyniku przeprowadzonych przetworzeń dla każdej klasy pokrycia terenu znajdującej się w danym obszarze NATURA 2000 można przeprowadzić analizę przebiegu wartości wskaźników roślinnych oraz warunków klimatycznych. Przykładowa analiza zestawu danych została przedstawiona na Rys. 1. Prezentuje ona na górnym wykresie przebieg wartości wskaźników roślinnych (NDVI – linia ciągła, VCI – linia przerywana). Pomiedzy wykresami zamieszczono obliczone korelacje między danymi klimatycznymi a wskaźnikiem NDVI. Dolny wykres przedstawia zaś przebieg warunków klimatycznych w badanym wieloleciu. W tytułach wykresów umieszczono informację na temat kodu

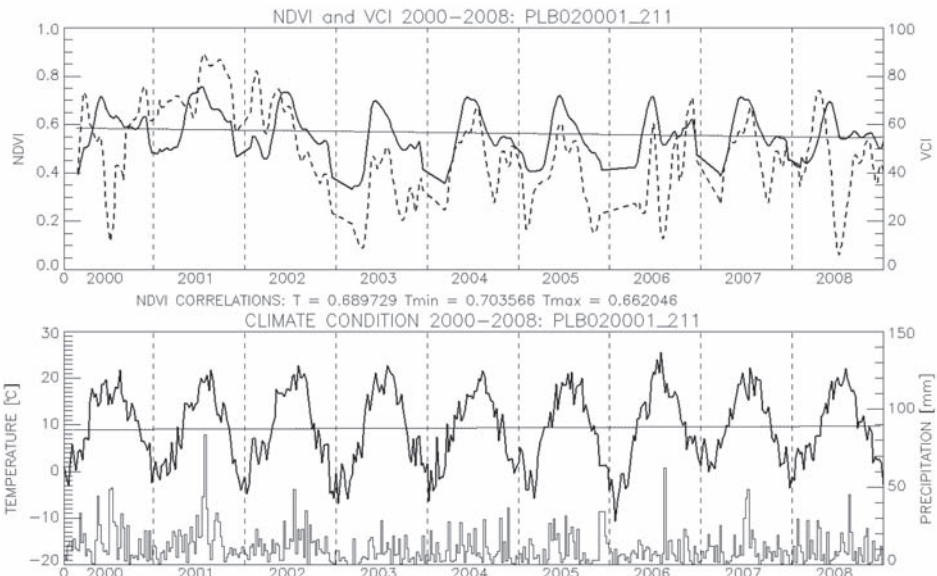
obszaru NATURA 2000 (PLB020001) oraz klasy pokrycia terenu CORINE (311). Na tej podstawie można określić, iż prezentowany wykres dotyczy obszaru „Dolina Baryczy” pokrytego lasem liściastym. Analizując linię trendu wskaźnika NDVI i jej nachylenie względem osi odciętych, można wnioskować, że na tym obszarze w lasach liściastych nie zaszły widoczne zmiany. Wysoka korelacja wskaźnika NDVI z danymi klimatycznymi wskazuje na duży udział roślinności naturalnej, której rozwój w ciągu roku nie był zaburzony przez inne czynniki (np. antropogeniczne). Śledząc przebieg wskaźnika VCI można zaobserwować, iż najbardziej sprzyjającym dla rozwoju roślinności w lesie liściastym był rok 2002, kiedy to sezon wegetacyjny, ze średnią temperaturą powietrza przekraczającą 5°C, rozpoczął się wyjątkowo wcześnie, a rozkład opadów w ciągu roku był dość równomierny.



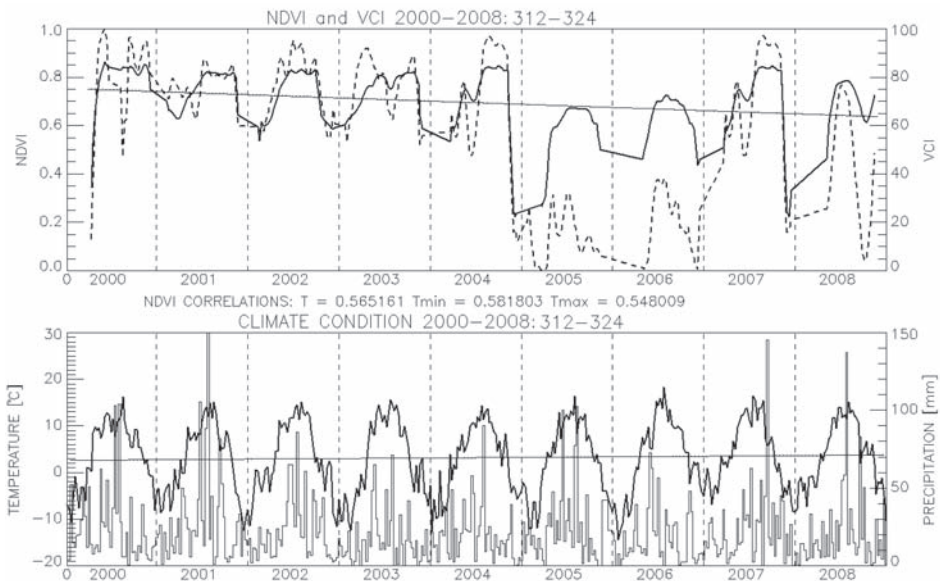
Rys. 1. Zestaw wskaźników roślinnych i danych klimatycznych dla klasy lasów liściastych na obszarze NATURA 2000 „Dolina Baryczy”.

Podobną analizę przeprowadzono dla klasy pól uprawnych w tym samym obszarze NATURA 2000 (Rys. 2). Przebieg wartości NDVI w tej klasie jest ostrzejszy w porównaniu z przebiegiem tegoż wskaźnika w klasie lasów liściastych. Ponadto korelacja wskaźnika NDVI z danymi klimatycznymi jest mniejsza, co wynika z większego wpływu czynnika antropogenicznego na rozwój roślinności w tej klasie.

Kolejny zestaw danych prezentuje nagłą zmianę w środowisku przyrodniczym, która związana była z wycinką lasu iglastego (Rys. 3). Śledząc przebieg wartości wskaźników roślinnych można łatwo zauważyć drastyczny ich spadek w roku 2005, co znalazło



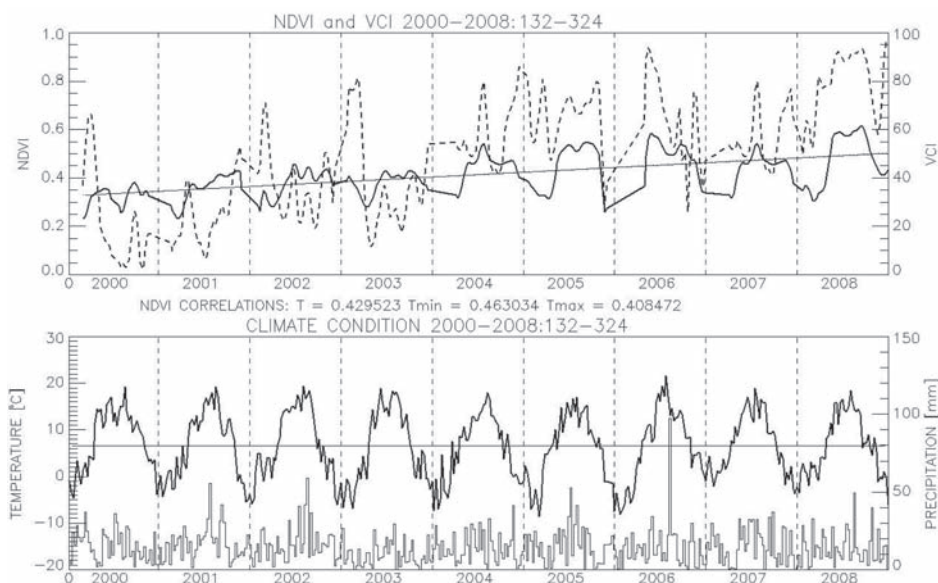
Rys. 2. Zestaw wskaźników roślinnych i danych klimatycznych dla klasy pól uprawnych na obszarze NATURA 2000 „Dolina Baryczy”.



Rys. 3. Zestaw wskaźników roślinnych i danych klimatycznych dla obszaru przecinki w lesie iglastym.

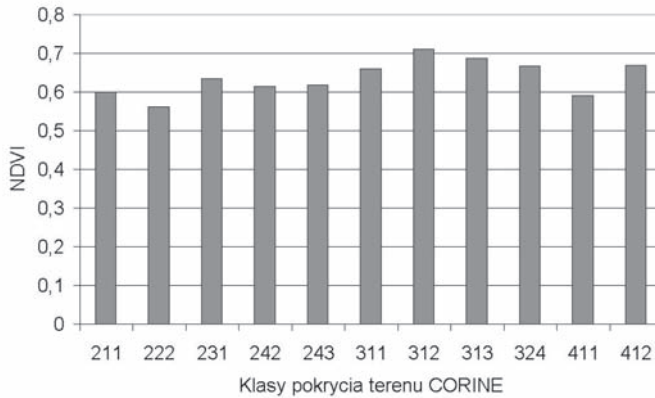
swoje odzwierciedlenie w znacznym spadku linii trendu wskaźnika NDVI. Na podstawie tego typu analizy można z łatwością ustalić, kiedy zaszła znacząca zmiana w środowisku przyrodniczym, w jakim stopniu na nie wpłynęła i jak szybko środowisko zdążyło się po niej zregenerować.

Tempo i możliwości powrotu zdegradowanego środowiska przyrodniczego do stanu pierwotnego na tle zachodzących w Polsce transformacji przemysłowych i wprowadzenia „czystych technologii” stało się tematem wielu prac badawczych (Kostuch, Twardy, 2006). Również aplikacja opisywanej metody oceny stanu środowiska przyrodniczego na podstawie wskaźników roślinnych przynosi zadawalające rezultaty. Jej zastosowanie ilustruje (Rys. 4), na którym przedstawiono sukcesję roślinną zachodzącą na hałdzie przemysłowej na terenie Górnego Śląska i związany z nią systematyczny wzrost wskaźników roślinnych. Wartość współczynnika nachylenia linii trendu wskaźnika NDVI względem osi odciętych, pozwala w prosty sposób liczbowo ująć tempo sukcesji roślinnej i porównać ze sobą różne obszary, na których to zjawisko ma miejsce.



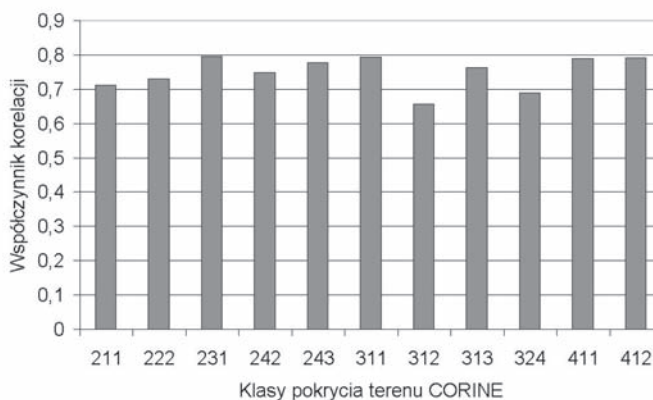
Rys. 4. Zestaw wskaźników roślinnych i danych klimatycznych dla obszaru hałdy poeksploatacyjnej.

Pojedyncze wyniki obliczeń dla poszczególnych obszarów NATURA 2000 zestawiono razem w celu wyciągnięcia ogólnych wniosków dotyczących przebiegu wartości wskaźnika NDVI w różnych klasach pokrycia terenu w skali całej Polski. Najwyższe, średnie wartości tego wskaźnika (Rys. 5) związane są z roślinnością charakteryzującą się dużą zasobnością w biomase, tj. z klasami leśnymi (3.1.1; 3.1.2; 3.1.3; 3.2.4) oraz z torfowiskami (4.1.2).



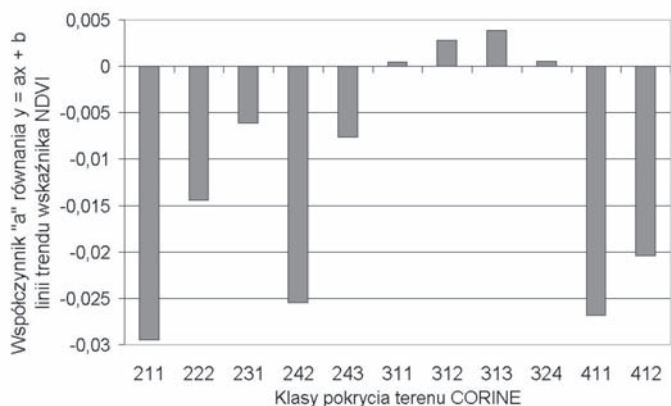
Rys. 5. Średnie wartości wskaźnika NDVI w klasach pokrycia terenu CORINE na obszarach NATURA 2000 w Polsce.

Zmienność NDVI na obszarze pokrytym roślinnością naturalną wykazuje większą korelację z warunkami klimatycznymi niż na terenach intensywnie użytkowanych przez człowieka (Rys. 6). Prawidłowość ta potwierdza tezę, iż integracja wskaźników roślinnych z danymi klimatycznymi pozwala na wyróżnienie zmian w środowisku zachodzących w wyniku działania czynników zewnętrznych. Jedynie klasy pokrycia terenu związane z roślinnością iglastą wykazują stosunkowo niską korelację z warunkami klimatycznymi, co spowodowane jest całoroczną, zieloną barwą igieł i związaną z nią niewielką fluktuacją wartości wskaźnika NDVI w ciągu roku.



Rys. 6. Współczynnik korelacji wskaźnika NDVI z temperaturą minimalną powietrza w klasach pokrycia terenu CORINE na obszarach NATURA 2000 w Polsce.

Wielkość i rodzaj zachodzących zmian w środowisku przyrodniczym poszczególnych klas pokrycia terenu obszarów NATURA 2000 w skali całej Polski, można ocenić ilościowo na podstawie nachylenia linii trendu wskaźnika NDVI względem osi odciętych (Rys. 7). Rozpatrując jego wartość łatwo zauważyć, iż w prawie wszystkich klasach pokrycia terenu nastąpił spadek wartości wskaźnika NDVI w ciągu badanego wielolecia. Największe spadki odnotowały klasy najbardziej podatne na niedobory wody związane z rolnictwem i obszarami podmokłymi. Fakt ten potwierdza negatywny wpływ coraz częściej występujących susz (lata: 2003, 2006, 2008) na środowisko przyrodnicze Polski.



Rys. 7. Współczynnik nachylenia linii trendu wskaźnika NDVI względem osi odciętych w klasach pokrycia terenu CORINE na obszarach NATURA 2000 w Polsce.

6. PODSUMOWANIE

Proponowana metodyka oceny stanu środowiska przyrodniczego obszarów prawnie chronionych w Polsce w oparciu o zintegrowane dane satelitarne i klimatyczne w świetle zaprezentowanych w opracowaniu kilku przykładowych zastosowań, przyniosła zadowalające rezultaty. Na jej podstawie, analizując nachylenie linii trendu wskaźnika NDVI i wspierając się danymi klimatycznymi, można wnioskować o rodzaju i tempie zmian zachodzących w środowisku przyrodniczym. Ponadto śledząc przebieg wartości wskaźników roślinnych w badanym wieloleciu, można dokładnie umiejscowić w czasie nagłe i gwałtowne zmiany, jak również ocenić ich skalę i zdolność środowiska do regeneracji. Uzyskaną w ten sposób wiedzę można wykorzystać do efektywniejszego zarządzania środowiskiem i odpowiedniej alokacji środków finansowych i osobowych na obszarach, które poddane są największej presji i zmianom.

Dużą zaletą proponowanej metodyki jest fakt, iż wszystkie wykorzystane w niej materiały są dostępne nieodpłatnie w Internecie. Oprócz tego zmuszone obliczeniowo prze-

tworzenia całego zestawu danych dla badanego wielolecia wykonuje się tylko raz, po czym przetwarza się jedynie dane z bieżącego roku. Wszystkie przeprowadzane operacje zostały zautomatyzowane poprzez opracowanie skryptów w językach programowania Python i IDL. Pozwala to na wykonanie całego łańcucha przetworzeń przez osobę bez odpowiedniej wiedzy merytorycznej, jedynie podając podstawowe parametry (lokalizację plików wejściowych i wyjściowych).

Należy również zaznaczyć, iż opisana metodyka może zostać zastosowana dla dowolnego obszaru o powierzchni przekraczającej 6.25 ha (250 x 250 m), co pozwala badać przebieg wartości wskaźników roślinnych w wieloleciu dla pojedynczych kompleksów leśnych, łąk, torfowisk, itp. Informacje uzyskane na tej podstawie nie zastąpią wyników badań terenowych, lecz mogą korzystnie wpłynąć na ich odpowiednie przygotowanie i zaplanowanie.

Niniejsza publikacja nie kończy prac związanych z rozwojem proponowanej metodyki. W najbliższym czasie autor, znając ograniczenia jakie niosą ze sobą wskaźniki NDVI i VCI (Van Leeuwen *et al.*, 2006), planuje poszerzyć gamę wykorzystanych wskaźników roślinnych i przetworzyć dane satelitarne pozyskane przez inny sensor.

7. LITERATURA

Adamczyk J., Będkowski K., 2005. *Metody Cyfrowe w Teledetekcji*. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.

Bojanowski J., Kowalik W., Bochenek Z., 2009. Noise reduction of NDVI timeseries: a robust method based on Savitzky-Golay filter. *Annals of Geomatics*, Vol. 7, s. 13-21.

Dąbrowska-Zielińska K., Kogan F., Ciołkosz A., Gruszczyńska M., Kowalik W., 2002. Regional vegetation mapping and direct land surface parameterization from remotely sensed and site data. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 23, s. 1109-1125.

Dodson R., Marks R., 1997. Daily air temperature interpolated at high spatial resolution over a large mountainous region. *Climate Research*, Vol. 8, s. 1-20.

Kostuch R., Twardy S., 2006. Roślinność zasiedlająca hutnicze wysypiska wielkopieczowe Nowej Huty. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu*, Vol. 545, s. 1-10.

Maselli F., 2004. Monitoring forest conditions in a protected Mediterranean coastal area by the analysis of multiyear NDVI data. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 89, s. 423-433.

Seiler R., Kogan F., Guo Wei, Vinocur M., 2007. Seasonal and interannual responses of the vegetation and production of crops in Cordoba – Argentina assessed by AVHRR derived vegetation indices. *Advances in Space Research*, Vol. 39, s. 88-94.

Senay G., Elliott R., 2000. Combining AVHRR-NDVI and landuse data to describe temporal and spatial dynamics of vegetation. *Forest Ecology and Management*, Vol. 128, s. 83-91.

Van Leeuwen W., Orr B., Marsh S., Herrmann S., 2006. Multi-sensor NDVI data continuity: Uncertainties and implications for vegetation monitoring applications. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 100, s. 67–81.

Vermote E. F., El Saleous N. Z., Justice C. O., 2002. Atmospheric correction of MODIS data in the visible to middle infrared: First results. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 83, s. 97–111.

Xiao J., Moody A., 2005. Geographic distribution of global greening trends and their climatic correlates: 1982 to 1998. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 26, s. 2371–2390.

THE METHODOLOGY OF ASSESSMENT OF THE ENVIRONMENTAL CONDITIONS IN PROTECTED AREAS IN POLAND BASED ON INTEGRATED REMOTE SENSING AND CLIMATIC DATA

KEY WORDS: vegetation indices, NDVI, VCI, MODIS, environmental monitoring, protected areas, climatic data

SUMMARY: This work is intended to present the potential for using satellite images in combination with climatic data in order to analyse rapid and long-term changes occurring in the environments of protected areas. The materials used were 8 day compositions of MODIS satellite images and the author's database of selected climatic data (i.e. air temperatures, precipitation). The data analysed covers the period 2000 to 2008. Vegetation indices (NDVI and VCI) derived from satellite data were smoothed and corrected with the Savitzky-Golay filter in order to reduce noise in the signal. The indices so calculated were averaged within the CORINE land cover classes for protected areas within the NATURA 2000 network in Poland. Then time series were created, presenting the inter-annual and long-term diversity of the 8-day values of the vegetation indices and climatic data values. Correlation coefficients were calculated for those datasets in order to examine dependency between the NVDI vegetation indices and climatic conditions. Selected environmental examples proved the usefulness of the proposed methodology in the assessment of environmental conditions and their capacity to recover from degradation. The results of the analyses enabled the researchers to identify the timing of severe and rapid changes in the environment and to evaluate their scale. The opportunities for assessing long-term changes were shown using the example of vegetation development on post-industrial tips. Individual results for particular protected areas were combined and some general conclusions were drawn.

mgr Jan Musiał
jmusial@o2.pl
telefon: +48 606932123

**GOOGLE MAPS, YAHOO MAPS, MICROSOFT VIRTUAL EARTH
I GOOGLE EARTH JAKO NARZĘDZIA DO MONITOROWANIA
RUCHU STATKÓW ŚLEDZONYCH W SYSTEMIE AIS***

**GOOGLE MAPS, YAHOO MAPS, MICROSOFT VIRTUAL EARTH
AND GOOGLE EARTH AS TOOLS FOR MONITORING THE AIS SYSTEM
FOR RECORDING VESSEL TRAFFIC**

Krzysztof Naus

Instytut Nawigacji i Hydrografii Morskiej, Akademia Marynarki Wojennej

SŁOWA KLUCZOWE: Google Maps, Yahoo Maps, Virtual Earth, Google Earth, AIS, ruch statków, internetowe monitorowanie ruchu statków

STRESZCZENIE: W pierwszej części artykułu zaprezentowano budowę i zasadę działania Systemu Automatycznej Identyfikacji Statków (AIS). Omówiono ogólnie akty prawne nakazujące wyposażanie statków w urządzenia nadawczo-odbiorcze pracujące w AIS. Część zasadnicza zawiera opis techniczny autorskiego internetowego systemu monitorowania obrazu ruchu statków śledzonych w systemie AIS bazującego na serwisach Google Maps, Yahoo Maps, Microsoft Virtual Earth i Google Earth. Ukazano w nim architekturę techniczną systemu oraz proces przetwarzania i przesyłania danych AIS do klienta internetowego. W części końcowej zaprezentowano podobne rozwiązania, funkcjonujące na świecie oraz korzyści płynące dla gospodarki morskiej po zastosowaniu rozwiązania.

1. WSTĘP

Rozwój nawigacji morskiej zawsze był powiązany z rozwojem dostępnej dla człowieka technologii, świetnym tego przykładem może być chociażby kompas, nawigacja satelitarna, ECDIS, czy w ostatnich latach systemy AIS i LRIT (ang. *Long Range Identification and Tracking*). Obecnie można dostrzec, że do nawigacji morskiej przenikają technologie internetowe związane z tzw. „*Web mappingiem*”, który określany jest jako rodzaj prezentacji map w Internecie, tworzony z naciskiem na wizualizację. Wizualizacja

map w sieci coraz częściej realizowana jest nie tylko w oparciu o statyczne dane geograficzne, ale również dynamiczne obrazujące ruch statków. Do monitorowania ruchu statków wykorzystywane są serwisy mapowe prowadzone przez takie firmy jak: Google, Yahoo, Microsoft. Kierując się powyższymi przesłankami podjęto próbę opracowania i oceny rozwiązania technicznego służącego do monitorowania ruchu statków śledzonych w systemie AIS bazującego na serwisach Google Maps, Yahoo Maps, Microsoft Virtual Earth i Google Earth.

2. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA SYSTEMU AIS

AIS (ang. *Automatic Identification System*) jest systemem do automatycznej wymiany danych identyfikacyjnych statków (statycznych i dynamicznych) oraz istotnych dla bezpieczeństwa żegluga w relacjach: statek – statek oraz statek – stacja brzegowa – statek (ITU, 2001).

Dane statyczne to:

- numer MMSI (ang. *Maritime Mobile Service Identity*),
- numer oficjalny (IMO) statku,
- sygnał wywoławczy i nazwa statku,
- długość i szerokość statku,
- typ statku,
- położenie anteny odbiornika radionawigacyjnego określającego pozycję i parametry ruchu statku, podłączonego do AIS (określone w stosunku do kadłuba statku).

Dane dynamiczne to:

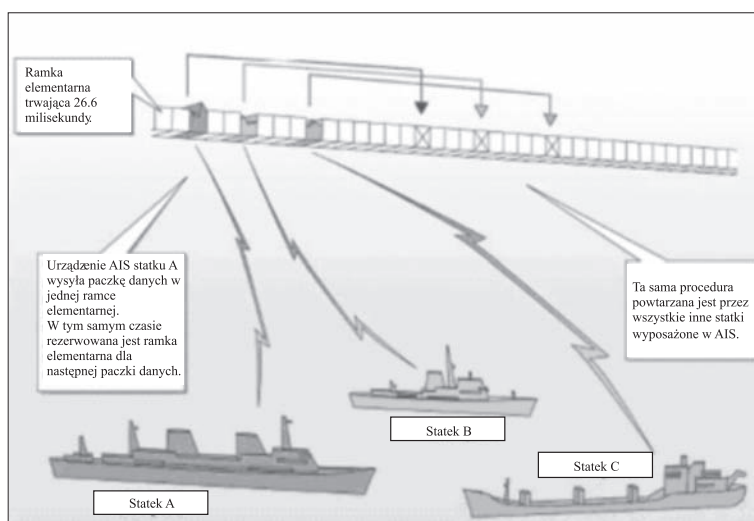
- współrzędne pozycji statku określone statkowym urządzeniem radionawigacyjnym podłączonym do AIS,
- czas UTC (ang. *Universal Time Coordinated*),
- kąt drogi nad dnem i prędkość nad dnem,
- kurs rzeczywisty,
- status nawigacyjny określony zgodnie z postanowieniami Międzynarodowych Przepisów o Zapobieganiu Zderzeniom na Morzu (np. nie odpowiadający za swoje ruchy, na kotwicy itp.),
- prędkość kątowna zwrotu,
- stały kąt przechyłu boczny i aktualne wartości kątów przechyłów wzdłużnych i poprzecznych (opcjonalnie),
- zanurzenie statku,
- wymagane przez administrację morską lub władze portowe informacje o przewożonych ładunkach niebezpiecznych,
- port docelowy i przewidywany czas przybycia do tego portu,
- planowana trasa przejścia (opcjonalnie).

Dane dotyczące bezpieczeństwa żegluga wysyłane w formie krótkich depech tekstowych (zawierających do 121 znaków).

System AIS pokrywa swym zasięgiem przybrzeżne akweny morskie, w których odbywa się ruch statków. Pracuje w paśmie częstotliwości VHF (około 162 MHz), a więc jego zasięg działania jest zasięgiem horyzontalnym. Każde urządzenie AIS nadaje dane z wykorzystaniem techniki zwielokrotnionego czasowego przydziału kanału TDMA (ang. *Time Division Multiple Access*). Czas nadawania podzielony jest na ramki czasowe (ang. *Time frames*). Pojedyncza ramka trwa jedną minutę. Każda ramka czasowa podzielona jest na 2250 ramek elementarnych (ang. *Time slots*) o równej długości. Jedna ramka elementarna umożliwia przesłanie 256 bitów danych. Wyróżnia się cztery stany ramek elementarnych:

- wolna (ramka jest ogólnie dostępna dla wszystkich urządzeń AIS),
- przydziału własnego (ramka jest przydzielona do własnych transmisji i może być używana),
- przydziału zewnętrznego (ramka jest przydzielona do transmisji innemu urządzeniu AIS i nie może być używana),
- dostęp (ramka przydzielona jest do retransmisji danych znacznie oddalonego urządzenia AIS).

Ideę sposobu przesyłania danych w systemie AIS ilustruje Rys. 1.



Rys. 1. Przesyłanie danych w systemie AIS.

Wszystkie statki i stacje brzegowe znajdujące się w zasięgu systemu i wyposażone w urządzenie AIS automatycznie otrzymują dane od każdego statku. Na każdym statku wprowadzane są dane do własnego urządzenia AIS, które je koduje i przesyła do innych użytkowników systemu w postaci krótkich pakietów danych. Dane te odbierane są przez inne statki i stacje brzegowe, gdzie po odkodowaniu zamieniane są na użyteczną informację.

Zgodnie z rezolucją MSC 74 (69) Komitetu Bezpieczeństwa na Morzu, Międzynarodowej Organizacji Morskiej i poprawkami w Rozdziale V konwencji SOLAS, z 13 grudnia 2002 r. urządzenia AIS muszą posiadać wszystkie statki pasażerskie i tankowce oraz inne statki o tonażu powyżej 300 BRT (tona rejestrowa brutto) (IMO, 2002a, 2002b).

Harmonogram wyposażania statków pod polską banderą w urządzenia AIS określony został przez Ministra Infrastruktury w Dz. U. nr 103 poz. 1086 z dnia 1 maja 2004 r. „w sprawie harmonogramu wyposażania statków w System Automatycznej Identyfikacji”. Zgodnie z zapisami tej ustawy (Ministerstwo Infrastruktury, 2004):

- 1) Statki o pojemności brutto 300 i powyżej podlegają wymaganiom wyposażenia w System Automatycznej Identyfikacji (AIS).
- 2) Zwalnia się od obowiązku wyposażania w Automatyczny System Identyfikacji (AIS) statki pasażerskie o pojemności brutto poniżej 300, odbywające podróże w żegludze krajowej.

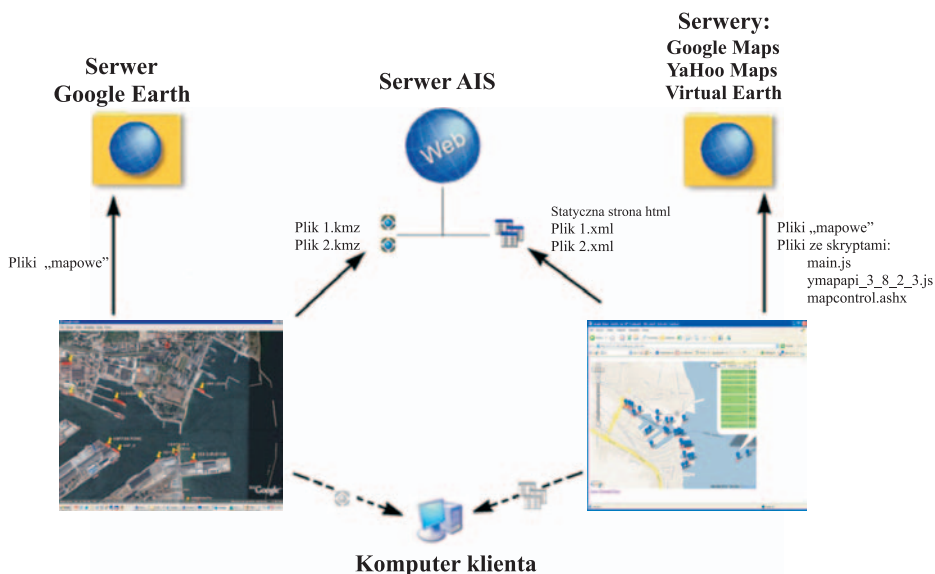
3. CHARAKTERYSTYKA OPRACOWANEGO SYSTEMU MONITOROWANIA OBRAZU RUCHU STATKÓW

Opracowany system jest typowym Systemem Informacji Geograficznej (GIS) opartym na tzw. sieciowych usługach geoinformatycznych. Składa się on z odbiornika systemu AIS (Saab R4S), aplikacji komputerowych (Systemu Zarządzania Bazą Danych AIS, serwera HTTP) oraz aplikacji Google Earth i przeglądarki internetowej, np. Microsoft Internet Explorer dla technologii Google Maps, Yahoo Maps, Microsoft Virtual Earth i komputerów klasy PC. Komunikacja pomiędzy odbiornikiem AIS i Systemem Zarządzania Bazą Danych odbywa się za pomocą standardu NMEA z wykorzystaniem łącza szeregowego RS-422/232C, natomiast komunikacja pomiędzy pozostałymi elementami systemu za pomocą serwera HTTP. Serwer na żądanie klienta dostarcza w przypadku Google Earth plik typu kmz i w przypadku Google Maps, Yahoo Maps, Microsoft Virtual Earth plik typu xml z aktualnymi danymi, zaczerpniętymi z bazy danych AIS. Aplikacja Google Earth i przeglądarka internetowa odbierają pliki z serwera, a następnie na ich podstawie budują i zobrazowują interaktywną warstwę mapową z naniesionymi symbolami jednostek pływających.

System ma architekturę trójwarstwowej internetowej rozproszonej bazy danych (Rys. 2). Pierwszą warstwę klienta stanowią komputery podłączone do Internetu, przeglądarki internetowe i aplikacje desktopowe. Drugą – środkową serwery HTTP. Trzecią – bazodanową Systemy Zarządzania Bazą Danych, pliki bazy danych (typu kmz, xml oraz mapowe), pliki ze skryptami, statyczne strony WWW.

System Zarządzania Bazą Danych AIS odbiera depesze NMEA O183 zakodowane zgodnie z ITU-R M.1371 przesyłane przez transponder Saab R4S, a następnie konwertuje je do plików typu kmz i xml (Rys. 3). Proces konwersji można podzielić na trzy etapy (ITU, 2001):

- przekształcania łańcuchów znakowych w łańcuchy binarne, które je reprezentują,

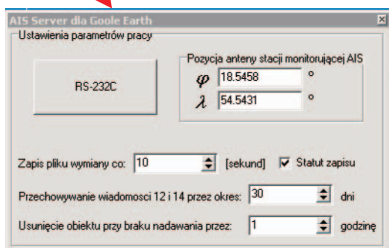


Rys. 2. Architektura techniczna systemu (Naus, 2007).

Transponder AIS (Saab R4S)



RS – 422/232C



NMEA 0183/ITU 1371

```
!AIVDM,1,1,,A,33TK@5000QEID007NH==8780000,0*7C
!AIVDO,1,1,,,11mg=5@P011DqD4O=KH6OOw80000,0*0A
!AIVDM,1,1,,B,138Qw0?P001EJgTO7KkP0?w405JL,0*2C
```

KML/KMZ

```
<table width = "300" border="1" lang="pl" cellpadding="1" cellspacing="1">
<tr><th align="center" valign="middle" colspan="4"><b>Wiadomosci
adresowane</b></th></tr><tr><td bgcolor="#FFFF66" align="center"
valign="middle"><b>Data i czas nadania</b></td><td
bgcolor="#FFFF66" align="center" valign="middle"><b>Nazwa
nadawcy</b></td><td bgcolor="#FFFF66" align="center"
valign="middle"><b>Nr MMSI nadawcy</b></td><td
bgcolor="#FFFF66" align="center" valign="middle"><b>Trese wiadomo-
sci</b></td></tr>
```

XML

```
<-<markers>
<marker lat="54.534015" lon="18.546533" name="HEROS" dx="0.000000"
dy="0.000000" type="52" ais="26100046019175145!SPG2637!
00:00:0.024.11!S!01014.5!1196017230" />
<marker lat="54.401168" lon="18.679110" name="ATLAS II"
dx="0.000000" dy="0.000000" type="52"
ais="2611370006611071!SQMK !GDANSK !18.11.2007r. godz.
16:00:0.010.110128!814.211196017230" />
```

Rys. 3. System Zarządzania Bazą Danych AIS (Naus, 2007).

- organizowania binarnych łańcuchów w pakiety wiadomości zgodnie z ITU-R M.1371,
- przekształcenia zorganizowanych pakietów wiadomości na odpowiednio zakodowaną informację w plikach typu kmz i xml.

Wszystkie aplikacje webowe wykorzystują technologię AJAX (ang. *Asynchronous JavaScript and XML*) w zarządzaniu asynchronicznym transferem danych z serwera AIS. Dzięki zastosowaniu tej technologii uniknięto blokowania dostępu do aplikacji i konieczności przeładowywania strony internetowej w trakcie wczytywania danych z serwera.

Aplikacja desktopowa Google Earth wymaga załadowania pliku konfiguracyjnego zawierającego adres serwera z którego w ustalonym odstępie czasowym pobierany będzie plik typu kmz z danymi AIS.

Na rysunku 4. przedstawiono okno główne aplikacji Google Earth skonfigurowanej do współpracy z serwerem AIS udostępniającym dane o ruchu statków w porcie Gdynia.



Rys. 4. Ruch statków w porcie Gdynia zobrazowany w aplikacji desktopowej Google Earth.

Omawiane aplikacje dla klienta dostępne są na stronie <http://www.aisr4.republika.pl/>.

Podobne rozwiązania można znaleźć na stronach:

- <http://www.vesseltracker.com/en/Area/hamburg/Map.html>
- <http://www.goranpettersson.se/>
- <http://www.2sandnessjo.no/shipplotter/gmap/stavanger.html>
- <http://live.aisparser.com/>

Wyszczególnione aplikacje oparto na stronie WWW z mapą pobraną z serwera Google lub Microsoft. Na tle mapy prezentowane są symbole statków, dodatkowe dane opisowe uzyskane z systemu AIS i zaczerpnięte z zewnętrznych baz danych. Niezarejestrowany internetowy klient ma dostęp do ograniczonego zbioru danych AIS, przesyłanego z celowym, kilkugodzinnym opóźnieniem czasowym. Uzyskanie pełnego dostępu do danych oraz możliwości pracy aplikacji w trybie czasu rzeczywistego wymaga płatnej rejestracji. W zależności od wysokości wniesionej opłaty klient otrzyma rozszerzenie funkcjonalności aplikacji, np. o możliwości wizualizacji trajektorii ruchu statków z ostatniej doby, czy powiadomienia SMS po wejściu statku w zdefiniowany obszar.

4. ANALIZA PODSTAWY KARTOGRAFICZNEJ OPRACOWANEGO ROZWIĄZANIA W ASPEKCIE ZASTOSOWAŃ MORSKICH

4.1. Ogólna charakterystyka odwzorowania Merkatora

Mapa morska przeznaczona do prowadzenia nawigacji w żegludze oraz podczas wykonywania różnorodnych prac i zadań na morzu powinna spełniać dwa najważniejsze wymagania:

- zachować wierność kątów, aby można było na mapie wyznaczać pozycje statku na podstawie pomiarów kątowych,
- loksodromę przedstawiać jako linię prostą.

Wymagania te spełnia odwzorowanie walcowe normalne Merkatora, stosowane w nawigacji prawie przez wszystkie państwa świata już od XVI wieku. Odwzorowanie Merkatora (dla sfery) oparte jest na czterech prostych formułach matematycznych :

$$x = \alpha_s \cdot (\lambda - \lambda_0), \quad (1)$$

$$y = \alpha_s \cdot \frac{1}{2} \cdot \ln \left(\frac{1 + \sin(\varphi)}{1 - \sin(\varphi)} \right) = \alpha_s \cdot \ln(\tan(\varphi) + \sec(\varphi)), \quad (2)$$

$$\lambda = \lambda_0 + \frac{x}{\alpha_s}, \quad (3)$$

$$\varphi = 2 \cdot \operatorname{arc\,tg} \left(\exp \frac{y}{\alpha_s} \right) - \frac{\pi}{2} = \operatorname{arc\,tg} \left(\sinh \left(\frac{y}{\alpha_s} \right) \right) \quad (4)$$

gdzie:

- λ – długość geograficzna odwzorowanego punktu,
- λ_0 – długość geograficzna południka przechodzącego przez środek mapy,
- φ – szerokość geograficzna odwzorowanego punktu,
- α_s – współczynnik skalowania (równy promieniowi kuli dla walca stycznego na równiku).

Google Maps

```
Eg.prototype.fromLatLngToPixel=function(a,b){var c=this,d=c.it[b],e=C(d.x+a.lng()*c.kt[b]),g=se(Math.sin(Ne(a.lat())),-0.9999,0.9999),h=C(d.y+0.5*Math.log((1+g)/(1-g))*-c.lt[b]);return new Y(e,h);
```

```
Eg.prototype.fromPixelToLatLng=function(a,b,c){var d=this,e=d.it[b],g=(a.x-e.x)/d.kt[b],h=Oe(2*Math.atan(Math.exp((a.y-e.y)/-d.lt[b]))-ee/2);return new V(h,g,c);
```

YaHoo

```
function ll_to_pxy(lat,lon){var _cp=new YCoordPoint();var alon=lon+180;var ltmp=Math.abs(alon)%360;if(alon<0){alon=360-ltmp;}if(alon>360){alon=ltmp;}var alat=Math.abs(lat);if(alat>90){alat=90;}alat*=YMapConfig.radPerDeg;_cp.x=parseInt(alon*this.x_per_lon);ytemp=Math.log(Math.tan(alat)+1/Math.cos(alat))/Math.PI;_cp.y=parseInt(ytemp*this.pixel_height()/2);if(lat<0){_cp.y=-_cp.y;}this.status_=1;return _cp;}
```

```
function pxy_to_ll(x_pixel,y_pixel){var gp=new YGeoPoint();this.status_=0;var alon=x_pixel/this.x_per_lon;var ltmp=Math.abs(alon)%360;if(alon<0){alon=360-ltmp;}if(alon>360){alon=ltmp;}gp.Lon=alon-180;var alat=(y_pixel/(this.pixel_height()/2))*Math.PI;alat=Math.atan(sinh(alat))/YMapConfig.radPerDeg;if(alat<-90){alat=-90;}if(alat>90){alat=90;}gp.Lat=alat;this.status_=1;return gp;}
```

Microsoft

```
function h(d,e){var c=b(e),f=d.x*c-projectionOffset,g=projectionOffset-d.y*c,a=new Msn.VE.LatLong;a.latitude=RadToDeg(Math.PI/2-2*Math.atan(Math.exp(-g/earthRadius)));a.longitude=RadToDeg(f/earthRadius);return a}
```

```
function g(d,f){var e=Math.sin(DegToRad(d.latitude)),g=earthRadius*DegToRad(d.longitude),h=earthRadius/2*Math.log((1+e)/(1-e)),c=b(f),a=new VEPixel;a.x=(projectionOffset+g)/c;a.y=(projectionOffset-h)/c;return a}
```

W każdej z prezentowanych funkcji, dla uwidocznienia wytłuszczono fragmenty kodu zawierające charakterystyczne zależności matematyczne służące do transformacji współrzędnych. Jak łatwo można zauważyć, w każdym przypadku są one charakterystyczne dla odwzorowania Merkatora.

5. WNIOSKI

- 1) AIS stanowi nowe źródło danych statycznych i dynamicznych o statkach. Obecnie urzędnicy AIS muszą posiadać wszystkie statki pasażerskie i tankowce oraz inne statki o tonażu powyżej 300 BRT.
- 2) Dane mapowe wykorzystywane w serwisach Google Maps, YaHoo Maps, Microsoft Virtual Earth prezentowane są w odwzorowaniu Merkatora – dlatego mogą być z powodzeniem stosowane do zabezpieczenia geograficznego żegluga.

- 3) Opracowany system monitorowania ruchu statków jest typowym Systemem Informacji Geograficznej opartym na tzw. sieciowych usługach geoinformatycznych. Dzięki temu użytkownik korzystający tylko z przeglądarki internetowej ma dostęp do rozbudowanych baz danych mapowych i AIS, oraz zawansowanych funkcji wykonywanych po stronie serwera.
- 4) Serwisy do internetowego monitorowania ruchu statków śledzonych w systemie AIS, wykonane w technologii Google Maps, Yahoo Maps, Microsoft Virtual Earth i Google Earth powinny funkcjonować również w Polsce.
- 5) Tego rodzaju systemy mogłyby być wykorzystywane przez służby lądowe do nadzorowania żegluga na akwenach przybrzeżnych, w szczególności do realizacji funkcji informacyjnej o ruchu jednostek pływających, asysty nawigacyjnej, poszukiwania i ratowania na morzu oraz przeciwdziałania zanieczyszczeniom przez jednostki pływające.

6. LITERATURA

IMO, 2002a. *Rezolucja MSC 74 (69)*.

IMO, 2002b. *Rozdział V konwencji SOLAS*.

ITU, 2001. Recommendation on the Technical Characteristics for a Ship-borne Automatic Identification System (AIS) Using Time Division Multiple Access in the Maritime Mobile Band - ITU-R M.1371-1.

Ministerstwo Infrastruktury, 2004. *Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 30 kwietnia 2004 r. w sprawie harmonogramu wyposażania statków w System Automatyckiej Identyfikacji*.

Naus K., 2007: <http://www.aisr4.republika.pl/>.

GOOGLE MAPS, YAHOO MAPS, MICROSOFT VIRTUAL EARTH AND GOOGLE EARTH AS TOOLS FOR MONITORING THE AIS SYSTEM FOR RECORDING VESSEL TRAFFIC

KEY WORDS: Google Maps, Yahoo Maps, Virtual Earth, Google Earth, AIS, the vessel traffic, internet monitoring of the vessels' traffic

SUMMARY: The structure and principles of operation of the Automatic Identification System (AIS) of Vessels is presented in first part of the paper. The legislation, which obliges vessels to be fitted with Tx-Rx AIS equipment is described. The main section of the paper contains a technical description of the system for the monitoring of images of vessel traffic in the AIS system. The system, which has been developed by the author, is based on the internet and takes advantage of the facilities offered by Google Maps, Yahoo Maps, Microsoft Virtual Earth and Google Earth services. The technical architecture of the system and the process for the processing and exchanging

of AIS data with the internet customer are demonstrated. The final section presents similar solutions implemented across the world as well as the advantages to the maritime economy to be derived from applying the solution.

dr inż. Krzysztof Naus
KNaus@wp.pl
telefon: +48 694476456

* wersja kolorowa artykułu jest dostępna na stronie <http://www.sgp.geodezja.org.pl/ptfit>

**MONITOROWANIE ZMIAN UKSZTAŁTOWANIA POWIERZCHNI
TERENU SPOWODOWANYCH EROZJĄ WODNĄ Z WYKORZYSTANIEM
NAZIEMNEGO SKANOWANIA LASEROWEGO**

**MONITORING LAND SURFACE CHANGES CAUSED BY SOIL WATER
EROSION WITH TERRESTRIAL LASER SCANNING**

Magdalena Niemiec, Grzegorz Józków, Andrzej Borkowski

Instytut Geodezji i Geoinformatyki, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

SŁOWA KLUCZOWE: teledetekcja, naziemny skaning laserowy, erozja wodna gleb, NMT

STRESZCZENIE: Erozja wodna to proces polegający na stopniowym niszczeniu przez wodę wierzchniej, a czasem też głębszych warstw gleby poprzez wymywanie cząstek glebowych i składników mineralnych oraz ich transport. W Polsce, jak i w innych krajach europejskich, zjawisko to stanowi podstawowy czynnik obniżający jakość gleb i powodujący ich degradację. Istotę tego problemu podkreśla m.in. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego (Parlament Europejski, 2006), zobowiązująca państwa członkowskie do identyfikacji, na odpowiednim szczeblu, obszarów na których występują procesy erozyjne, bądź istnieje możliwość ich wystąpienia w przyszłości. W pracy podjęto problem monitorowania zjawiska erozji w sensie ilościowym – z wykorzystaniem techniki naziemnego skanowania laserowego. Obiekt badawczy obejmuje użytkowane rolniczo gleby lessowe położone na obszarze Wzgórz Trzebnickich. W pracy przedstawiono koncepcję oraz wyniki wstępnych badań terenowych, opracowane dane z naziemnego skaningu laserowego w postaci numerycznego modelu terenu wraz z ilościową oceną transportowanej masy gleby. Ponadto, wskazano kierunek dalszych prac oraz możliwości wykorzystania skaningu laserowego do monitorowania zmian ukształtowania powierzchni terenu spowodowanych erozją wodną oraz do weryfikacji stosowanych modeli teoretycznych erozji wodnej.

1. WSTĘP

Erozja wodna gleb jest zjawiskiem niszczenia wierzchniej warstwy gleby w skutek wymywania i przemieszczania jej cząstek przez wody opadowe (Lal, 2001). Negatywne skutki erozji wodnej uwidaczniają się głównie w gospodarce rolnej. W szczególności na

skutek zmywania wierzchniej warstwy ornej i wymywania składników pokarmowych z gleby następuje zmniejszenie się jakości i wysokości plonów. Rozwój przejmujących wody okresowe lub epizodyczne dolin suchych pociąga za sobą również systematyczne zmniejszanie się powierzchni użytków rolnych. Efekty erozji wodnej widoczne są również na terenach nie użytkowanych rolniczo. Wzrost sedymentacji rzecznej powoduje zamulenie zbiorników wodnych, a zwiększony spływ powierzchniowy jest bezpośrednią przyczyną wzrostu zagrożenia powodziowego.

Potrzeba monitorowania zjawiska erozji wodnej wyrażona została w licznych aktach prawnych, od uchwał na krajowych szczeblach gminnych, po dyrektywy Parlamentu Europejskiego (Parlament Europejski, 2006). Wobec zagrożenia degradacją gleb użytkowanych rolniczo państwa członkowskie UE zostały zobowiązane m.in. do zidentyfikowania oraz określenia zasięgu obszarów zagrożonych erozją, spadkiem materii organicznej lub takich, na których może wystąpić osuwanie się ziemi.

W klasyfikacji procesów erozyjnych możemy wyróżnić m.in.: procesy powierzchniowe, będące odpowiednikiem procesów spłukiwania i spływania, których dostrzegalnymi objawami są różnych rozmiarów bruzdy występujące po opadach deszczowych czy podczas tajania śniegów oraz liniowe, wywołane stopniowym pogłębianiem się żłobin i przekształcaniu w formy o charakterze dolin suchych.

Dotychczasowo w monitorowaniu zjawiska erozji powierzchniowej i liniowej wykorzystywano głównie specjalistyczne pomiary terenowe stosowane przez gleboznawców. Korzysta się również z modeli erozyjnych umożliwiających oszacowanie strat glebowych wywołanych tymi procesami. Ponadto stosowane są tradycyjne pomiary geodezyjne oraz nowe metody pomiarowe – zwłaszcza zdalne, takie jak zdjęcia lotnicze, obrazy satelitarne oraz, w ostatnim czasie, naziemny skaniny laserowy (Schmid *et al.*, 2004).

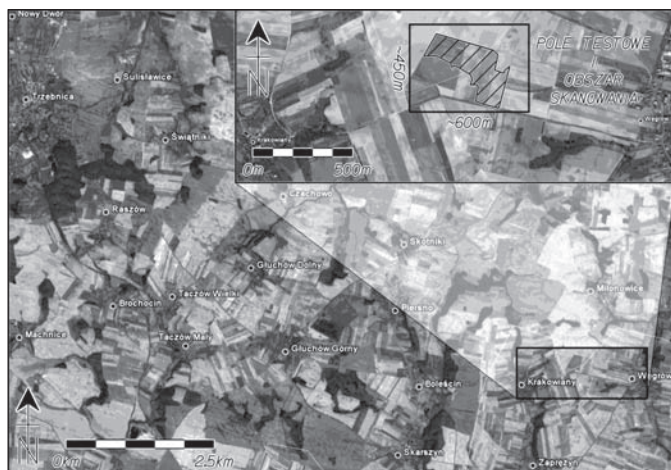
Celem podjętych prac jest weryfikacja możliwości i zakresu wykorzystania naziemnego skaniny laserowego do monitorowania zjawiska erozji liniowej. W pracy przedstawiono koncepcję badań oraz wstępne wyniki.

2. OBIEKT BADAWCZY

Obiekt badawczy położony jest na rozciągających się na północ od Wrocławia Wzgórzach Trzebnickich. Stanowią one środkową część Wału Trzebnickiego zamykającego od strony północnej Nizinę Śląską. Tereny te charakteryzują się silnym pofalowaniem, a swą rzeźbę zawdzięczają głównie zlodowaceniowi środkowopolskiemu oraz ostatniemu zlodowaceniowi bałtyckiemu. Ważnym procesem rzeźbotwórczym dla tego obszaru była akumulacja eoliczno-denudacyjna lessów, które obecnie pokrywają nie tylko Wzgórze Trzebnickie, ale również obszary sąsiadujące, np. Równinę Wrocławską.

Badania prowadzono na południowych stokach Wzgórz Trzebnickich w zlewni cieków Mielnica. Wybrany teren charakteryzuje się dominującą przewagą użytków rolnych oraz urozmaiconą rzeźbą. Gleby występujące na tym obszarze to głównie gleby pyłowe (utwory lessowe), które w sposób szczególnie narażone są na procesy degradacji – zwłaszcza erozję wodną (Niemiec, 2009). Obszar objęty badaniami znajduje się na południo-

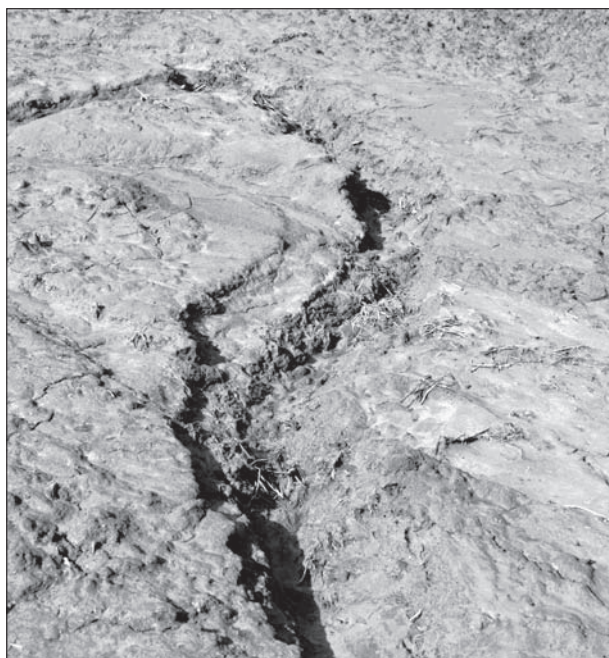
wych stokach Wzgórz, charakteryzujących się największym stopniem akumulacji lessów oraz dosyć dużymi deniwelacjami terenu, sięgającymi 70 m. Powyższe uwarunkowania powodują nasilenie zjawiska erozji wodnej gleb na tym terenie. Do szczegółowych badań wytypowano fragment pola uprawnego znajdującego się na granicy powiatów: wrocławskiego (gmina Długołęka) i trzebnickiego (gmina Zawonia), leżącego po północnej stronie drogi gminnej łączącej wsie Krakowiany i Węgrów (Rys. 1). Wymiary pola testowego to około $600\text{ m} \times 450\text{ m}$. Na wybranym obiekcie zaobserwowano zmiany erozyjne w postaci żłobin, wypłukanych przez wody opadowe (Rys. 2, Rys. 3) oraz obszary, w których nastąpiła akumulacja niesionego przez wodę materiału glebowego.



Rys. 1. Lokalizacja pola testowego i obszaru skanowania, podkład zdjęciowy (Google, 2009).



Rys. 2. Fragment pola testowego ze żłobiną erozyjną (fot. G. Józków).

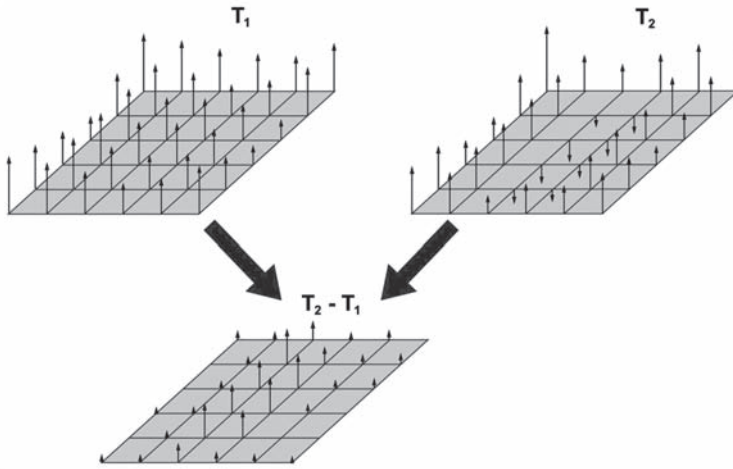


Rys. 3. Typowa żłobina erozyjna na obszarze badawczym (fot. G. Józków).

Z racji prowadzonej na wybranym polu testowym uprawy, konieczne było wytypowanie terminu badań, w którym liniowe formy erozyjne będą mogły być wyraźnie zaobserwowane. Badania terenowe wykonano wczesną wiosną (koniec marca) 2009 roku. Termin ten wybrano ze względu na fakt, iż w tym okresie pokrywa śnieżna zniknęła całkowicie z pól, a topniejące śniegi uformowały liniowe formy erozyjne. W wybranym terminie nie było również na polu żadnej uprawy oraz nie rozpoczęły się jeszcze prace agrotechniczne, zatem powierzchnia pola testowego i formy erozyjne obserwowane mogły być w dogodny sposób.

3. KONCEPCJA WYKORZYSTANIA SKANINGU NAZIEMNEGO (METODY BADAWCZE)

Koncepcję wykorzystania naziemnego skanowania laserowego w badaniach erozyjnych przedstawiono na rysunku (Rys. 4). Opiera się ona na wykonaniu skanowania obszaru zagrożonego procesami erozji wodnej gleb w kolejnych momentach czasowych T_i , zwłaszcza w okresach nasilenia zjawiska erozji liniowej, np. po ulewnych deszczach, czy w czasie wiosennych roztopów. Następnie budowane są Numeryczne Modele Terenu (NMT) dla kolejnych momentów czasu T_i . Obserwacja zmian ukształtowania powierzch-



Rys. 4. Koncepcja różnicowego NMT.

ni terenu wywołanych zjawiskami erozyjnymi możliwa jest na podstawie modelu różnicowego NMT_i – NMT_{i+1}.

Na podstawie modelu różnicowego możliwe jest obliczenie objętości mas transportowanych w interwale czasu ΔT , z obszaru $(n \cdot \Delta) \times (m \cdot \Delta)$,

$$V = \Delta \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m h_{ij} \quad (1)$$

gdzie:

Δ – wielkość oczka siatki modelu,

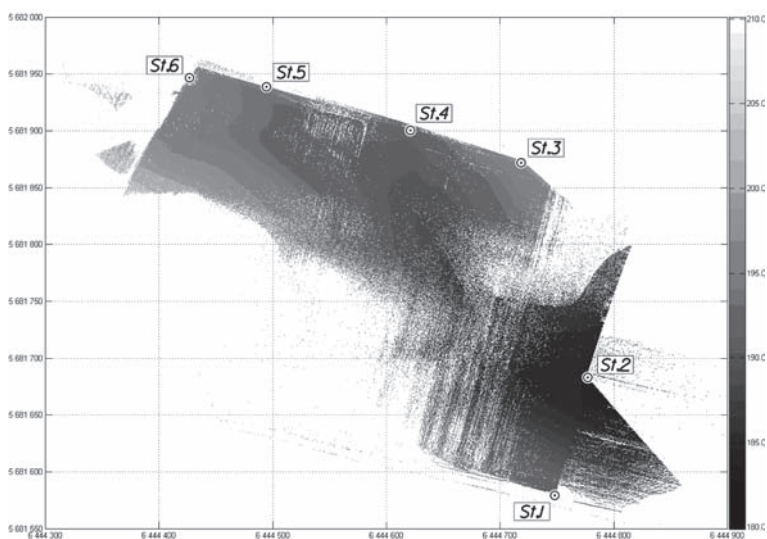
h_{ij} – różnica wysokości w kolejnych punktach siatki o liczbie kolumn i i wierszy odpowiednio m i n .

Na dokładność i rozdzielczość modelu różnicowego większy wpływ ma model o mniejszej rozdzielczości i gorszej dokładności. Dlatego też w celu zapewnienia najlepszych rezultatów badań modele wykonane w poszczególnych momentach czasu T_i powinny mieć jednakową rozdzielczość oraz dokładność. Przenosząc tę regułę na modele wykonane z danych naziemnego skaningu laserowego można sformułować założenia, że skanowanie najlepiej wykonywać skanerem tego samego typu lub o bardzo podobnych parametrach. Pod pojęciem podobnych parametrów należy rozumieć głównie te mające wpływ na dokładność, rozdzielczość i zasięg pomiaru. Jeżeli dane są połączeniem chmur punktów dla kilku stanowisk, wówczas skanowania należałoby prowadzić z tych samych stanowisk. Nie mniej ważnym jest również zastosowanie dla wszystkich NMT tego samego modelu interpolacyjnego.

Stanowiska skanowania ważne są również ze względu na możliwość nadania georeferencji numerycznym modelom terenu. Najlepszym rozwiązaniem staje się zatem wykorzystanie punktów poziomej osnowy geodezyjnej jako stanowisk skanera.

4. PRACE TERENOWE I WYNIKI BADAŃ

Na obszarze pola testowego (Rys. 1) założono osnowę pomiarową (Rys. 5). Punkty osnowy zostały zlokalizowane głównie w takich miejscach, które zapewniały dogodne skanowanie liniowych form erozyyjnych znajdujących się w pobliżu północnej krawędzi pola testowego. Starano się wybrać miejsca, które zapewniałyby również jak największą trwałość znaków, co umożliwi w przyszłości kolejne skanowania.



Rys. 5. Osnowa pomiarowa (St.1 – St. 6) na tle chmury punktów.

Współrzędne XYH założonych punktów osnowy pomierzone zostały techniką GPS-RTK (poprawki NAWGEO systemu ASG-EUPOS) z wykorzystaniem odbiornika Trimble R6. W ten sposób wyznaczone zostały współrzędne płaskie w Państwowym Układzie Współrzędnych Geodezyjnych 2000 (strefa 6) oraz wysokości w układzie Kronsztad 86 (odbiornik posiadał wbudowany model geoidy). Ze względu na zbyt duże błędy uzyskanych techniką GPS-RTK współrzędnych XY punktów (około 3 cm), zdecydowano się pomierzyć sieć kątowno-liniową opartą o punkty założonej osnowy pomiarowej. Utworzoną sieć pomierzono tachimetrem Leica Tc407 i dowiązano do istniejącej osnowy państwowej. W następstwie ścisłego wyrównania sieci otrzymano ostateczne współrzędne płaskie punktów osnowy. Wyznaczenie współrzędnych w PUWG 2000 i dowiązanie sieci do osnowy państwowej pozwoli na wznowienie osnowy geodezyjnej i dalsze badania nawet w przypadku zniszczenia wszystkich jej punktów. Z racji niedostępności państwowej osnowy wysokościowej w najbliższym sąsiedztwie badanego obiektu, zdecydowano wykorzystać trwale zastabilizowany punkt osnowy poziomej jako

reper roboczy. Pomierzoną techniką GPS-RTK wysokość tego repera uznano za stałą, a następnie dokonano pomiaru i wyrównania zamkniętego ciągu niwelacyjnego uzyskując ostateczne wysokości punktów.

Tab. 1. Wybrane parametry skanera Trimble GX (Trimble, 2009).

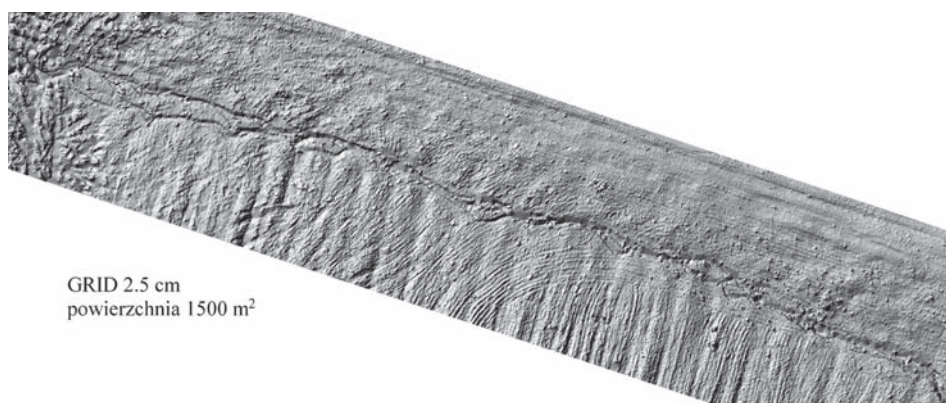
Typ lasera, długość fali (barwa)	impulsowy, 532 nm (zielony)
Pole widzenia	poziomo: 360° pionowo: 60°
Zasięg skanowania	do 350 m, standardowo 150 ÷ 200 m
Prędkość skanowania	do 5000 punktów na sekundę
Dokładność wyznaczenia pozycji punktu	12 mm @ 100 m
Dokładność wyznaczenia odległości	7 mm @ 100 m
Maksymalna rozdzielczość skanowania	poziomo: 200 000 linii @ 360° pionowo: 65 536 linii @ 60°
Obrazowanie cyfrowe	kolorowe wideo (768 × 576 pix.), zoom 5x

Skanowanie wykonano skanerem Trimble GX (parametry skanera przedstawia Tab. 1) z 6 stanowisk, a odstęp pomiędzy punktami skaningu położonymi w odległości 50 m od skanera, ustawiono na 4 cm. Sumarycznie zarejestrowano około $8.6 \cdot 10^6$ punktów (Rys. 5). Dla każdego stanowiska skanowania nad najbliższym punktem osnowy centrowano tarczę orientującą. Na żadnym stanowisku współrzędne punktów orientujących wyznaczone przez skaner nie różniły się od współrzędnych katalogowych tych punktów o więcej niż 10 mm. Można zatem uznać, że współrzędne punktów osnowy i skanowania wyznaczone zostały prawidłowo. Dodatkową zaletą takiego podejścia jest fakt, że każdy punkt skaningu posiada współrzędne w tym samym układzie, zatem możliwe było połączenie 6 chmur punktów w jedną całość bez wykorzystania specjalnego oprogramowania służącego do wzajemnego wpasowania skanów.

Etapem następującym po połączeniu danych ze wszystkich stanowisk była filtracja danych w celu usunięcia punktów nie będących odbiciem plamki lasera od powierzchni terenu – zaobserwowano występowanie tzw. *ghost points*. Na podstawie danych skaningu laserowego zbudowano dwa NMT: jeden nie uwzględniający zmian ukształtowania powierzchni terenu związanych z zachodzącym zjawiskiem erozji liniowej, a drugi z wyraźnie zaznaczonymi żłobinami erozyjnymi (Rys. 6). Ze względu na początkową fazę, planowanych na kilka lat badań i wykonanie tylko jednego pomiaru, oba modele terenu utworzone zostały na podstawie tylko jednego skanowania. NMT pozbawiony żłobin erozyjnych utworzony został z chmury punktów, z której manualnie usunięto punkty tworzące liniowe formy erozyjne. Wysokości modelu w miejscach, z których usunięto punkty, wyinterpolowane zostały na podstawie pozostałych punktów sąsiednich. Do interpolacji

NMT wykorzystano własne algorytmy wykorzystujące metodę aktywnych powierzchni (Borkowski, Jóźków, 2008).

Na podstawie różnicowego NMT (rozdzielczość przestrzenna 2.5 cm) wymodelowana została forma erozyjna w postaci żłobiny. Obliczono również ilość wymytego materiału glebowego, długość żłobiny i powierzchnię, którą zajmowała. Uzyskano następujące wartości: długość żłobiny 60 m, powierzchnia 60 m², ilość wymytego materiału glebowego 1.2 m³. Docelowo różnicowy NMT budowany będzie na podstawie danych z różnych sesji pomiarowych wykonanych minimum dwa razy w roku: wczesną wiosną i późną jesienią oraz dodatkowo po ulewnych deszczach. Na tej podstawie możliwe będzie określenie ilości materiału glebowego zarówno wymytego, jak również zdeponowanego.



Rys. 6. NMT z widoczną liniową formą erozyjną.

5. PODSUMOWANIE

Na obszarze Wzgórz Trzebnickich występują podatne na erozję wodną gleby lessowe. Zajmują one zwłaszcza tereny użytkowane rolniczo, dlatego monitorowanie zjawisk erozyjnych ma bardzo duże znaczenie ze względu na ich wpływ na degradację gleb.

W pracy przedstawiono koncepcję wykorzystania naziemnego skaningu laserowego do monitorowania zjawiska erozji liniowej oraz wstępne wyniki. Koncepcja ta polega na budowie szeregu czasowego numerycznych modeli, opisującego zmiany ukształtowania powierzchni terenu. Założeniem do tego jest wykonywanie skanowania z jednolitej osnowy geodezyjnej. Wstępne wyniki pokazują, że skaningu laserowego może zastąpić tradycyjne metody, wykorzystywane do określenia ilościowego intensywności zjawiska erozji powierzchniowej, a zwłaszcza liniowej.

Dalsze prace badawcze prowadzone będą na obiekcie w korelacji ze zjawiskami atmosferycznymi skutkującymi występowaniem bądź nasileniem zjawiska erozji. Ponadto, do rozwiązania pozostaje problem oceny dokładności zbudowanego różnicowego NMT

oraz obliczonej na jego podstawie ilości zerodowanego materiału glebowego. Otrzymane wyniki ilościowe posłużą do modelowania zjawiska erozji oraz do weryfikacji teoretycznych modeli erozyjnych.

6. LITERATURA

Borkowski A., Józków G., 2008. Aproksymacja powierzchni terenu na podstawie danych lotniczego skaningu laserowego z wykorzystaniem modelu aktywnych powierzchni. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 18a, s. 21-30.

Google, 2009: <http://earth.google.com/>

Lal R., 2001. Soil degradation by erosion. *Land Degradation & Development*, 12(6), s. 519-539.

Niemiec M., 2009. Satellite remote sensing for water erosion assessment. *Annals of Geomatics*, Vol. VII(2), s. 99-106.

Parlament Europejski, 2006. Wniosek dotyczący dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady ustanawiającej ramy dla ochrony gleby oraz zmieniającej dyrektywę 2004/35/WE, przedstawiony przez Komisję Wspólnot Europejskich; Bruksela, 22.9.2006 KOM(2006) 232; wersja ostateczna 2006/0086(COD).

Schmid T., Schack-Kirchner H., Hildebrand E., 2004. A case study of terrestrial laser scanning in erosion research: calculation of roughness indices and volume balance at a logged forest site. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVI– 8/W2, s. 114-118.

Trimble, 2009: <http://www.trimble.com>

Obliczenia wykonano w systemie MATLAB, licencja nr 101979, grant obliczeniowy Wrocławskiego Centrum Sieciowo-Superkomputerowego.

MONITORING LAND SURFACE CHANGES CAUSED BY SOIL WATER EROSION WITH TERRESTRIAL LASER SCANNING

KEY WORDS: remote sensing, terrestrial laser scanning, soil water erosion, DTM

SUMMARY: Soil erosion is the process of systematic soil degradation through the action of an erosive agent. In the case of water erosion, the agent is water, which detaches and transports soil material and rinses minerals and nutrients causing soil depletion. This process causes serious economic problems, not only in Poland, but also in other European countries. Due to this fact, the problem of soil erosion by water is identified e.g. in EU directives which oblige EU member states to identify and delineate eroded areas or regions where the risk of soil erosion occurrence in the future is high. This study focuses on the quantitative monitoring of eroded lands using a technique for terrestrial laser scanning. The area under study is the agricultural region of the Trzebnickie Hills, covered with erosion-

sensitive loess soils. TLS data were acquired using a Trimble GX laser scanner in the test area (600 m × 450 m) which is mainly occupied by agricultural fields. The study design envisages building a differential Digital Terrain Model (DTM) based on two point clouds acquired within a certain time span. The resulting DTM provides information about the changes in topography resulting from the process of soil erosion by water. The study shows the preliminary results of the site research – DTMs modelled from laser scanning data with an estimate of soil loss. In addition, the future possibilities for using laser scanning in research on monitoring surface change are outlined.

mgr inż. Magdalena Niemiec
magdalena.niemiec@igig.up.wroc.pl
telefon: +48 71 3201952

mgr inż. Grzegorz Józków
grzegorz.jozkow@igig.up.wroc.pl
telefon: +48 71 3201951

dr hab. inż. Andrzej Borkowski, prof. nadzw.
andrzej.borkowski@igig.up.wroc.pl
telefon: +48 71 3205609

**RANKING METOD INTEGRACJI OBRAZÓW TELEDETEKCYJNYCH
O RÓŻNEJ ROZDZIELCZOŚCI – OCENA FORMALNA
SCALENIA DANYCH LANDSAT TM I IRS-PAN*. ****

**RANK OF FUSION METHODS OF REMOTELY SENSED IMAGES
OF VARIOUS RESOLUTION – FORMAL ASSESSMENT
OF MERGING LANDSAT TM AND IRS-PAN DATA**

Tomasz Pirowski

Katedra Geoinformacji, Fotogrametrii i Teledetekcji Środowiska,
Akademia Górniczo-Hutnicza

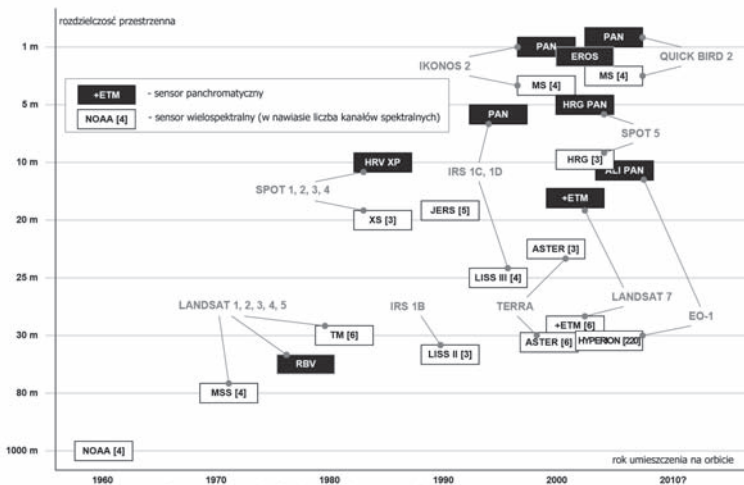
SŁOWA KLUCZOWE: integracja danych teledetekcyjnych, parametry statystyczne, wzmocnienie przestrzenne, zniekształcenie spektralne, LANDSAT, IRS

STRESZCZENIE: W publikacji przedstawiono wyniki badań związanych z integracją danych spektralnych o niższej rozdzielczości przestrzennej (Landsat) z obrazami panchromatycznymi o wyższej rozdzielczości przestrzennej (IRS). Obszarem testowym był prostokąt 20x10 km obejmujący aglomerację krakowską. W ramach badań przetestowano 30 podejść (rozumianych jako metody i ich warianty) integrujących optyczne dane satelitarne, m.in. rozwiązania wykorzystujące substytucje kanałów (SK), operacje algebraiczne (IM), w tym ilorazowe (NVSR, WMK), oparte o właściwości teksturalne obrazów (PRAD, PRICE), tablicę kolorów (LUT), transformacje liniowe (IHS, PCA, RVS), filtracje (HPF), lokalne operacje na obrazach (LMM, LMVM, LCM), analizy obrazów w różnych rozdzielczościach (PL, DWT) i kombinacje powyższych rozwiązań (IHS-HPF, IHS-LMVM, PCA-PRAD). Oceniono uzyskane syntetyczne obrazy pod kątem ich formalnej jakości w dwóch aspektach: stopnia czytelności oraz stopnia zniekształcenia tematycznego i na tej podstawie podano rankingi 30 testowanych podejść w obu powyższych aspektach. Wskazano, na drodze analizy tzw. „diagramu wyników”, metody o najlepszej relacji wzmocnienia przestrzennego do zniekształcenia spektralnego scalonych obrazów, w przekroju poszczególnych kompozycji barwnych, jakie poddano testom (KB123, 134, 174, 571, 354, 457) oraz dla średniej uzyskanej z sześciu syntetycznych kanałów spektralnych.

1. IDEA INTEGRACJI DANYCH OBRAZOWYCH

Metody teledetekcyjne charakteryzuje wielostopniowy model pozyskiwania danych (Mularz, Pirowski, 2007) jak rejestracja z wielu platform i różnych pułapów (ang. *multiplatform, multilevel*), rejestracja wielospektralna (*multispectral*), możliwość wykorzystania wielu różnych urządzeń obrazujących (*multisensor*), rejestracja obrazów o różnej rozdzielczości przestrzennej (*multiresolution*), możliwość przeprowadzenia wielorozdzielczej segmentacji zarejestrowanego obrazu (*multiresolution segmentation*), rejestracja obrazów wieloczasowych (*multitemporal*). Aktualne staje się pytanie, w jaki sposób komplementarnie wykorzystać wzrastającą liczbę dostępnych danych satelitarnych? Jak zintegrować i uzupełnić wzajemne dane, aby zwiększyć ilość informacji znajdujących się na obrazie i/lub je uwiarygodnić?

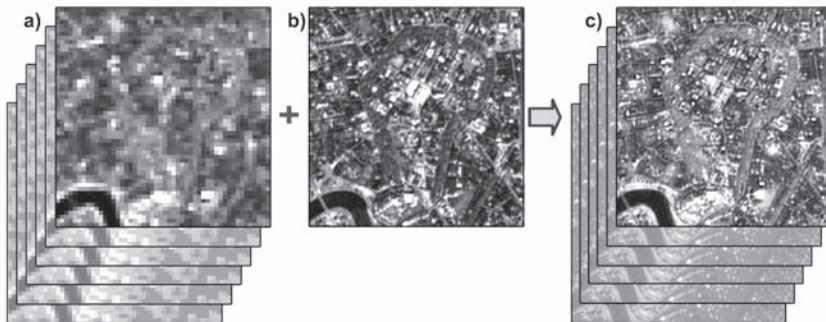
W publikacji uwagę poświęcono aspektowi rozdzielczości przestrzennej. Pozyskiwanie satelitarnych danych wiąże się bowiem z ograniczeniami w terenowej rozdzielczości przestrzennej obrazów rejestrowanych w trybie wielospektralnym. Fakt ten wynika z natury zdalnej rejestracji odbitego promieniowania – rejestrowanie sygnału w wąskich pasmach promieniowania jest możliwe do osiągnięcia tylko kosztem rezygnacji z wysokich rozdzielczości. I odwrotnie - dzięki poszerzeniu zakresu długości fal rejestrowanego promieniowania elektromagnetycznego (tryb panchromatyczny) możliwe staje się zawężenie wymiaru terenowego chwilowego pola widzenia (IFOV) przy zachowaniu wymaganego minimalnego stosunku sygnału do szumu (Mróz, 2001). Chociaż rozwiązania technologiczne prowadzą do uzyskiwania wymaganych poziomów luminacji przy coraz mniejszych wartościach IFOV, to proporcja obu rodzajów zobrazowań utrzymuje się w granicach od około 2:1 do 5:1 na korzyść obrazów panchromatycznych (Rys. 1).



Rys. 1. Tendencje rozwoju teledetekcji satelitarnej – wybrane sensory optyczne (za Mularz, Pirowski, 2007).

Praktycznym aspektem z tym związanym jest dostępność na rynku zobrazowań z platform satelitarnych zdolnych do rejestracji obu rodzajów danych: wielospektralnych o niższej oraz panchromatycznych o wyższej rozdzielczości. Dotyczy to zarówno danych archiwalnych z satelitów starszej generacji (np. systemy SPOT i LANDSAT z lat 80.), jak i obecnych (np. SPOT 5, IRS, FORMOSAT 2, ALOS, LANDSAT 7) w tym satelitów nowej generacji rejestrujących w bardzo wysokich rozdzielczościach (IKONOS, QUICK-BIRD, planowane PLEIADES).

Możliwe, a wręcz celowe, staje się ich komplementarne wykorzystanie, szczególnie na terenach wyjątkowo trudnych dla badań teledetekcyjnych, jakimi są obszary zurbanizowane. Cechuje je występowanie relatywnie małych obiektów o diametralnie odmiennych cechach spektralnych. Jednoczesne wykorzystanie obrazów pochodzących z różnych urządzeń obrazujących (sensorów) umożliwia odnoszenie korzyści z komplementarnego charakteru zarejestrowanej informacji, m. in. poprzez wykorzystanie technik integracji obrazów (Rys. 2) na poziomie piksela (ang. *merging*, *image data fusion*, *pan sharpening*). Przegląd wielu technik integracji przedstawiają m.in. Pohl, *et al.*, (1998); Pirowski (2005), Mróz, Szumiło (2005). Brakuje jednak w literaturze ich kompleksowego rankingu.



Rys. 2. Wzmocnienie przestrzenne (c) uzyskane w wyniku integracji obrazu wielospektralnego (a) i obrazu panchromatycznego o wyższej rozdzielczości przestrzennej (b).

2. DANE OBRAZOWE I OBSZAR TESTOWY

W niniejszej publikacji przedstawiono wyniki kompleksowych badań nad integracją obrazów wielospektralnych satelity LANDSAT TM (30 m) z obrazem panchromatycznym IRS (5.8 m). Dane zostały zarejestrowane w maju 2001 roku, w odstępnie 21 dni. Pole testowe obejmowało aglomerację krakowską (Rys. 3). Prostokątny kształt (o wymiarach 20 km x 10 km) przyjęto dla wygody przetwarzania danych obrazowych w systemach GIS. Z uwagi na krawędź sceny IRS-PAN do obliczeń parametrów statystycznych wykorzystano obszar wewnątrz zaznaczonego trapezu (Rys. 3).



Rys. 3. Zasięg pola testowego na tle mapy topograficznej Krakowa.

3. TESTOWANE FORMUŁY INTEGRACJI

W ramach badań przetestowano większość opracowanych do tej pory rozwiązań integrujących optyczne dane satelitarne, a w wielu przypadkach je zmodyfikowano, sparametryzowano lub testowano wariantowo. Z uwagi na ograniczenia objętości tekstu publikacji zostały one jedynie zasygnalizowane i pogrupowane wg ogólnych zasad działania, z odwołaniami literaturowymi kierującymi do ich szczegółowych opisów. W nawiasach podano akronimy zastosowane w tekście i na rysunkach. Ze względu na bardzo dużą ilość przetestowanych wariantów w rankingach znalazły się tylko wybrane rozwiązania.

Najprostsza (i historycznie pierwszą) metodą integracji poddaną testom była metoda „substytucji kanałów” (SK) (Cochrane, Lasselin, 1992). Polega ona na podmianie – na etapie tworzenia kompozycji barwnych - jednego z kanałów spektralnych obrazem panchromatycznym. Metoda nie pozwala więc na inne wykorzystanie, niż interpretacja wizualna.

Pierwszą dużą testowaną grupę technik integracji danych prowadzącą do uzyskania syntetycznych obrazów stanowiły metody arytmetyczne. Wykorzystuje się w nich podstawowe operacje algebraiczne dodawania, mnożenia, dzielenia lub odejmowania wartości jasności pikseli na łączonych zobrazowaniach. Tego typu fuzją są formuły matematyczne podane przez Cliché'a *et al.*, (1985) nazywane „modulacją intensywności” (IM1, IM2, IM3) oparte o iloczyn jasności obrazów, z wariantami wprowadzającymi do równań pierwiastkowanie i wagowanie. Formuły wykorzystujące dzielenie międzykanałowe, dały początek grupie metod scalania danych zwanych SRC - *Spectral Relative Contribution* (Wiemker *et al.*, 1998). Do metod tego typu należy zaliczyć metody P+XS, Brovey'a, *Color Normalised* (Hallada, Cox, 1983), SVR (Munehica *et al.*, 1993), (wszystkie cztery odrzucone po wstępnych testach) oraz metody ujęte w rankingu, dające lepsze rezultaty wizualne i formalne jak NSVR (Zhang, 1999), WMK (Wiemker *et al.*, 1998).

Kolejną analizowaną grupą rozwiązań stanowiły metody (oraz ich modyfikacje) oparte o właściwości teksturalne obrazów o wyższej rozdzielczości przestrzennej. Metody te, zwane w literaturze „modulacjami wysokich częstotliwości” (*High-Frequency Modulation* – HFM) są rozwiązaniami, których produktami są obrazy o wysokiej dokładności radiometrycznej, zgodnej z oryginalnymi kanałami spektralnymi (Filiberti *et al.*, 1994). Metody polegające na różnorodnych wariantach degradacji pikseli obrazu panchromatycznego i porównaniu go z obrazem oryginalnym podali Pradines (1986) i Price (1987). Pradines wykorzystuje degradację do tzw. „superpiksela” odpowiadającego wielkością pikselowi obrazu spektralnego (PRAD). Pirowski (2005) wprowadził modyfikacje polegające na filtracji dolnoprzepustowej w różnych oknach, z których w rankingu uwzględniono – z testowanych pięciu okien filtracji – trzy wybrane warianty: 5x5, 7x7, 17x17 (PRAD05, PRAD07, PRAD17). Z kolei Price (1987), przed etapem degradacji do „superpiksela” proponuje modyfikacje radiometryczne obrazu panchromatycznego na drodze przekształcenia liniowego (PRICE) lub analizy tablicy kolorów (LUT). Obie metody uwzględniono w rankingu.

Kolejną grupę testowanych metod stanowią podejścia zakładające odseparowanie informacji przestrzennej od tematycznej, jej wymianę i powtórne połączenie informacji przestrzennej (polepszonej) z informacją spektralną. Wyodrębnienie informacji następuje poprzez liniową transformację obrazów spektralnych, której parametry i sposoby wyznaczania są różne dla każdej z technik. Metody wchodzące w skład tej grupy to wg Shettigara (1992) metoda IHS (wykorzystująca transformację do przestrzeni barw *Intensity, Hue, Saturation*), PCA (wykorzystująca transformację składowych głównych) i RVS (*Regression Variable Substitution* - podstawą do wyznaczenia współczynników transformacji jest regresja wielokrotna wykonywana pomiędzy obrazem panchromatycznym a zestawem danych spektralnych).

Metoda HPF (*High-Pass Filter*) polega na zastosowaniu filtracji górnoprzepustowej na obrazie o podwyższonej rozdzielczości przestrzennej (Showengerdt, 1980; Chavez, 1986). Głównym parametrem wpływającym na jakość integracji jest wielkość okna filtrowania. Testowano warianty w oknach filtracji od 3x3 do 31x31. W rankingu znalazły się trzy najlepsze warianty, o oknach filtracji 5x5, 7x7 i 9x9 (HPF05, HPF07, HPF09).

Integracja przy pomocy analizy obrazów w różnych rozdzielczościach (*MRA – MultiResolution Analysis*) to technika oparta o narzędzie matematyczne oryginalnie opracowane do przetwarzania sygnałów. Narzędzia MRA generują sekwencje obrazów o różnej rozdzielczości – tzw. piramidy obrazów, w których każdy obraz jest otrzymywany przez filtrację dolnoprzepustową i „subsampling” jego poprzednika. Dwie testowane metody z tej grupy to metoda „Piramidy Laplace’a” (PL) (Aiazzi, *et al.*, 1999) oraz metoda falkowa DWT oparta o propozycję ARSIS (Ranchin, Wald, 2000).

Kolejną grupę metod uwzględnionych w badaniach stanowią rozwiązania, w których poszukiwane są relacje lokalne pomiędzy obrazami spektralnymi o niższej rozdzielczości a obrazem panchromatycznym. Przekształcenie prowadzące do uzyskania obrazu syntetycznego bazuje na filtrach adaptacyjnych AIM – *Adaptive Intensity Matching filters*. W oparciu o tą technikę propozycje podał m.in. Béthune *et al.* (1998), proponując metody doboru lokalnej średniej jasności obrazu (LMM – *Local Mean Matching*) i doboru lokalnej średniej i wariancji obrazu (LMVM – *Local Mean Variance Matching*). Obie techniki

były testowane wielowariantowo, w oknach 3x3, 5x5, 7x7, 9x9, 11x11, 15x15, 21x21, 31x31, 41x41, 51x51, 61x61, 121x121, 361x361, w tym z uwzględnieniem wariantu uproszczonego, opartego o obraz ekwiwalentny (wykorzystanie tzw. przestrzeni INR - *Intensity-Normalised Ratio*). W rankingu znalazły się rozwiązania wyselekcjonowane z wszystkich testowanych (liczba za akronimem oznacza wielkość okna analiz lokalnych): LMM21, LMM-INR05, LMM-INR11. Rozwiązanie, również oparte o lokalne relacje między obrazami, podał Hill *et al.* (1999) w metodzie LCM (*Local Correlation Modelling*). W metodzie zakłada się, że podobieństwo umiejscowienia krawędzi powinno manifestować się lokalną korelacją pomiędzy kanałami, o ile okno analiz okaże się wystarczająco małe. Taka lokalna zależność powinna występować nawet wtedy, kiedy nie zachodzi globalna korelacja między zestawami danych. Testowano występowanie zależności w oknach 3x3, 5x5, 7x7, 11x11, 15x15, 21x21, 31x31, 41x41, 51x51, 61x61. W rankingu znalazło się rozwiązanie o oknie 61x61 (LCM61).

Ostatnią grupę testowanych metod stanowią wybrane kombinacje zaprezentowanych wyżej formuł. W metodach wykorzystujących transformacje liniowe, zamiast zastąpienia obrazem PAN składowej I (metoda IHS) lub pierwszej głównej składowej (metoda PCA), następuje wzmocnienie tych obrazów na drodze analiz teksturalnych (IHS-PRAD, PCA-PRAD), filtracji górnoprzepustowej (IHS-HPF, PCA-HPF – wykorzystane okno filtracji: 9x9) lub lokalnych operacji na obrazach (IHS-LMVM, PCA-LMVM – wykorzystane okno analiz: 41x41). Takie rozwiązania stosowali Mularz, Pirowski (2006), Mróz (2001).

4. CEL I METODYKA BADAŃ

Celem badań była próba usystematyzowania metod integracji wg kryteriów formalnych (statystycznych). Do analizy statystycznej wykorzystano parametry syntetycznie opisujące stopień zniekształcenia spektralnego oraz stopień wzrostu uczytelnienia obrazów. Parametr nQ% zaproponowany przez Walda (2000) i uproszczony w badaniach prowadzonych dla jednego zestawu danych przez Pirowskiego (2006) ma następującą formułę:

$$(1) \quad nQ_{\%} = 100 \cdot \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{b=1}^k \frac{RMS(b)^2}{MS_{sr}(b)^2}}$$

gdzie:

RMS (b) – średni błąd kwadratowy jasności pikseli kanału (b) po fuzji w stosunku do odpowiadających im jasności pikseli oryginalnych;

MS_{sr} (b) – średnia wartość jasności pikseli na kanale spektralnym (b);

k – ilość kanałów.

Jest to względna wartość średniego błędu kwadratowego poziomu jasności wszystkich pikseli z dowolnej ilości kanałów spektralnych po scaleniu w stosunku do kanałów oryginalnych. Wartość jest wyrażana w procentach, gdyż odnosi się do średniej jasności.

Dla pomiaru wzmocnienia przestrzennego wykorzystano korelację pomiędzy obrazami poddawanymi filtracji górnoprzepustowej w oknie (3x3) (Zhou *et al.* 1998). W ten sposób parami badano zgodność krawędzi obrazów po integracji z obrazem panchromatycznym. Dla lepszej interpretacji jego wartości zastosowano wartości R^2 (współczynnika determinacji korelacji) i wyrażano je w [%]. Wtedy wartość parametru można interpretować jako stopień obecności krawędzi na scalonym obrazie spektralnym w stosunku do znajdujących się w kanale PAN. Zgodnie z propozycją Pirowskiego (2006) wykorzystano parametr syntetyczny $AIL_{\%}$ oparty o średnią arytmetyczną z trzech takich współczynników z każdego kanału wchodzącego w skład trypletu.

5. WYBÓR KOMPOZYCJI BARWNYCH

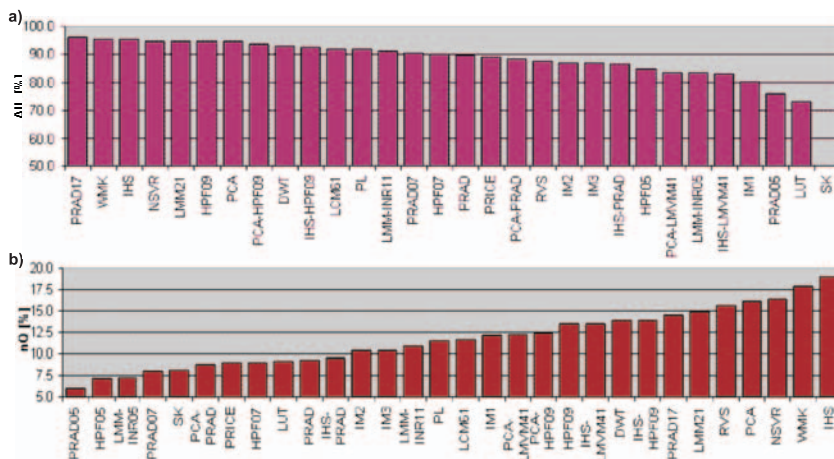
Badania przeprowadzono dla pełnego zestawu kanałów oraz dla sześciu wybranych trypletów kanałów, tj. kompozycji barwnych: KB123, KB134, KB174, KB571, KB354, KB457. Wybór kompozycji podyktowany był ich różnorodnością oraz pojemnością informacyjną wyznaczoną za pomocą dwóch parametrów: OIF (Chavez *et al.*, 1982) i MOIK (Moik, 1980). Wskaźnik OIF - *Optimum Index Factor* wyraża normalizację sumy odchyłeń standardowych i współczynników korelacji trzech dowolnych kanałów spektralnych tworzących daną kompozycję barwną. Wskaźnik MOIK (pochodzący od nazwiska autora propozycji), jest sumą modułów korelacji trypletu kanałów spektralnych (mianownikiem wskaźnika OIF). Dla OIF wysokie wartości oznaczają, że z formalnego punktu widzenia zestaw trzech kanałów zawiera dużą objętość i różnorodność informacji. Natomiast niskie wartości wskazują na podobieństwo i powielanie informacji zawartych w kanałach. W przypadku wskaźnika MOIK zasada jest odwrotna.

Na podstawie ww. parametrów za najlepszą kompozycję uznano KB174. Dla kompozycji KB134 zanotowano najwyższe wskaźniki spośród wszystkich kombinacji kanałów widzialnych i bliskiej podczerwieni (TM4). Podobną analizę przeprowadzono dla kombinacji dwóch dowolnych kanałów podczerwonych (TM4, TM5, TM7) i jednego kanału widzialnego (wybrano KB354) oraz dwóch kanałów z zakresu średniej podczerwieni (TM5, TM7) i jednego kanału widzialnego (wybrano KB571). Zestaw testowanych kompozycji uzupełniono o dwie charakterystyczne: złożoną tylko z kanałów widzialnych (KB123) oraz złożoną tylko z kanałów podczerwonych (KB457).

6. PORÓWNANIE PRODUKTÓW SCALANIA - ANALIZA STATYSTYCZNA

Dla każdego zestawu scalonych danych (trójek kanałów w danej kompozycji barwnej lub średniej dla sześciu kanałów) obliczono syntetyczne parametry wzmocnienia przestrzennego oraz zniekształcenia spektralnego. Na tej podstawie uszeregowano

metody dla każdej z kompozycji oraz dla średniej dla całego zestawu kanałów. Poniżej zilustrowano wynik uzyskany dla KB123: ranking wg ucztyelnienia (Rys. 4a) i wg zniekształcenia spektralnego (Rys. 4b).



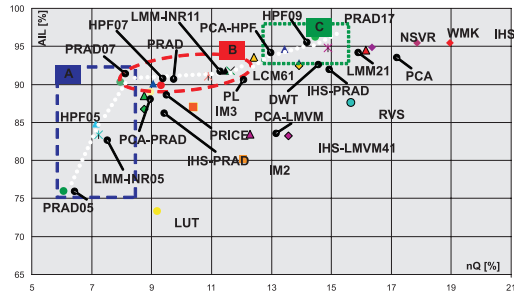
Rys. 4. Ranking metod integracji dla KB123 wg: a) wzmocnienia przestrzennego; b) zniekształcenia spektralnego.

Trudno o wybór właściwej metody, gdy niezależnie rozpatruje się oba rankingi. Spójne porównanie wzajemnych zależności skali zniekształcenia informacji spektralnej do uzyskiwanej skali wzmacniania przestrzennego jest możliwe przez zastosowanie formalno-graficznej metody „diagramu wyników” (Pirowski, 2006). Pozwala ona na wskazania optymalnych metod scalania na podstawie analizy parametrów statystycznych obrazów powstałych po scaleniu.

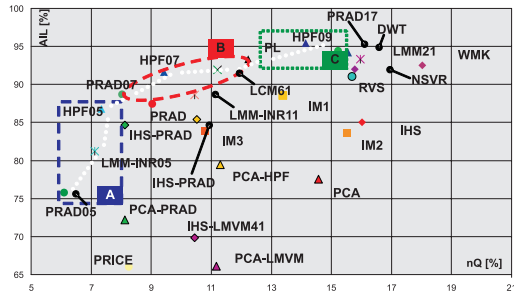
Metoda opiera się na założeniu, że najlepsze metody to takie, dzięki którym uzyskuje się syntetyczne obrazy charakteryzujące się najlepszą relacją wzmocnienia przestrzennego do zniekształcenia spektralnego. Niemożliwe jest jednak wskazanie jednego rozwiązania, a jedynie metody relatywnie najlepsze dla konkretnego poziomu wzmocnienia przestrzennego bądź zniekształcenia spektralnego, ponieważ oba wskaźniki nie są ze sobą wprost porównywalne. Wyznaczenie takiego zbioru rozwiązań ze wszystkich dostępnych możliwe jest właśnie dzięki użyciu „diagramu wyników”.

Na pojedynczym diagramie wyników umieszcza się punkty reprezentujące pary wskaźników statystycznych uzyskanych dla wybranej KB (trypletu kanałów) lub pełnego zestawu kanałów (w przypadku danych Landsat jest to 6 kanałów). Rysunki 5-10 przedstawiają układy punktów reprezentujących wyniki scalania uzyskane przy pomocy trzydziestu testowanych metod, w przekroju poszczególnych kompozycji barwnych oraz pełnego zestawu kanałów.

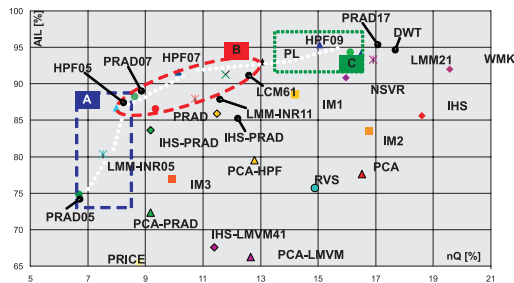
Graficzna analiza relacji wzajemnego położenia punktów pozwala na precyzyjne określenie zbioru rozwiązań o najkorzystniejszych relacjach formalnych parametrów



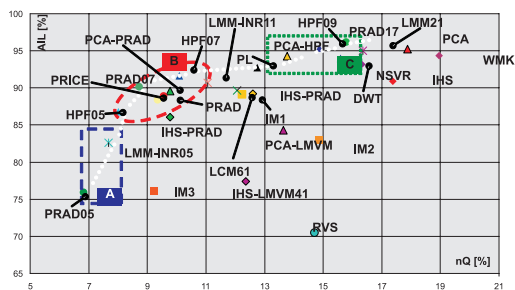
Rys. 5. Diagram wyników – wyznaczenie zbioru najlepszych metod integracji dla KB123: A – o niskim błędzie spektralnym $nQ\% < 8\%$; B – „kompromisowe” o relatywnie wysokim wzmocnieniu przestrzennym i niskim błędzie spektralnym; C – o wysokim wzmocnieniu przestrzennym $AIL\% > 92.5\%$.



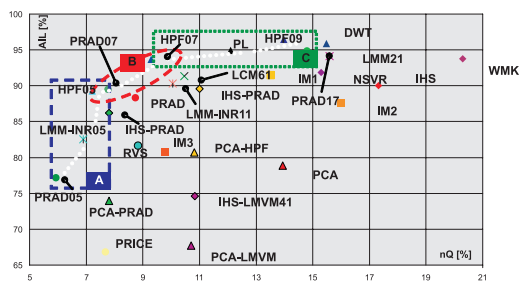
Rys. 6. Diagram wyników – wyznaczenie zbioru najlepszych metod integracji dla KB134: A – o niskim błędzie spektralnym $nQ\% < 8\%$; B – „kompromisowe” o relatywnie wysokim wzmocnieniu przestrzennym i niskim błędzie spektralnym; C – o wysokim wzmocnieniu przestrzennym $AIL\% > 92.5\%$.



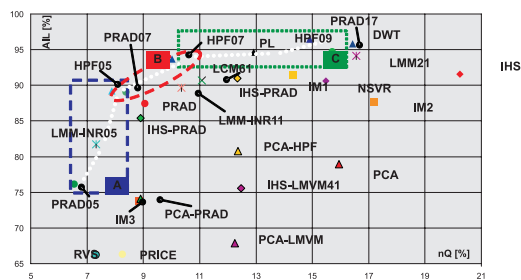
Rys. 7. Diagram wyników – wyznaczenie zbioru najlepszych metod integracji dla KB174: A – o niskim błędzie spektralnym $nQ\% < 8\%$; B – „kompromisowe” o relatywnie wysokim wzmocnieniu przestrzennym i niskim błędzie spektralnym; C – o wysokim wzmocnieniu przestrzennym $AIL\% > 92.5\%$.



Rys. 8. Diagram wyników – wyznaczenie zbioru najlepszych metod integracji dla KB571: A – o niskim błędzie spektralnym $nQ_{\%} < 8\%$; B – „kompromisowe” o relatywnie wysokim wzmocnieniu przestrzennym i niskim błędzie spektralnym; C – o wysokim wzmocnieniu przestrzennym $AIL_{\%} > 92.5\%$.



Rys. 9. Diagram wyników – wyznaczenie zbioru najlepszych metod integracji dla KB354: A – o niskim błędzie spektralnym $nQ_{\%} < 8\%$; B – „kompromisowe” o relatywnie wysokim wzmocnieniu przestrzennym i niskim błędzie spektralnym; C – o wysokim wzmocnieniu przestrzennym $AIL_{\%} > 92.5\%$.



Rys. 10. Diagram wyników – wyznaczenie zbioru najlepszych metod integracji dla KB457: A – o niskim błędzie spektralnym $nQ_{\%} < 8\%$; B – „kompromisowe” o relatywnie wysokim wzmocnieniu przestrzennym i niskim błędzie spektralnym; C – o wysokim wzmocnieniu przestrzennym $AIL_{\%} > 92.5\%$.

$nQ_{\%}$ i $AIL_{\%}$. Wyznacza go krzywa (przerywana biała linia) łącząca punkty leżące na zewnętrznej części zestawu rozwiązań: od niskiego wzmocnienia przestrzennego (strefa „A”), poprzez średnie (strefa „B”), aż do wysokiego (strefa „C”), przy możliwie niskim do osiągnięcia zniekształceniu spektralnym. Przesuwając się po wyznaczonej krzywej otrzymuje się kolejne zestawy scalonych danych o różnych charakterystykach formalnych, przy czym zasada jest, że wraz ze wzrostem ilości ładowanej informacji przestrzennej rośnie zniekształcenie spektralne syntetycznych produktów obrazowych. Cechą wspólną najkorzystniejszych rozwiązań jest to, że nie istnieją żadne inne, dla których notowano by lepszą formalną zależność skali wzmocnienia przestrzennego do zniekształcenia spektralnego. Innymi słowy: wszystkie pozostałe metody mogą zostać zastąpione przynajmniej jednym alternatywnym rozwiązaniem leżącym na wyznaczonej krzywej. Taka zamiana jednego zestawu scalonych obrazów na drugi poprawia przynajmniej jeden ze wskaźników formalnych przy niezmiennym drugim, a z reguły oba ulegają poprawie. Wtedy stosunek pomiędzy ilością informacji przestrzennej a zniekształceniem spektralnym jest lepszy niż wcześniej. Taka konstatacja dotycząca całego zbioru rozwiązań pozwala na wykluczenie części metod pod względem formalnym. Zmiana metody integracji jest najbardziej pożądana w przypadku, gdy wynik scalania reprezentowany przez punkt leży daleko od wyznaczonej krzywej (Pirowski, 2006).

W tabeli 1 zestawiono wszystkie optymalne wyniki wskazane na diagramach. Zastosowane podejście formalne zakłada, że metoda integracji jest oceniana na podstawie uzyskanych wyników, a więc przez charakterystykę obrazów po fuzji. Dlatego otrzymane rezultaty należy traktować jako próbę oceny formalnej metod. Powtarzalność miejsc występowania metod w rankingach i w strefach „A”, „B” i „C” wymaga przeprowadzenia dodatkowych badań na innych zestawach danych.

Należy oczekiwać, że metody generujące syntetyczne obrazy o korzystnych relacjach wskaźników formalnych są takimi, które pozwalają uzyskać najlepszy materiał obrazowy do interpretacji wizualnej oraz dalszego przetwarzania obrazowego jak filtracje, transformacje liniowe obrazów, wagowanie międzykanałowe czy klasyfikacja danych.

Tab. 1. Zestawy najkorzystniejszych metod określone wg wskaźników formalnych.

	Strefa „A”. Zastosowania wymagające niskich błędów spektralnych $nQ_{\%}<8\%$	Strefa „B” Zastosowania wszechstronne (metody uniwersalne)	Strefa „C” Zastosowania wymagające wysokiego wzmocnienia $AIL_{\%}>92.5\%$
6 kan.	PRAD05, LMM-INR05, HPF05	PRAD07, HPF07	PL, HPF09
KB 123	PRAD05, HPF05	PRAD07, LMM-INR11, PL, LCM61	HPF09, PRAD17, PCA\HPF09
KB 134	PRAD05, HPF05	HPF05, PRAD07, HPF07, LCM61	PL, HPF09
KB 174	PRAD05, LMM-INR05	HPF05, PRAD07, HPF07	PL, HPF09
KB 571	PRAD05, LMM-INR05	HPF05, PRAD07, HPF07, PL	PCA-HPF09, HPF09, PRAD17
KB 354	PRAD05, LMM-INR05, HPF05	HPF05, PRAD07, HPF07	HPF07, PL, HPF09,
KB 457	PRAD05, LMM-INR05	HPF05, HPF07	HPF07, PL, HPF09,

7. DYSKUSJA WYNIKÓW

Analizując rysunki 5-10 i tabelę 1 łatwo zauważyć, że pewne metody powtarzają się praktycznie w każdej testowanej KB. Najczęściej w zbiorze optymalnych rozwiązań występują metody PRAD05, LMM-INR05 (grupa metod o $nQ_{\%} < 8\%$, strefa „A”), HPF05, PRAD07, HPF07 (metody „kompromisowe”, uniwersalne, strefa „B”) oraz PL i HPF09 (grupa metod o $AIL_{\%} > 92.5\%$, strefa „C”). Rozwiązania oscylujące pomiędzy dwiema grupami lub występujące w obu naraz to HPF05 i HPF07. Sporadycznie wystąpiły metody LMM-INR11, LCM61, PRAD17 oraz PCA-HPF09. Łącznie pojawiło się (przynajmniej raz) wśród metod optymalnych tylko 11 z 30. testowanych metod. Wśród najkorzystniejszych rozwiązań nie znalazła się ani raz metoda IHS, ani jej modyfikacje. Warto jednak zauważyć, że aż sześciokrotnie wystąpiła w grupie metod uniwersalnych metoda PRAD07 będąca zaproponowaną przez autora modyfikacją PRAD.

Z kolei, na podstawie analizy rozmieszczenia metod na wykresach wyniku, że dużym zmianom w notowanych wartościach wskaźników (graficznie manifestuje się to przesunięciami na diagramach wyników) podlegają głównie metody o gorszych parametrach formalnych. To przede wszystkim te metody zmieniały znacznie miejsce w rankingach opartych o wartości $nQ_{\%}$ i $AIL_{\%}$, zestawionych w przekrojach poszczególnych kompozycji barwnych. Tego typu „efemeryczne” metody uniemożliwiały wskazanie metod najlepszych ze zbioru wszystkich testowanych podejść, bez uciekania się do analizy formalno-graficznej „diagramu wyników”.

Reasumując: spośród testowanych rozwiązań aż 19 metod może zostać skutecznie zastąpione dla dowolnej KB oraz dla całego zestawu danych przynajmniej przez jedno z 11. rozwiązań wskazanych jako najkorzystniejsze. Oznacza to, że cała dziewiętnastka metod może być - z formalnego punktu widzenia - zupełnie odrzucona jako nieprzydatna, o niskiej efektywności skalania obrazów. Wybór konkretnej alternatywy (jednej z 11. ze zbioru najkorzystniejszych) zależy przede wszystkim od oczekiwań stawianych nowym, syntetycznym obrazom.

Dla przykładu, jeżeli poszukuje się sposobów uczynienia obrazów w stopniu maksymalnie chroniącym wejściową informację tematyczną, najlepsze rezultaty uzyska się stosując rozwiązania PRAD, LMM-INR i HPF operujące na małych oknach obliczeń. Oczywiście, w takim przypadku skala wzmocnienia przestrzennego obrazów po fuzji tymi metodami będzie niewielka, ale i tak najwyższa z dostępnych rozwiązań przy wymaganiach tak niskim poziomie generowanych błędów spektralnych.

Stosując analogiczne rozumowanie najkorzystniejszym wyborem dla zastosowań wymagających wyraźnego podkreślenia konturów na obrazach jest metoda HPF09, która sprawdza się w każdej konfiguracji trypletów kanałów. W zależności od KB alternatywą mogą być także takie rozwiązania jak PL, PCA-HPF09, PRAD17 i HPF07.

Trzon ostatniej grupy, o charakterze uniwersalnym, stanowi metoda PRAD07. Produkty skalania otrzymane tą drogą charakteryzują się relatywnie wysokim poziomem informacji przestrzennej przy relatywnie niskim zniekształceniu tematycznym obrazów. W zależności od KB korzystne formalnie wyniki uzyskuje się stosując podejścia HPF05, HPF07, LCM61 oraz PL.

8. KONKLUZJE

Dzięki przeprowadzonym doświadczeniom wykazano, że możliwe jest uzyskanie szeregu różnorodnych produktów scalania – i to często w obrębie jednej metody, zmieniając jej parametry. Fuzja obrazów jest więc elastyczną procedurą, dzięki której można otrzymać zarówno zestawy kanałów spektralnych o dużym uczytelnieniu jak i obrazy o dużej wierności spektralnej.

Dotychczas nie opracowano w pełni uniwersalnej metody integracji danych. Nie można bowiem otrzymać scalonych obrazów o wysokim uczytelnieniu, a przy tym pozbawionych zniekształcenia spektralnego. Badania statystyczne prowadzone w niniejszej publikacji wykazały, że te dwie cechy obrazów otrzymanych na drodze fuzji są z sobą powiązane. Od wyboru metody zależy przede wszystkim relacja tych dwóch cech i można wskazać takie rozwiązania, które mniejszym kosztem zniekształcenia informacji tematycznej dają większe uczytelnienie. Jednak to użytkownik decyduje, na jakim poziomie oczekuje wzmocnienia przestrzennego i jaki dopuszcza maksymalny błąd danych, z których korzysta. Z reguły determinuje to rodzaj prowadzonej analizy, a więc wybór metody scalania (lub wskazanie konkretnego wariantu metody), jest podporządkowany celowi badań. Odpowiednio dobierając metody integracji i ich parametry można wpływać i optymalizować syntetyczny produkt obrazowy, tak aby jego przydatność dla rozwiązania postawionego problemu była możliwie najwyższa.

Uzasadnione wydaje się prowadzenie dalszych badań w tym przedmiocie, w celu określenia zgodności otrzymanych wskaźników formalnych z faktyczną przydatnością scalonych danych satelitarnych do takich zastosowań jak interpretacja wizualna, segmentacja i klasyfikacja danych. Wymaga także przeprowadzenia doświadczeń zasadność przenoszenia uzyskanych wyników na produkty łączenia innych danych satelitarnych. Odpowiedź na to pytanie jest o tyle aktualna, że pomimo wciąż zwiększających się możliwości rozdzielczych, a także spektralnych nowych sensorów, nadal występuje rozbieżność przestrzenna w rejestracji danych panchromatycznych i multispektralnych.

9. LITERATURA

Aiazzi B., Alparone L., Baronti S., Pippi I., 1999. Fusion of 18 m MOMS-2P and 30 m Landsat TM multispectral data by the generalized laplacian pyramid. *Int. Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 32, s. 116-122.

Béthune S., Muller F., Donnay J. P., 1998: Fusion of multispectral and panchromatic images by local mean and variance matching filtering techniques. *Proceedings of Fusion of Earth Data*, Sophia Antipolis, Nice, France, s. 31-37. National Remote Sensing Agency, Hyerabad, s. 31-37.

Chavez P. S., Jr., 1986. Digital Merging of Landsat TM and digitized NHAP data for 1:24,000-scale image mapping. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 52, No. 10, s. 1637-1646.

Chavez, P. S., Berlin G. L., Sowers L. B., 1982. Statistical Methods for Selecting Landsat MSS Ratios. *Applied. Photographic Engineering*, Vol. 8, No. 1, s. 22-30.

Cliché G., F. Bonn, P. Teillet, 1985. Integration of the SPOT panchromatic channel into its multispectral mode for image sharpness enhancement. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 51, No. 3, s. 311-316.

Cochrane R., Lasselin D., 1992. *Production over urban environment of a rectified and enhanced natural color image: a simple methodology for processing SPOT panchromatic and multispectral data on microcomputer*. Auckland town (New Zealand) MULTISCOPE software in Remote sensing and insular environments in the Pacific: integrated approaches, ORSTOM 1992, s. 425-447.

Filiberti D. P., Marsh S. E., Schowengerdt R. A., 1994. A local correlation approach for the fusion of remote sensing data with different spatial resolutions. *Optical Engineering*, 33(8), s. 2520-2528.

Hallada W. A., Cox S., 1983. Image sharpening for mixed spatial and spectral resolution satellite systems. *Proc. Of the 17th International Symposium on Remote Sensing of Environment*, 9-13 May, s. 1023-1032.

Hill J., Diemer C., Stöver O., Udelhoven Th., 1999. A local correlation approach for the fusion of remote sensing data with different spatial resolutions in forestry applications. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 32, Part 7-4-3, W6, Valladolid, Spain.

Moik, J. G., 1980. *Digital Processing of Remotely Sensed Images*. Washington, D.C.NASA, Government Printing Office.

Mróz M., 2001. Podwyższenie rozdzielczości przestrzennej obrazów wielospektralnych Landsat 7 ETM+ przy wykorzystaniu właściwych teksturalnych i radiometrycznych kanału panchromatycznego. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 11, s. 430-411.

Mróz M., Szumiło M., 2005. Metody i podejścia stosowane w integrującym przetwarzaniu obrazów teledetekcyjnych pozyskanych za pomocą różnych sensorów. *Acta Scientiarum Polonorum, Geodezja i Kartografia*, Wrocław,4(1), s. 17-28.

Mularz S., Pirowski T., 2006. Aspekty metodyczne integracji danych teledetekcyjnych w oparciu o metodę IHS i jej modyfikacje. *Zeszyty naukowe AGH, „Geodezja”*, T.12, z.2, cz.1, s. 330-332.

Munehika C. K., Warnick J. S., Salvaggio C., Schott J. R., 1993. Resolution enhancement of multispectral image data to improve clasification accuracy. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 59, No 1, s. 67-72.

Pirowski, 2005. *Ocena przydatności metod integracji zobrazowań teledetekcyjnych pozyskiwanych różnymi sensorami*. Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, Kraków. Rozprawa doktorska, nie publikowana.

Pirowski T., 2006. Integracja danych teledetekcyjnych pochodzących z różnych sensorów - propozycja kompleksowej oceny scalonych obrazów. *Geoinformatica Polonica*, z. 8. Kraków, s. 78-87.

- Pohl C., Genderen J. L. Van, 1998. Multisensor image fusion in remote sensing: concepts, methods and applications. *Int. J. Remote Sensing*, Vol. 19, 823-854.
- Pradines D., 1986. Improving SPOT images size and multispectral resolution. *Proceedings of the S.P.I.E. Earth Remote Sensing using Landsat Thematic Mapper and SPOT Systems*", Innsbruck, Austria, Vol. 660, s. 98-102.
- Price J. C., 1987. Combining panchromatic and multispectral imagery from dual resolution satellite instruments. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 21, s. 119-128.
- Ranchin T., Wald L., 2000. Fusion of high spatial and spectral resolution images: the ARSIS concept and its implementation. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 66, s. 49-61.
- Schowengerdt R. A., 1980. Reconstruction of multispatial, multispectral image data using spatial frequency content. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 46, No. 10, s. 1225-1334.
- Shettigara V. K., 1992. A generalized component substitution technique for spatial enhancement of multispectral images using a higher resolution data set. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 58, No 5, s. 561-567.
- Wald L., 2000. Quality of high resolution synthesized images: is there a simple criterion? Ranchin T., Wald L. (red.), *Proceedings of the third conference: Fusion of Earth data: merging point measurements, raster maps and remotely sensed images*, Sophia Antipolis, France, s. 99-103.
- Wiemker R., Prinz B., Meister G., Franck R., Spitzer H., 1998. Accuracy assessment of vegetation monitoring with high spatial resolution satellite imagery. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 32, part 7, s. 285-292.
- Zhang Y., 1999. A new merging method and its spectral and spatial effects. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 20, No 10, s. 2003-2014.
- Zhou J., Civco D. L., Silander J. A., 1998. A Wavelet transform method to merge Landsat TM and SPOT panchromatic data. *Int. J. Remote Sensing*, Vol. 19, No 4, s. 743-757.

RANK OF FUSION METHODS OF REMOTELY SENSED IMAGES OF VARIOUS RESOLUTION - FORMAL ASSESSMENT OF MERGING LANDSAT TM AND IRS-PAN DATA

Keywords: fusion of remotely-sensed images, statistical evaluation, spatial enhancement, spectral distortion, LANDSAT, IRS

SUMMARY: The paper presents results of merging lower-resolution spectral data (Landsat) with panchromatic images of higher resolution (IRS). The testing field (20x10 km) covers the Cracow agglomeration. Thirty methods of merging satellite data (including their variants) have been tested. They are based on the canal substitution, on algebraic operations (including quotient operations), textural image features, look-up table, linear transformations, filters, local image transformations and on analyses of various-resolution images. There are also combinations of the above approaches.

Two aspects of the obtained synthetic images have been formally assessed – their improvement for photo interpretation and thematic distortion. The rank of thirty merging methods has been made for both aspects. The so called ‘result diagram’ has allowed to appoint the best methods according to the assessed factors. There is a group of methods with the best relation between the spatial enhancement and the spectral distortion. There are the best methods within each tested colour composite image. There are also the best methods assessed for the average value obtained for the six synthetic spectral bands.

dr inż. Tomasz Pirowski
pirowski@agh.edu.pl
telefon: +48 12 6172288

* praca zrealizowana w ramach badań statutowych AGH 11.11.150.949

** wersja kolorowa artykułu jest dostępna na stronie <http://www.sgp.geodezja.org.pl/ptfit>

**MAPOWANIE TONALNE OBRAZÓW O PODWYŻSZONEJ
ROZDZIELCZOŚCI RADIOMETRYCZNEJ Z WYKORZYSTANIEM
TRANSFORMACJI FALKOWEJ***

**TONAL MAPPING OF IMAGES WITH INCREASED RADIOMETRIC
RESOLUTION USING WAVELET TRANSFORM**

Krystian Pyka

Katedra Geoinformacji, Fotogrametrii i Teledetekcji Środowiska,
Akademia Górniczo-Hutnicza

SŁOWA KLUCZOWE: mapowanie tonalne, rozdzielczość radiometryczna, transformacja falkowa

STRESZCZENIE: Stosowanie cyfrowych kamer fotogrametrycznych o podwyższonej rozdzielczości radiometrycznej powoduje konieczność redukcji zakresu tonalnego do wielkości stosowanej w grafice komputerowej. Zabieg ten jest szczególnym przypadkiem mapowania tonalnego jakie ma miejsce przy wizualizacji obrazów cyfrowych na ekranach monitorów komputerowych. W mapowaniu najczęściej wykorzystuje się funkcję gamma, która transformuje liniową skalę jasności obrazu na logarytmiczną, co generuje obraz lepiej rozpoznawalny przez człowieka. W pracy przedstawiono koncepcję wykorzystania transformacji falkowej do mapowania tonalnego. Proponowana metoda ma charakter etapowy. Wpierw ustala się arbitralnie kilka funkcji transformujących o postaci logarytmicznej i wykładniczej. Następnie dokonuje się mapowania z zastosowaniem poszczególnych funkcji. W kolejnym etapie obraz źródłowy i wszystkie obrazy zmapowane są poddawane transformacji falkowej. Porównanie komponentów falkowych pomiędzy obrazem pierwotnym a obrazami wynikowymi odzwierciedla spadek kontrastu lokalnego jaki następuje wskutek mapowania. Finalna funkcja mapująca jest złożona z segmentów funkcji inicjalnych wybranych tak, aby zminimalizować spadek kontrastu. Koncepcja została poddana weryfikacji praktycznej, w której wykorzystano zdjęcie lotnicze wykonane fotogrametryczną kamerą cyfrową DMC. W stosunku do mapowania funkcją gamma uzyskano obraz zawierający znacznie więcej szczegółów w cieniach i światłach. Dowodzi to słuszności założenia, że komponenty transformacji falkowej są nośnikami kontrastów lokalnych obrazu.

1. WPROWADZENIE

Fotografowanie na materiałach srebrowych zostało praktycznie zastąpione przez technikę cyfrową. Nowa technika nie wyeliminowała trudności jakie napotykamy fotografując sceny o dużej różnicy luminancji. Odwzorowanie szczegółów w cieniach i światłach jest w dalszym ciągu problemem, który zwłaszcza w przypadku scen krajobrazowych należy zaliczyć do kluczowych z punktu widzenia jakości radiometrycznej. Problem ten dotyczy w pełni zdjęć lotniczych, dlatego w fotogrametrii stosowane są kamery cyfrowe o podwyższonej rozdzielczości radiometrycznej (większej niż 8 bitów na piksel dla pojedynczego kanału spektralnego). Kamery te rejestrują szerszy zakres luminancji aniżeli kamery analogowe. Nie eliminuje to jednak w pełni kłopotów z odwzorowaniem szczegółów w cieniach i światłach gdyż dla potrzeb opracowania zdjęć redukuje się rozdzielczość radiometryczną do standardowej.

W pracy przedstawiono możliwość zastosowania transformacji falkowej obrazu dla potrzeb minimalizacji strat jakości jakie następują podczas redukcji rozdzielczości radiometrycznej.

2. ZAKRES TONALNY A ROZDZIELCZOŚĆ RADIOMETRYCZNA

Przez zakres tonalny sceny rozumie się stosunek luminancji miejsca najjaśniejszego do luminancji miejsca najciemniejszego (scena to fragment rzeczywistości zapisany w kadrze zdjęcia). Stosunek luminancji miejsc oświetlonych bezpośrednio przez Słońce do luminancji miejsc zacienionych może wynosić nawet 100 000:1. Aby zmieścić taką rozpiętość luminancji w zapisie cyfrowym trzeba zarezerwować więcej niż 16 bitów na piksel ($2^{16}=65536$, $2^{17}=131072$) i należy pamiętać, że dotyczy to jednego kanału spektralnego. Tymczasem kamery cyfrowe rejestrują obraz w rozdzielczości 11 lub co najwyżej 12 bitowej. Oczywiście rezerwacja większej liczby bitów jest możliwa, gdyż jest to zabieg czysto techniczny, ale ma on sens tylko wtedy, gdy detektory są odpowiednio czułe i precyzyjne, że uzasadniona jest kwantyzacja mierzonej energii na odpowiednio dużej liczbie poziomów.

Detektory kamer cyfrowych mają swój zakres tonalny, który jest równy ilorazowi maksymalnej i minimalnej luminancji rejestrowanej przez sensor. Dla bardzo czułych detektorów waha się w granicach od 5 000:1 do 10 000:1, jest to zawsze wielkość mniejsza od zakresu tonalnego sceny. W charakterystyce technicznej detektorów operuje się pojęciem zakresu dynamicznego oznaczanego akronimem DR (ang. *Dynamic Range*), wyrażanym jako logarytm dziesiętny zakresu tonalnego T:

$$(1) \quad DR = \log T$$

Producenci kamer rzadko ujawniają rzeczywistą wartość DR natomiast częściej podają wartość rozdzielczości radiometrycznej. Pomiędzy rozdzielczością radiometryczną

wyrażoną jako #bit (liczba bitów przeznaczonych do zapisu luminacji piksela) a DR zachodzi związek:

$$2^{\text{bit}} \geq 10^{DR} \quad (2)$$

Rozdzielczość radiometryczna wyznacza zawsze nieco większy zakres liczbowy aniżeli wynosi rzeczywisty zakres dynamiczny kamery. Nie należy tego traktować tylko jako zabieg marketingowy, gdyż taka zależność ma uzasadnienie praktyczne. Przykładowo, jeśli DR sensora wynosi 3 ($T=1000$) to do kodowania należy wybrać 10 bitów, gdyż daje to najbliższy (przy systemie dwójkowym zapisu liczb) przedział gwarantujący zmieszczenie takiej liczby poziomów luminacji ($2^{10}=1024$). Nie należy zatem utożsamiać rozdzielczości radiometrycznej z rzeczywistym zakresem tonalnym zdjęcia. Są to wielkości bliskie, powiązane, ale nigdy w obrazie nie uzyskujemy rozpiętości tonalnej tak dużej, jak wynikałoby to z podanej przez producenta sensora rozdzielczości radiometrycznej.

Skutecznym sposobem odwzorowania na zdjęciu fotograficznym szerokiego zakresu tonalnego sceny jest technika HDR (ang. *High Dynamic Range*). Polega na wielokrotnej rejestracji sceny, każdorazowo przy innej ekspozycji (zmiana przysłony obiektywu) i zmontowaniu poszczególnych ujęć w jedno zdjęcie o szerokiej rozpiętości tonalnej. Technika ta nie może zostać zastosowana przy fotografowaniu dynamicznym, jakie zachodzi w fotogrametrii lotniczej.

Kolejnym elementem w ograniczającym możliwość obserwacji dowolnie szerokiego zakresu tonalnego są monitory komputerowe wyświetlające obrazy cyfrowe. Zakres tonalny bardzo dobrych monitorów zbliża się do wielkości 1 000:1, ale w powszechnym użytkowaniu są monitory o gorszych parametrach. Do możliwości monitorów dostosowany jest standard *de facto* zapisu obrazu cyfrowego z rozdzielczością radiometryczną 8 bitów (na kanał). Daje to rozpiętość tonalną w jednym kanale spektralnym zaledwie 256:1.

Zastosowanie kamer o zwiększonej rozdzielczości radiometrycznej nie zmienia faktu, że ortofotomapa, obecnie produkt fotogrametryczny, jest (i długo jeszcze będzie) udostępniana końcowemu użytkownikowi w rozdzielczości 8 bitowej (3x8 bitów dla obrazów barwnych).

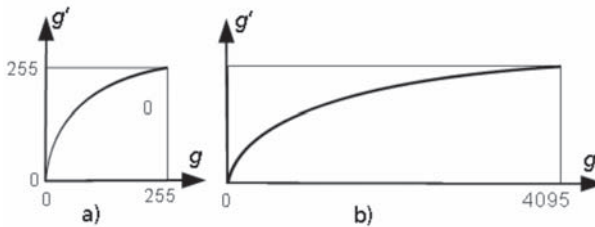
3. MAPOWANIE TONALNE

Przez mapowanie tonalne rozumie się odwzorowanie jasności² pikseli zapisanych w pliku obrazowym g na wartości które są przesyłane do urządzenia wyświetlającego obraz g' :

$$g' = fg \quad (3)$$

² Jasność piksela jest wielkością niemianowaną, odzwierciedla napromienienie jakie pada na detektor, które z kolei jest złożoną funkcją luminancji obiektu (detalu).

Mapowanie tonalne stosuje się praktycznie zawsze, często bez wiedzy osoby obserwującej obraz na ekranie monitora. Większość dobrych programów graficznych przy wyświetlaniu obrazów wielotonalnych automatycznie stosuje korekcję gamma (Rys. 1). Jest to przykład mapowania aplikowanego w celu zmiany liniowej skali jasności na logarytmiczną, zgodną z percepcją obrazu przez człowieka (Wyszecki, Stiles, 2000). Innym przykładem mapowania jest tzw. rozciągnięcie kontrastu obrazów 8 bitowych. Występuje wtedy gdy rzeczywisty zakres jasności obrazu jest wąski i rozszerzamy go na pełny 0-255, aby ułatwić człowiekowi rozróżnienie półtonów. Oba te przypadki będą w dalszej części pracy nazywane mapowaniem klasycznym.



Rys. 1. Przykłady mapowania: a) klasyczna korekcja gamma, b) redukcja zakresu tonalnego.

Szczególnym przypadkiem mapowania jest sytuacja, kiedy obraz g ma większy zakres jasności niż obraz użytkowy 8/24 bitowy, czyli kiedy dziedzina funkcji (1) jest dłuższa niż przeciwdziedzina. Taka sytuacja następuje gdy do rejestracji stosujemy obrazy o podwyższonej rozdzielczości radiometrycznej a eksploatujemy je w standardowej rozdzielczości. Zwróćmy uwagę na fakt, że w tym przypadku od mapowania oczekuje się, że zminimalizuje (nieuniknione) straty spowodowane zmniejszeniem zakresu jasności jednocześnie uwzględnieniem właściwości systemu wzrokowego człowieka (na podobieństwo korekcji gamma).

Konsekwencją uwzględnienia specyficznych właściwości postrzegania jasności przez człowieka jest ogólny trend funkcji mapującej zgodny z funkcją logarytmiczną. Taki przebieg krzywej (Rys. 1) powoduje rozciągnięcie „cieni” (niskie jasności) i przytłumienie „światła” (najwyższe jasności). Jednakże na ten ogólny trend można nałożyć lokalne zmiany krzywizny, które będą decydowały o sile rozciągnięcia i tłumienia w tych niewrażliwych fragmentach obrazu.

4. PODSTAWOWE WŁAŚCIWOŚCI FALKOWEJ TRANSFORMACJI OBRAZÓW

Transformacja falkowa obrazów jest częstotliwościowo-przestrzenną reprezentacją obrazu, wykazującą pewne podobieństwa do transformacji Fouriera a różniącą się od niej powiązaniem częstotliwości z miejscem jej występowania. Praktyczna realizacja trans-

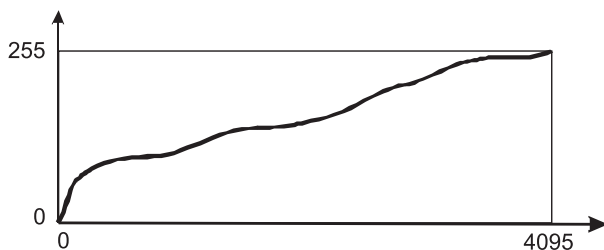
formacji dla obrazów jako sygnałów dwuwymiarowych polega na dekompozycji obrazu na cztery komponenty, z których jeden (tzw. zgrubny) reprezentuje tło obrazu a pozostałe trzy (tzw. detaliczne) przedstawiają krawędzie – odpowiednio pionowe, poziome i diagonalne (Mallat, 1998). Żadnego z tych komponentów nie można rozpatrywać z osobna, gdyż są one wzajemnie powiązane. Przykładowo w komponencie reprezentującym detale pionowe nie są zawarte wszystkie krawędzie pionowe, gdyż część z nich w dalszym ciągu (pomimo dekompozycji) znajduje się w komponencie zgrubnym. Charakterystyczną cechą transformacji falkowej jest możliwość jej kontynuowania w stosunku do wybranych komponentów, najczęściej rozwija się głębiej komponent zgrubny.

Komponenty detaliczne są zbudowane ze współczynników falkowych, które są tym większe im większy jest kontrast w danym miejscu obrazu (Pyka, 2005). Dlatego istnieje możliwość interpretacji tych komponentów jako wskaźników kontrastu lokalnego. Rozbicie kontrastu na trzy składowe daje możliwość wskazania tych miejsc obrazu, które są najmniej wyraziste z punktu widzenia kontrastu kierunkowego (rzut wektora kontrastu lokalnego w kierunku pionowym, poziomym i diagonalnym). Właściwość ta została wykorzystana w zaproponowanej w pracy koncepcji wykorzystania transformacji falkowej do mapowania tonalnego.

5. KONCEPCJA MAPOWANIA Z WYKORZYSTANIEM FALEK I REALIZACJA TESTOWA

Rozważane zadanie, polegające na rzutowaniu szerokiego zakresu tonalnego na standardowy, ma w ogólności nieskończenie wiele rozwiązań. Wybór określonej funkcji mapującej musi wynikać ze sformułowania warunków definiujących funkcję celu. Pewne przesłanki do zdefiniowania funkcji przejścia daje histogram jasności obrazu. Wzorując się na programach graficznych służących do klasycznego mapowania, można stosować manualne modelowanie krzywej przejścia, z równoczesną wizualną kontrolą efektów zmiany lokalnej krzywizny krzywej (przykład pokazuje Rys. 2). Jest to działanie obarczone dużą dozą subiektywizmu a ponadto operator często dochodzi do sprzecznych wyników w zależności od tego, które miejsce obrazu wybierze do obserwacji kontrolnej.

W zadaniu tym pomocne byłoby obiektywne wskazanie miejsc o słabych kontrastach. Można do tego celu wykorzystać komponenty detaliczne, które są zbiorem kontra-

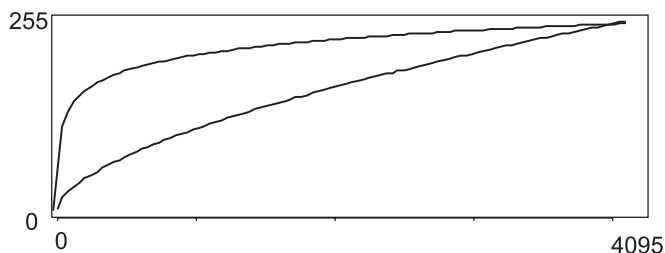


Rys. 2. Funkcja mapująca uzyskana na drodze manualnej.

stów lokalnych. Dodatkowo mając do dyspozycji komponent zgrubny można lokalizować słabe kontrasty w strefie cieni, półtonów i światła. W ten sposób powstaje zbiór miejsc „wrażliwych” z punktu widzenia rozważanego mapowania. W tych miejscach krzywa mapująca powinna mieć jak największe nachylenie. Z drugiej strony ze względu na zachowanie kontinuum jasności krzywa powinna być monotoniczna. Są to warunki częściowo sprzeczne i ograniczają przestrzeń, w której musi znaleźć się krzywa mapowania.

Biorąc pod uwagę powyższe rozważania zaproponowano następujące postępowanie:

- wybór kilku funkcji globalnych do przejścia z zakresu 0-4095 na zakres 0-255, tak aby tworzyły ciąg funkcji o innych krzywiznach w cieniach i światłach (funkcje logarytmiczne i wykładnicze o różnych wykładnikach i współczynnikach skalowych),
- wykonanie transformacji falkowej dla obrazu źródłowego i wszystkich obrazów przeskalowanych do zakresu 0-255,
- porównanie komponentów detalicznych pomiędzy kolejnymi obrazami przeskalowanymi a komponentami obrazu o pełnym zakresie tonalnym,
- podział zakresu 0-4095 na podzakresy i przypisanie każdemu tego przekształcenia globalnego dla którego spadek kontrastu był najmniejszy,
- złożenie funkcji wynikowej z fragmentów funkcji globalnych uznanych za najkorzystniejsze w poszczególnych podzakresach.



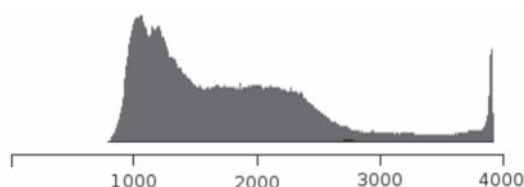
Rys. 3. Przykład globalnych funkcji mapujących.

Przedstawiona ścieżka postępowania została zrealizowana dla fragmentu zdjęcia lotniczego wykonanego kamerą cyfrową DMC z pikselem terenowym 10 cm. Jako inicjalne funkcje globalne wybrano 5 funkcji: logarytm dziesiętny i 4 funkcje wykładnicze. Dwie z nich pokazano na rysunku 3. Zakres 0-4095 podzielono na 10 równych przedziałów, którym przyporządkowano tą z 5. funkcji globalnych, dla której uzyskano najmniejszy spadek kontrastu.

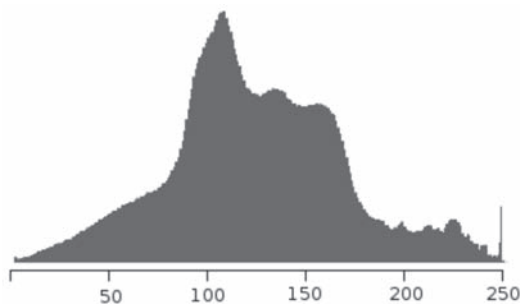
Do badania spadku kontrastu lokalnego wykorzystano różnicę transformat falkowych obrazów przeskalowanych i obrazu źródłowego. Wynik takiej operacji jest zbiorem współczynników obrazujących zmianę kontrastu lokalnego pomiędzy porównywanymi obrazami. Sumując różnice zachodzące dla jasności mieszczących się w jednym z dziesięciu przedziałów (dla wszystkich komponentów detalicznych) uzyskuje się wskaźnik zmiany kontrastu. Za kryterium wyboru najkorzystniejszej funkcji globalnej uznano najmniejszą wartość wskaźnika.

Ostatnim etapem zaproponowanego postępowania jest połączenie funkcji globalnych przypisanych do poszczególnych przedziałów w funkcję ciągłą zachowującą monotoniczność w całej dziedzinie. Zadanie to zrealizowano z pewnym przybliżeniem korygując manualnie wykresy w poszczególnych przedziałach tak, aby uzyskać gładkie połączenia segmentów. Zastosowane połączenie graficzne może być zastąpione przez aproksymację funkcji sklejaną.

W wyniku mapowania funkcją otrzymaną w opisany powyżej sposób uzyskano obraz którego histogram jest pokazany na rysunku 4b. W stosunku do histogramu obrazu źródłowego, widocznego na rysunku 4a widać zmiany kształtu. Znacznie wydłużona jest strefa cieni, wyeksponowane są także fragmenty półtonalne oraz podkreślone zmiany jasności w światłach. W efekcie obraz o zredukowanym zakresie tonalnym jest bardziej wyrazisty aniżeli każdy z obrazów zmapowanych funkcją globalną (w pracy nie zamieszczono obrazu gdyż jakość druku nie jest w stanie odzwierciedlić uzyskanego efektu).



a) histogram obrazu źródłowego



b) histogram obrazu przeskalowanego

Rys. 4. Porównanie histogramu przed (a) i po mapowania (b).

6. PODSUMOWANIE

Zastosowanie transformacji falkowej do wyboru funkcji mapującej przyniosło obiecujący rezultat. W stosunku do mapowania funkcją gamma uzyskano obraz zawierający znacznie więcej szczegółów w cieniach i światłach. Dowodzi to słuszności założenia, że falkowe komponenty detaliczne są nośnikami kontrastów lokalnych obrazu.

Przetestowane rozwiązanie wykorzystuje transformację falkową aplikowaną tylko jako pojedyncza dekompozycja. Autor jest zdania, że wykorzystanie dekompozycji wielorozdzielczej przyniesie jeszcze lepsze rezultaty a przede wszystkim pozwoli zautomatyzować proces.

7. LITERATURA

Mallat S., 1998. *A Wavelet Tour of Signal Processing*. Academic Press.

Pyka K., 2005. *Falkowe wskaźniki zmian radiometrycznych zachodzących w procesie opracowania ortofotomapy*. UWND AGH Kraków, 2005.

Wyszecki G., Stiles W.S., 2000. *Color Science, Concept and Methods, Quantitative Data and Formulae*. Second Edition, John Wiley and Sons ONC NY.

TONAL MAPPING OF IMAGES WITH INCREASED RADIOMETRIC RESOLUTION USING WAVELET TRANSFORM

KEY WORDS: tonal mapping, radiometric resolution, wavelet transformation

SUMMARY: The use of digital photogrammetric cameras with increased radiometric resolution requires the tonal range to be reduced to the values used in computer graphics. The procedure involves a unique operation of tonal mapping, which takes place while displaying digital images on a PC monitor. Gamma, the function most frequently used for mapping, transforms the linear scale of image brightness to a logarithmic one, generating an image which is easier to recognise by the human eye. The present paper presents a concept for the use of wavelet transform for tonal mapping. The method proposed has a number of stages. First, several transforming logarithmic and exponential functions are arbitrarily determined. Then, a mapping is performed using individual functions. In the following stage, the source and all the mapped images are subjected to wavelet transform. Comparison of the wavelet components between the primary and resultant images is represented by the decrease in local contrast resulting from mapping. The final mapping function is composed of the initial function segments, combined so as to minimise the reduction of contrast. The process was verified in practice, using an aerial photograph taken with a DMC digital photogrammetric camera. As compared to gamma-function mapping, an image containing much more detail in light and shade areas was achieved. This proves the assumption that the components of wavelet transform are the local contrast carriers of the image

dr hab. inż Krystian Pyka
krisfoto@agh.edu.pl
telefon: +48 12 6173826

* praca wykonana w ramach badań statutowych AGH 11.11.150.949/09

**PRZESTRZENNA WIZUALIZACJA DOBOWYCH ZMIAN ROZKŁADU
TEMPERATURY NA ZEWNĘTRZNEJ POWIERZCHNI BUDYNKU**

**SPATIAL VISUALISATION OF DAILY CHANGES IN TEMPERATURE
DISTRIBUTION ON THE OUTER WALL OF A BUILDING**

Aleksandra Rejowicz¹, Alina Wróbel², Andrzej Wróbel³

¹Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska,
Akademia Górniczo-Hutnicza (absolwent)

²Katedra Geodezji Inżynieryjnej i Budownictwa,
Akademia Górniczo-Hutnicza

³Katedra Geoinformacji Fotogrametrii i Teledetekcji Środowiska,
Akademia Górniczo-Hutnicza

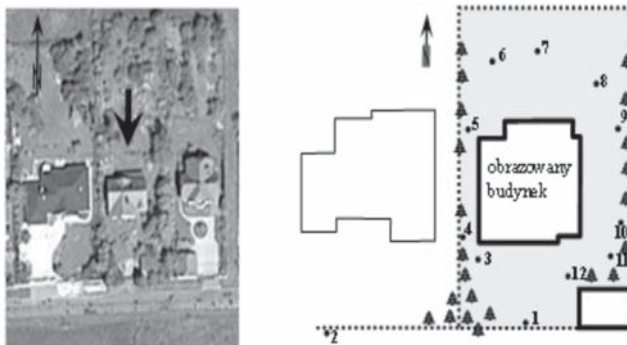
SŁOWA KLUCZOWE: termografia, promieniowanie słoneczne, bilans cieplny, wizualizacja, animacja

STRESZCZENIE: Właściwa ocena energetyczna budynku powinna uwzględniać oddziaływanie energii promieniowania słonecznego w ciągu całego roku. W sezonie grzewczym termiczna energia promieniowania słonecznego zmniejsza zapotrzebowanie na energię do celów grzewczych, a w porze letniej zwiększa zapotrzebowanie na chłód do klimatyzacji. Oddziaływanie energii słonecznej na budynek zależy od wielu czynników takich jak: forma architektoniczna budynku, możliwość zacieniania elementami budynku lub sąsiednich obiektów, rodzaj powierzchni zewnętrznych ścian, refleksyjność otoczenia itp. Zagadnienie oddziaływania energii promieniowania słonecznego na budynek jest przedmiotem badań naukowych z zakresu energetyki słonecznej i energooszczędności w budownictwie. Rozwijają się metody modelowania matematycznego i symulacji procesów cieplnych w budynku w skali całego roku. W pracy przedstawiono wizualizację dobowego rozkładu temperatury na ścianach zewnętrznych i dachu budynku jednorodzinnego. Model przestrzenny zbudowano w programie AutoCAD korzystając z projektu budynku uzupełnionego danymi z pomiaru bezpośredniego w tych miejscach, w których istniały niezgodności z projektem. W programie 3D-Studio Max nałożono tekstury z setek obrazów, które uzyskano z pomiaru termograficznego wykonywanego przez okres jednej doby. W czasie szybkich i dużych zmian rozkładu temperatury obserwacje termograficzne całej zewnętrznej powierzchni budynku wykonywano co godzinę lub półtorej, natomiast po zachodzie słońca okres ten wydłużono do kilku godzin. Wizualizacja ta umożliwia analizę stopnia nagrzania różnych powierzchni zewnętrznych budynku w zależności między innymi od strony świata, kąta padania promieni słonecznych, pory dnia, cienia tworzonego przez wystające elementy budynku, rodzaju materiału, z którego wykonana jest analizowana powierzchnia.

1. WPROWADZENIE

Ważnym aspektem przy projektowaniu współczesnych budynków jest energooszczędność. Pojawiły się nowe technologie służące nie tylko ograniczaniu strat ciepłych z budynków, ale także pozyskiwaniu energii z otaczającego środowiska (Kisilewicz, 2008). Właściwa ocena energetyczna budynku powinna uwzględniać zarówno oddziaływanie energii promieniowania słonecznego, jak też radiacyjną wymianę ciepła z otoczeniem w ciągu całego roku. W sezonie grzewczym termiczna energia promieniowania słonecznego zmniejsza zapotrzebowanie na energię do celów grzewczych, a w porze letniej zwiększa zapotrzebowanie na chłód do klimatyzacji. Oddziaływanie energii słonecznej na budynek zależy od wielu czynników takich jak: forma architektoniczna budynku, możliwość zacieniania elementami budynku lub sąsiednich obiektów, rodzaj powierzchni zewnętrznych ścian, refleksyjność otoczenia itp. Zagadnienie oddziaływania energii promieniowania słonecznego i radiacyjnej wymiany ciepła na budynek jest przedmiotem badań naukowych z zakresu energetyki słonecznej i energooszczędności w budownictwie (Nichol, Wong, 2005). Rozwijają się różne metody modelowania matematycznego i symulacji procesów cieplnych w budynku (Asawa *et al.*, 2008; He *et al.*, 2009b). Badania doświadczalne rzeczywistych budynków są kosztowne i pracochłonne, toteż podejmowane są rzadko. Rzeczywisty rozkład temperatury na powierzchniach przegród budowlanych można otrzymać poprzez zobrazowanie termograficzne. Prezentacja rozkładu temperatury na przestrzennym modelu budynku ułatwia analizę i interpretację termiki budynku.

W pracy przedstawiono wizualizację dobowego rozkładu temperatury na ścianach zewnętrznych i dachu budynku jednorodzinnego. Wybrany do badań budynek jednorodzinny znajduje się w rejonie o średnio gęstej zabudowie. Z dwóch stron (południowej i północnej) budynek jest odsłonięty, ale od strony wschodniej i zachodniej w odległości kilku metrów znajdują się krzewy i drzewa, a niedaleko za nimi sąsiednie budynki (Rys. 1).

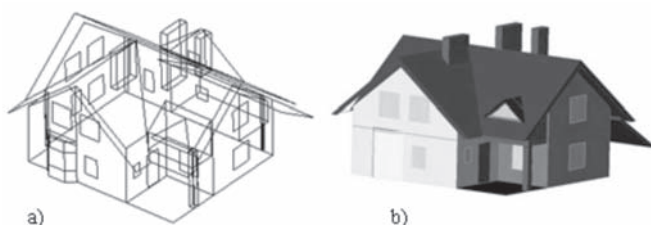


Rys. 1. Otoczenie badanego budynku i rozmieszczenie stanowisk kamery termograficznej

Źródło obraz satelitarny: <http://maps.google.com>).

2. MODEL PRZESTRZENNY

Model szkieletowy budynku wykonano w programie AutoCAD w lokalnym układzie współrzędnych. Podstawowe informacje o kształcie i wymiarach budynku przyjęto na podstawie projektu technicznego. Fragmenty dobudowane do budynku później i nieujęte w projekcie pomierzono bezpośrednio. Starano się oddać wiernie wszystkie ważniejsze elementy. Dla ułatwienia późniejszego opracowania uproszczono rysunek okien przedstawiając je, jako prostokąty bez parapetów, ram i innych drobnych szczegółów. Modelując powierzchnię dachu nie uwzględniono też rysunku dachówek (Rys. 2).



Rys. 2. Modele: szkieletowy (a) i bryłowy (b) wykonane w programie AutoCAD.

Do wykonania teksturowania potrzebny był model bryłowy. Wobec tego z modelu szkieletowego, w którym obiektami elementarnymi były odcinki, utworzono płaszczyzny wykorzystując funkcję programu AutoCAD o nazwie „Region”. Poleceniem tym obiekty proste zostały przekształcone w Regiony. Regiony są to płaskie odpowiedniki brył. Niosą one informację o brzegu i o obszarze wewnątrz konturu. Poprzez modyfikację tych płaskich obiektów (głównie za pomocą polecenia „Wyciągnij”) otrzymano proste bryły. Połączenie prostych brył z wykorzystaniem operacji: suma, różnica, iloczyn, przenikanie, itp. umożliwiło utworzenie brył złożonych. W ten sposób powstał model bryłowy (Rys. 2)

Ponieważ program AutoCAD posiada stosunkowo ubogie funkcje i narzędzia do renderingu, dalsze etapy wizualizacji wykonano w programie 3-D Studio Max. Zmiana programu spowodowała konieczność importu modelu bryłowego z programu AutoCAD do 3-D Studio Max.

3. POMIAR TERMOGRAFICZNY I TEKSTUROWANIE

3.1. Pomiar termograficzny

Przy rejestracji obrazów przeznaczonych do tworzenia tekstur najlepiej jest, gdy oś kamery jest prawie prostopadła do ściany budynku. Obraz posiada wówczas najmniejsze zniekształcenia, co ułatwia tworzenie tekstur. Niestety jak można zauważyć na rysunku 1

tylko z dwóch stron, południowej i północnej jest większa otwarta przestrzeń. Po stronie zachodniej w odległości około trzech metrów znajduje się ogrodzenie z żywopłotem, natomiast od strony wschodniej w odległości około sześciu metrów rosną drzewa. Wykonanie termogramów chociażby w przybliżeniu prostopadłe do ścian było z tych dwóch stron niemożliwe.

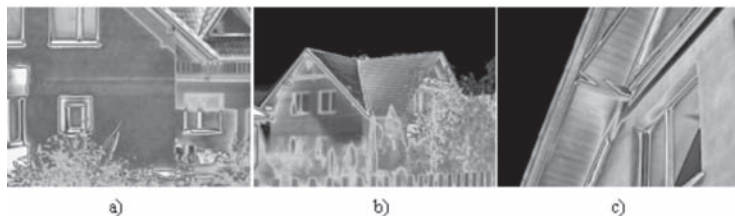
Aby jak najlepiej dobrać położenie stanowisk wykonano wstępny pomiar termograficzny całego budynku i próbnę teksturowanie. Następnie przygotowano ostateczny projekt rozmieszczenia stanowisk (Rys. 1).

Do rejestracji termogramów wybrano słoneczny październikowy dzień. Pierwsza seria pomiarów została wykonana jeszcze przed wschodem słońca, w godzinach 5^{45} - 6^{45} . Następna tuż po wschodzie słońca, w godzinach 7^{30} - 8^{30} . Odstęp pomiędzy kolejnymi seriami wynosił około półtorej godziny. Przedostatnią serię pomiarów wykonano tuż po zachodzie słońca w godzinach 17^{30} - 18^{30} . Ostatnią w godzinach 20^{00} - 21^{00} . Do pomiarów użyto kamery termograficznej ThermaCAM S65.

Zarejestrowane termogramy przetwarzano wstępnie w programie ThermaCAM Reporter. Po analizie rozpiętości temperatur na obiekcie ustalono jednolitą dla wszystkich termogramów skalę temperatur i paletę barwną. W godzinach rannych temperatury powietrza i ścian budynku wynosiły około 5°C , natomiast w godzinach południowych temperatura powietrza w cieniu wzrosła maksymalnie do wartości 17°C . Niektóre elementy budynku, absorbujące najbardziej promieniowanie słoneczne, rozgrzały się do temperatury około 50°C . Ustalono, więc że skala temperatur będzie obejmować zakres od 0°C do 50°C . Przyjęto paletę barwną tęczy, ponieważ zapewnia ona najlepszą wizualną rozróżnialność temperatury.

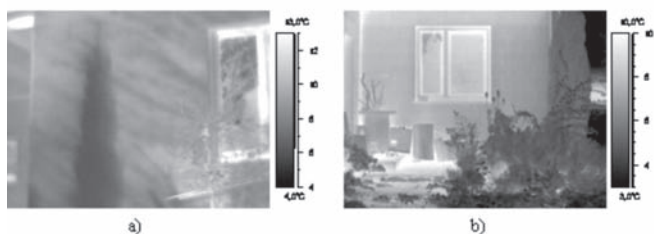
3.2. Teksturowanie

Warunki terenowe wymusiły konieczność wykonania termogramów o bardzo różnej orientacji w stosunku do obrazowanych ścian. Termogramy ze stanowiska nr 2 ze względu na dużą odległość od budynku miały wyraźnie mniejszą skalę niż pozostałe. Dla sporej części termogramów oś kamery znacznie odbiegała od normalnej do płaszczyzny ściany i obejmowała niewielkie jej fragmenty (Rys. 3). Zobrazowanie pojedynczej ściany na wielu termogramach spowodowało zwiększenie nakładu pracy w czasie tworzenia tekstur.



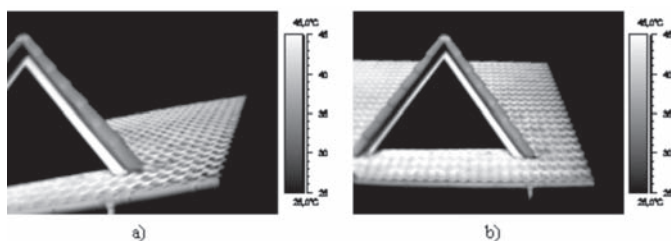
Rys. 3. Przykładowe termogramy: a) oś kamery prawie prostopadła - stanowisko nr 1, b) w małej skali i ukośny ze stanowiska nr 2, c) bardzo ukośny ze stanowiska nr 9.

Dodatkowym problemem były zakłócenia rozkładu temperatury na ścianach budynku spowodowane cieniem drzew oraz zasłonięciem przez krzewy i drzewa. Tam, gdzie blisko budynku znajdowały się krzewy i drzewa powodowały one chwilową zmianę temperatury w tych miejscach gdzie padał cień od nich. Na termogramach rejestrowanych z dalszej odległości drzewa i krzewy na pierwszym planie zasłaniały ścianę. W obydwu tych sytuacjach na termogramach (Rys. 4) pojawiały się obszary, na których należało poprawić obraz. Przed opracowaniem tekstur wykonano edycję tych termogramów w programie Adobe Photoshop. Miała ona na celu usunięcie z obrazu ścian budynku cieni i zasłonięć. W miejscach takich najczęściej przekopiowywano obraz z sąsiednich rejonów ściany.



Rys. 4. Zakłócenia obrazu rozkładu temperatury na ścianie: a) cień krzewu na ścianie, b) zasłonięcie ściany przez krzewy.

Wiele tekstur powstało w ten sposób, że na powierzchni jednej płaszczyzny łączono obraz z kilku termogramów. Gdy były to termogramy wykonane z jednego stanowiska przeważnie nie było z tym większych problemów. Inaczej wyglądała sytuacja, gdy teksturowana powierzchnia miała w naturze wyraźną przestrzenną fakturę (np. dach pokryty dachówką), a łączono ze sobą termogramy wykonane z różnych stanowisk. Z jednego stanowiska widać było na przykład zacienione a przez to zimniejsze fragmenty dachówki, a z innego te zacienione fragmenty były widoczne w znacznie mniejszym stopniu (Rys. 5).



Rys. 5. Zróżnicowanie obrazu rozkładu temperatury na nierównej powierzchni dachówki w zależności od kąta patrzenia: a) termogram ze stanowiska 11, b) termogram ze stanowiska 12.

Opracowanie tekstur przeprowadzono w sposób, który bazuje na podziale modelu obiektu na mniejsze powierzchnie, tak, aby do powstałych mniejszych powierzchni można było przypisać jeden termogram. Nie było wówczas konieczności wcześniejszego łączenia kilku termogramów w jeden obraz, co byłoby dość pracochłonne. Połączenie i dokładne dopasowanie kolejnych termogramów wykonano w następnym etapie podczas przypisywania materiałów do powierzchni elementarnych.

4. RENDERING I ANIMACJA

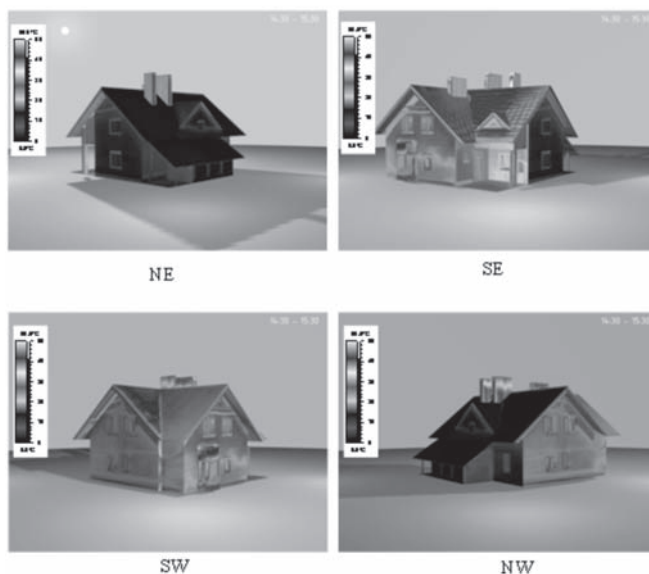
Renderowanie jest procesem obliczania geometrii obiektów, światła, materiałów i warunków atmosferycznych, którego wynikiem jest utworzenie obrazu.

Przed utworzeniem ostatecznej postaci wizualizacji wielokrotnie wykonywano próbny rendering z wykorzystaniem funkcji *Quick render*. Po wykonaniu próbnego renderingu zwracano uwagę nie tylko na dopasowanie tekstur, ale również na pozostałe efekty wizualne. Na podstawie analizy otrzymanych obrazów poprawiano niektóre elementy jak np. dobór źródeł światła. Wybrano światło punktowe i jego źródła rozmieszczono w taki sposób, aby obiekt z każdej strony był dobrze widoczny. Dodatkowo umieszczono jedno punktowe źródło światła oświetlające cały obiekt, obrazujące efekt słońca. Aby osiągnąć efekt ciągłości wykonywanych pomiarów ustawiono zmienność jasności tych źródeł światła w czasie. Opracowano ścieżkę, po której słońce zmieniało swoje położenie w ciągu dnia. Aby jeszcze bardziej zwiększyć realność animacji do elementu słońca przypisano dodatkowy efekt – świecenie. Elementami pośrednio związanymi ze światłami są cienie, dlatego też przypisano je do budynku. Tworzone cienie również zmieniają się zgodnie z ruchem słońca. Zmiana koloru nieba, ruch słońca oraz cienie obrazują zmienność w czasie rozkładu temperatury na ścianach budynku. Tym sposobem opracowana scena jest bardziej realistyczna.

Wizualizację rozkładu temperatury na ścianach budynku wykonano stosując prezentację metodą animacji dynamicznej. Animację wykonano w dziesięciu częściach połączonych ze sobą za pomocą odpowiednich narzędzi programu. Każda z tych części obrazuje jeden niezależny pomiar. Połączenie tych części sprawia, że prezentowany jest dobowy cykl zmian temperatury zewnętrznej powierzchni budynku. Na rysunku 6 przedstawiono cztery przykładowe pojedyncze sceny opracowane na podstawie termogramów wykonanych w godzinach 14³⁰÷15³⁰. Sceny te pokazują rozkład temperatury od stron: północno-wschodniej, południowo-wschodniej, południowo-zachodniej i północno-zachodniej.

Obserwując przygotowaną wizualizację można zauważyć pewne prawidłowości wynikające z konstrukcji, ułożenia i lokalizacji budynku:

- najwyższe temperatury, co jest logiczne, występowały na elementach budynków wystawionych na bezpośredni wpływ promieniowania słonecznego, ale nastąpiło duże ich zróżnicowanie w zależności od materiału i wystawy. Płytki klinkierowe posiadały wyższą temperaturę niż pozostałe tynkowane powierzchnie ścian i to zróżnicowanie utrzymywało się jeszcze długo po zacho-



Rys. 6. Przykładowe sceny ukazujące rozkład temperatury na zewnętrznej powierzchni budynku w godzinach 14³⁰÷15³⁰.

dzie słońca. Temperatura dachu pokrytego dachówką betonową, była nawet o 30°C wyższa niż temperatura ścian,

- w porze nocnej (seria pomiarowa 5⁴⁵÷6⁴⁵) obserwuje się pewne obniżenie temperatury ścian wystawionych na promieniowanie dochodzące od zimnego nieboskłonu w stosunku do rejonów ścian znajdujących się pod okapami dachu. Przy całkowitym zachmurzeniu chmurami niskimi tego zjawiska nie obserwuje się; temperatura zewnętrznych powierzchni przegród wynika wtedy z przenikania ciepła od wnętrza budynku.

Dobowy rozkład temperatury przedstawiony na wizualizacji jest wynikiem oddziaływania zmieniających się w czasie termicznych parametrów otoczenia na budynek. Ten fakt powinien zostać uwzględniony przy interpretacji rozkładu temperatury budynku.

Opracowana wizualizacja w postaci animowanej jest dostępna na stronie internetowej http://home.agh.edu.pl/~awrobel/xml/page_visualization.xml.

5. PODSUMOWANIE

Wymiana ciepła pomiędzy zewnętrzną powierzchnią budynku a otoczeniem jest bardzo złożona. Zachodzi na drodze wymiany konwekcyjnej z bliskim otoczeniem i na drodze promieniowania z otoczeniem dalekim, które jest utworzone przez nieboskłon

i otaczające obiekty. Obiekty tworzące otoczenie budynku mogą mieć różne temperatury i różną konfigurację geometryczną. Pewne znaczenie dla wymiany ciepła odgrywa rodzaj zewnętrznej powierzchni budynku oraz kształt jego bryły.

W związku z rozwojem budownictwa pasywnego zwraca się uwagę na wykorzystanie promieniowania słonecznego. Z drugiej strony promieniowanie zimnego nieboskłonu powoduje nieraz obniżanie się temperatury zewnętrznej powierzchni budynku poniżej temperatury otaczającego powietrza. Zwłaszcza w budynkach ocieplonych na zewnątrz efekt ten może powodować wykraplanie się wilgoci na zewnętrznej powierzchni przegród budowlanych i w efekcie rozwój glonów i pleśni. Do analizy tych zjawisk często używa się modelowania matematycznego tworząc też symulowane wizualizacje (np. ThermoAnalytics Inc., 2009). Modele obliczeniowe cieplnego oddziaływania środowiska na budynek są niejednokrotnie uproszczeniem rzeczywistej sytuacji.

Rzeczywisty dobowy rozkład temperatury na zewnętrznej powierzchni trójwymiarowej bryły budynku otrzymany na drodze przestrzennej wizualizacji termogramów może służyć do weryfikacji modeli obliczeniowych (He, Hoyano, 2009a). Na jego przykładzie możliwa jest analiza zależności rozkładu temperatury na zewnętrznej powierzchni budynku od różnych czynników.

Opracowanie wykonane zostało w ramach badań statutowych AGH nr. 11.11.150.949, 11.11.150.005

6. LITERATURA

Asawa T., Hoyano A., Nakaohkubo K., 2008. Thermal design tool for outdoor spaces based on heat balance simulation using a 3D-CAD system. *Building and Environment*, Vol. 43, s. 2112-2123.

He J., Hoyano A., 2009a. Measurement and simulation of the thermal environment in the built space under a membrane structure. *Building and Environment*, Vol. 44, s. 1119-1127.

He J., Hoyano A., Asawa T., 2009b. A numerical simulation tool for predicting the impact of outdoor thermal environment on building energy performance. *Applied Energy*, Vol. 86, s. 1596-1605.

Kisilewicz T., 2008. *Wpływ izolacyjnych, dynamicznych i spektralnych właściwości przegród na bilans cieplny budynków energooszczędnych*. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków.

Nichol J., Wong M., 2005. Modeling urban environmental quality in a tropical city. *Landscape and Urban Planning*, Vol.73, s. 49-58.

ThermoAnalytics, Inc., 2009. www.thermoanalytics.com/applications/gallery/building.html

SPATIAL VISUALISATION OF DAILY CHANGES IN TEMPERATURE DISTRIBUTION ON THE OUTER WALL OF A BUILDING

KEY WORDS: Thermography, sun radiation, thermal balance, visualization, animation

SUMMARY: Proper thermal assessment of a building should take into account the impact of solar radiation during the whole year. In the heating season the energy from solar radiation reduces the demand for heating energy, and in the summer it increases demand for air conditioning energy. The influence of solar radiation on the building depends on many factors, such as its architectural form, shading by the building's elements and neighbouring features, properties of the building's surface, environmental reflectivity etc. The influence of solar radiation on the building is a subject of research in the area of solar energy and thermal efficiency in buildings. There are methods for mathematical modelling and simulation of thermal processes in buildings over the scale of a whole year. In the paper, we present a visualization of the daily distribution of temperature on the outer surface of a building. A three-dimensional model has been created in AutoCAD. It was based on the plan of the building, supplemented by the results from direct measurement in points where the building differed from its plan. Textures were created in 3D-Studio Max from hundreds of images. These images have been obtained by thermal measurements over the course of twenty four hours. During large and rapid changes in the temperature distribution, observations were made every 60 or 90 minutes. After sunset, this period increased to a few hours. This visualization enables one to analyse the level of warming of several surfaces of the building, depending on its orientation, the angle of incidence of solar radiation, time of the day, shade caused by protruding elements of the building and the properties of the materials of the property analysed.

mgr inż. Aleksandra Rejowicz
arejowicz@gmail.com

dr inż. Alina Wróbel
alibel@agh.edu.pl
telefon: +48 12 6172269

dr inż. Andrzej Wróbel
awrobel@agh.edu.pl
telefon: +48 12 6173826

**REKONSTRUKCJA SCEN TERMALNYCH
W AUTORSKIM PROGRAMIE VISION PLUS 3D***

**RECONSTRUCTION OF THERMAL SCENES IN THE AUTHORS'
SOFTWARE, VISION PLUS 3D**

Piotr Sawicki¹, Sławomir Zwolenik², Sebastian Grabowski²

¹Katedra Fotogrametrii i Teledetekcji, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie
²neoVision, Łódź

SŁOWA KLUCZOWE: obraz wizyjny, obraz termalny, scena 3D, metoda DLT, rekonstrukcja 3D, emisyjność kierunkowa

STRESZCZENIE: Praca przedstawia algorytm rekonstrukcji 3D scen termalnych w celu korekcji emisyjności kierunkowej, który został zaimplementowany w autorskim programie „Vision Plus 3D”. Wyznaczenie orientacji cyfrowych obrazów wizyjnych i termalnych oraz położenia rejestrowanego obiektu w przestrzeni 3D realizuje zastosowana w programie metoda bezpośredniej transformacji liniowej DLT (*Direct Linear Transformation*). Opracowany program „Vision Plus 3D” obsługuje różne formaty rastrowe. Zapis i import danych pomiarowych oraz narzędzi jest wykonywany w plikach w formacie XML. Interaktywny, równoczesny pomiar na obrazach cyfrowych punktów i zdefiniowanych obiektów geometrycznych wspomagany jest dodatkowymi funkcjami obsługi oraz algorytmami automatyzującymi pomiar. Aplikacja jest funkcjonalnie powiązana z platformą bazowego cyfrowego systemu wideo-termalnego „Vision Plus”, zewnętrzną biblioteką „Vision” oraz dodatkowym modulem „Vision Plus Thermal Analyst”. „Vision Plus 3D” jest obiektem, 32-bitową aplikacją Windows, oprogramowaną w języku Object Pascal przy wykorzystaniu pakietu Borland Developer Studio. Opracowany program tworzy nowe możliwości analizy, pomiaru oraz zaawansowanego przetwarzania cyfrowych obrazów wizyjnych i termalnych. W pracy przedstawiono eksperyment rekonstrukcji 3D sceny termalnej dla powierzchni nachylonej za pomocą programu „Vision Plus 3D”. Na podstawie otrzymanych danych obliczony został kąt między wektorem normalnym do zdefiniowanej płaszczyzny obiektu oraz osią optyczną kamery termalnej. Wyznaczenie średniej temperatury radiacyjnej oraz korekcję temperatury metodą korekcji emisyjności kierunkowej w zdefiniowanym obszarze termogramu przeprowadzono w aplikacji „Vision Plus Thermal Analyst”.

1. WPROWADZENIE

Metoda korekcji emisyjności kierunkowej (Sawicki *et al.*, 1998; Sawicki *et al.*, 1999; Więcek *et al.*, 1998) bazuje na analitycznej rekonstrukcji 3D sceny termalnej i korekcji temperatury na cyfrowych termogramach ze względu na nachylenie płaszczyzny obiektu w stosunku do płaszczyzny sensora termalnego. Metoda ta została opracowana w 1998 r. przez zespół w składzie P. Sawicki, R. Stein, S. Zwolenik, B. Więcek w ramach projektu badawczego KBN 9T12E01808 i następnie testowana w projekcie KBN 4T12E003 26.

Moduł rekonstrukcji 3D sceny termalnej do korekcji emisyjności kierunkowej zaimplementowany w dotychczasowej wersji cyfrowego multisensoralnego systemu wideo-termalnego „Vision Plus” (Sawicki, 1999; Sawicki, 2000; Sawicki, Więcek, 1998) okazał się w praktyce niedostatecznie funkcjonalny, ze względu na potrzeby współczesnego użytkownika. Z tego powodu opracowano zupełnie nowy, niezależny program o nazwie „Vision Plus 3D”, który funkcjonalnie powiązany został ze środowiskiem bazowego pakietu „Vision Plus”. W trakcie opracowania nowego programu autorzy uwzględnili dotychczasowe doświadczenia wynikające z użytkowania jego pierwszej wersji oraz współczesną wiedzę z zakresu programowania obiektowego.

2. ALGORYTM POMIARÓW I REKONSTRUKCJI 3D SCENY TERMALNYCH DO KOREKCJI EMISYJNOŚCI KIERUNKOWEJ

Rekonstrukcja trójwymiarowa sceny termalnej polega na wyznaczeniu parametrów orientacji sensora termalnego oraz współrzędnych przestrzennych X, Y, Z punktów rejestrowanego obiektu w przyjętym układzie współrzędnych. Rozwiązanie analityczne wykonywane jest na podstawie pomiaru co najmniej dwóch obrazów wizyjnych (rejestracja w zakresie widzialnym aparatem lub kamerą cyfrową) i jednego obrazu termalnego (rejestracja w zakresie podczerwieni termalnej kamerą termowizyjną) oraz określonego minimum informacji trójwymiarowych o obiekcie.

Wyznaczenie orientacji zdjęć wizyjnych i termalnych oraz pozycjonowanie 3D punktów obiektu realizowane jest metodą przekształcenia rzutowego, tzw. metodą bezpośredniej transformacji liniowej DLT (*Direct Linear Transformation*) (Luhmann, 2003). Dla każdego zdjęcia pomiarowego wyznaczane zostają współczynniki $L_1 \div L_{11}$ transformaty DLT i na ich podstawie elementy orientacji wewnętrznej (c_{Kx} , c_{Ky} , x'_0 , y'_0 – wyrażone w pikselach) oraz zewnętrznej (ω_i , ϕ_i , κ_i , X_{0i} , Y_{0i} , Z_{0i}). W drugim etapie rozwiązania metodą DLT, na podstawie obliczonych parametrów transformacji, następuje przez przekształcenie odwrotne estymacja współrzędnych X, Y, Z punktów obiektu. Znajomość położenia punktów w przestrzeni sceny 3D pozwala na wyznaczenie kąta nachylenia rejestrowanej płaszczyzny obiektu względem płaszczyzny detektora termalnego.

Opracowany algorytm rekonstrukcji 3D sceny termalnej (Rys. 1), który stanowi sekwencję pomiarów i obliczeń fotogrametrycznych, został zaimplementowany w programie „Vision Plus 3D”.

2.1. Korekcja emisyjności kierunkowej

W przypadku korekcji emisyjności kierunkowej (1) (Sawicki *et al.*, 1998; Sawicki *et al.*, 1999; Więcek *et al.*, 1998), na podstawie pomiarów i danych otrzymanych w aplikacji „Vision Plus 3D”, obliczony zostaje w programie „Vision Plus Thermal Analyst” kąt φ między wektorem normalnym do zdefiniowanej płaszczyzny obiektu oraz wektorem normalnym do płaszczyzny sensora termalnego (oś optyczna kamery termalnej).

$$\Phi_0 = \frac{\Phi_\alpha}{\cos\varphi} \quad (1)$$

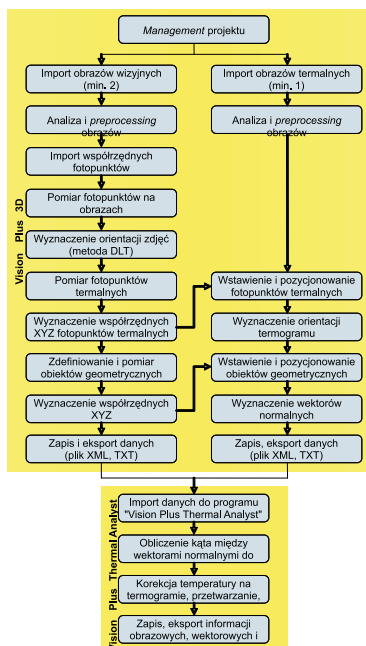
Następnie wyznaczana jest średnia temperatura radiacyjna oraz korekcja wartości temperatury (2) na obszarach termogramu, które są zdefiniowane obiektami geometrycznymi.

$$T = \sqrt[4]{\frac{T_0^4 - T_a^4}{\cos\varphi} + T_a^4} \quad (2)$$

gdzie:

T_0, T_a oznaczają odpowiednio temperaturę mierzoną przez kamerę termalną i temperaturę otoczenia.

Algorytm etapu opracowania termowizyjnego w programie „Vision Plus Thermal Analyst” przedstawia rysunek 1.



Rys. 1. Algorytm rekonstrukcji 3D sceny termalnej oraz korekcji emisyjności kierunkowej.

3. CHARAKTERYSTYKA I FUNKCJONALNOŚĆ PROGRAMU VISION PLUS 3D

Opracowany algorytm analitycznego wyznaczenia parametrów orientacji zdjęć wizyjnych i termalnych oraz określenia położenia rejestrowanych obiektów w przestrzeni 3D (Rys. 1), w celu dalszej korekcji termogramów ze względu na emisyjność kierunkową, realizuje program „Vision Plus 3D”. Aplikacja posiada następujące cechy użytkowe:

- import i obsługa różnych formatów rastrowych,
- łączny pomiar cyfrowych obrazów wizyjnych i termalnych,
- implementacja metody DLT (*Direct Linear Transformation*),
- analityczna rekonstrukcja 3D sceny termalnej w celu korekcji emisyjności kierunkowej,
- funkcjonalne powiązanie ze środowiskiem bazowego systemu „Vision Plus”,
- powiązanie z zewnętrzną biblioteką „Vision” (Sawicki, Zwolenik, 2007),
- powiązanie z dodatkowym modułem „Vision Plus Thermal Analyst” (Sawicki, Zwolenik, 2007),
- funkcjonalny i przyjazny interfejs użytkownika.

Opracowana aplikacja „Vision Plus 3D” umożliwia import oraz obsługę formatów rastrowych: BMP, TIFF (mono 8 i 16 bit, kolor), JPEG (łącznie z dodatkowymi informacjami typu EXIF, zapisywanymi w pliku przez sensory optyczno-elektroniczne), PNG (mono 8 i 16 bit, kolor) z kompresją bezstratną, DCR (Kodak), TVV i SIS (system „Vision Plus”). Dla większości tych formatów zaimplementowano dodatkowo procedury pozwalające na zapis obrazu w danym formacie. W praktyce, ten zestaw plików pozwala na obsługę obrazów w skali szarości i kanałach R, G, B o głębi bitowej większej niż 8 bit/piksel. Strukturę dostępnego oprogramowania zmodyfikowano tak, że w przypadku zgodności typu piksela możliwy jest bezpośredni zapis informacji obrazowej między różnymi formatami.

Rozszerzoną funkcjonalność programu „Vision Plus 3D” charakteryzują następujące podstawowe cechy:

- funkcja *Zoom* dla obrazów wizyjnych i termalnych,
- interpolacje cyfrowe,
- funkcja *Properties*,
- algorytmy automatyzujące tryb pomiaru,
- import i eksport danych w plikach TXT oraz XML,
- skróty klawiszowe i aktywny przycisk myszy.

Obsługę obrazów cyfrowych wspomagają dodatkowe funkcje, m.in.: *Zoom* (stopniowa i ciągła zmiana powiększenia obrazu), interpolacje cyfrowe (najbliższego sąsiada, biliniowa, bikubiczna) oraz *Properties* (informacje o obrazach cyfrowych oraz obiektach geometrycznych).

Program „Vision Plus 3D” umożliwia na wizyjnych oraz termalnych obrazach cyfrowych interaktywny, manualny pomiar punktów i obiektów geometrycznych typu: odcinki, linie łamane, wieloboki. Przenoszenie i nakładanie obiektów geometrycznych dostosowano pod względem grafiki oraz funkcjonalności do techniki wektorowych pomiarów fotogrametrycznych.

W programie „Vision Plus 3D” zastosowano algorytmy automatyzujące pomiar obiektów geometrycznych na obrazach cyfrowych, m.in. przez:

- wyznaczanie przybliżonego położenia punktów pomiarowych na kolejnych niezorientowanych obrazach,
- przenoszenie obiektów geometrycznych między obrazami,
- automatyczne wstawianie obiektów geometrycznych do pozostałych zorientowanych obrazów,
- pomiar oraz eksport danych pikselowych za pomocą zestawu narzędzi wektorowych,
- grupowanie danych definiujących całą scenę pomiarową w ramach pełnych projektów.

W aplikacji „Vision Plus 3D” dane pomiarowe i narzędzia można zapisywać oraz importować w plikach w formacie XML. Zastosowanie formatu XML zapewniło właściwe relacje pomiędzy danymi, przenoszenie narzędzi i danych pomiędzy współpracującymi programami oraz umożliwiło podgląd danych w przeglądarkach internetowych i edycję parametrów przy pomocy właściwego edytora. Dzięki temu rozwiązaniu istotnie zwiększono uniwersalność oraz kompatybilność programów pakietu „Vision Plus”.

Program „Vision Plus 3D” posiada przejrzysty interfejs graficzny użytkownika, którego optymalizacja pozwoliła na zmniejszenie pracochłonności edycji pomiarów i projektów. Program jest funkcjonalny i przyjazny dla użytkownika dzięki, m.in. zastosowaniu skrótów klawiszowych i aktywnego prawego przycisku myszy, które znacznie przyspieszają pomiar oraz dostęp do większości funkcji i poleceń.

Opracowany program jest w pełni obiektową, 32-bitową aplikacją Windows. Poszczególne elementy oprogramowania wykonano głównie w języku Object Pascal, przy wykorzystaniu pakietu Borland Developer Studio.

4. OPRACOWANIE TESTOWE

Testowanie programu „Vision Plus 3D” do trójwymiarowej rekonstrukcji sceny termalnej oraz określenie, na podstawie uzyskanych danych, wpływu korekcji emisyjności kierunkowej przeprowadzono na podstawie wizyjnych zdjęć cyfrowych i termalnych przestrzennego pola testowego. Pole testowe tworzyły równomiernie rozmieszczone sygnalizowane punkty, w tym fotopunkty i fotopunkty termalne (termalne punkty dostosowania) oraz obiekt testowy mierzony kamerą termowizyjną.

Wyznaczenie położenia obiektu i sygnalizowanych fotopunktów termalnych do rekonstrukcji 3D sceny termalnej przeprowadzono na podstawie trzech obrazów cyfrowych, które wykonano aparatem typu *compact* Kodak DC 4800 (3.1 MP).

Rejestrację termowizyjną obiektu testowego (arkusz blachy z powłoką mineralną, o powierzchni ca 0.25 m²), nachylonego pod kątem $\omega = 6.5^\circ$ (płaszczyzna referencyjna, w przybliżeniu równoległa do płaszczyzny detektora termalnego) oraz w kolejnej fazie pomiarów, nachylonego pod kątem $\omega = 60^\circ$, wykonano kamerą termalną AGEMA 880, która była połączona interfejsem PCMCIA z cyfrowym systemem video-termalnym „Vision Plus”.

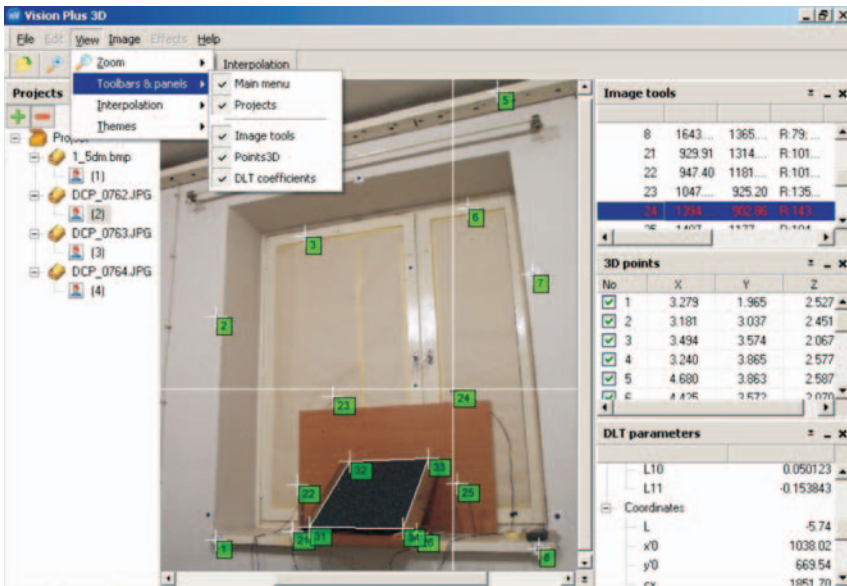
Parametry rejestracji termowizyjnej wynosiły odpowiednio: zakres spektralny rejestracji 8÷12 μm , zakres mierzonej temperatury (*Range 2*) $\Delta T = 20.98 \div 23.45^\circ\text{C}$, śred-

nia temperatura otoczenia $T_{0\text{sr}} = 21.0^{\circ}\text{C}$ (pomiar termometrem elektronicznym). Obiekt testowy zarejestrowano w każdym położeniu w sekwencji *Real Time*, składającej się z 16. obrazów, które zapisano w formacie TVV. Ze względu na możliwe szумы kamery termowizyjnej obrazy termalne do wyznaczenia emisyjności kątowej należy rejestrować w serii min. 4 kolejnych obrazów.

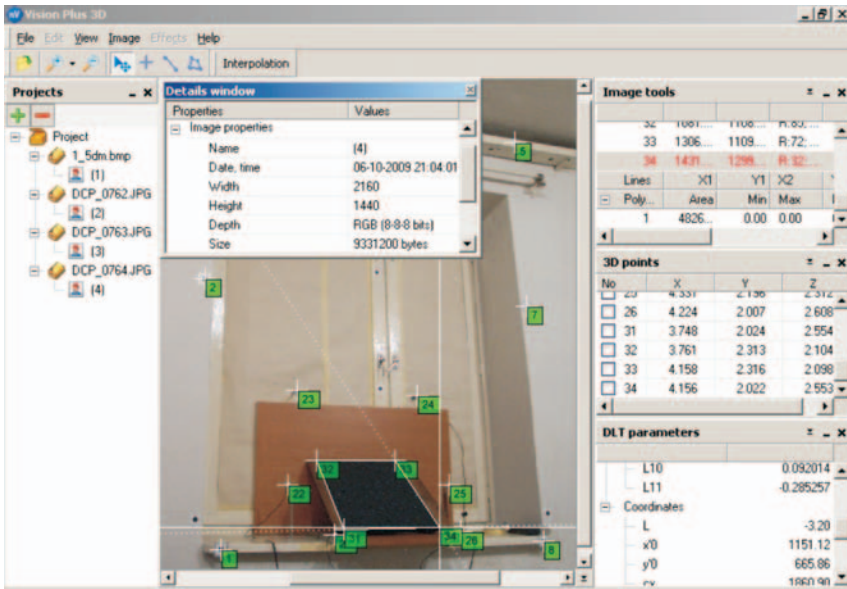
Badania testowe wykonano zgodnie z opracowanym algorytmem rekonstrukcji scen 3D do korekcji emisyjności kierunkowej (Rys. 1), realizując w programie „Vision Plus 3D” pomiar cyfrowych obrazów wizyjnych (Rys. 2, 3) i termalnego (Rys. 4) oraz w programie „Vision Plus Thermal Analyst” (Rys. 5) pomiar i przetwarzanie cyfrowego termogramu.

Korekcję temperatury radiacyjnej (Lillesand *et al.*, 2008) w zdefiniowanym obszarze, ze względu na kąt φ między wektorem normalnym do płaszczyzny obiektu oraz wektorem normalnym do płaszczyzny sensora termalnego, przeprowadzono w programie „Vision Plus Thermal Analyst”. Korekcja temperatury na powierzchni badanego materiału wzniosła ca $\Delta T_{\text{sr}} = +0.2^{\circ}\text{C}$. Zdolność interpretacyjna termogramów w postaci wielotonalnej czarno-białej, wizualizowanych i mierzonych w programie „Vision Plus Thermal Analyst”, została zwiększona przez zastosowanie odpowiednio dobranej palety barw.

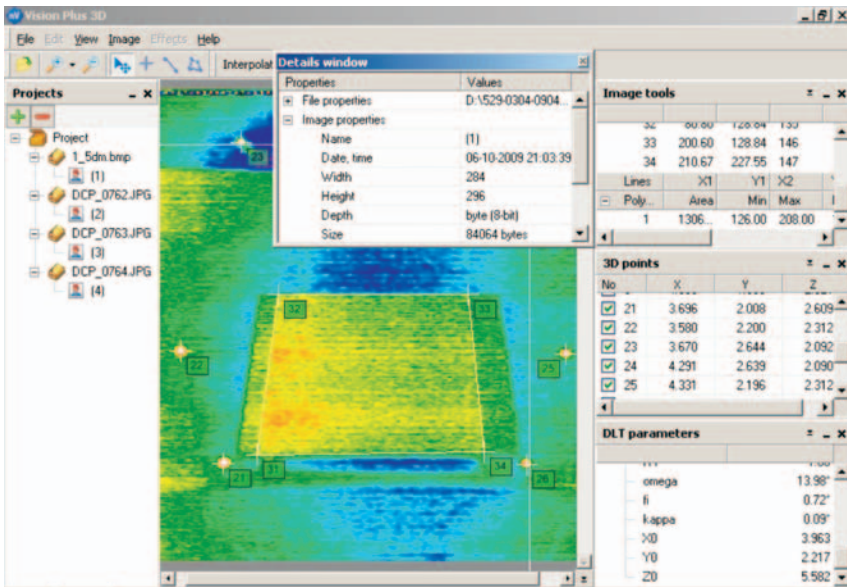
Porównanie średniej temperatury T_{sr} pomierzonej na termogramie po korekcji (płaszczyzna nachylona, kąt $\omega = 60^{\circ}$) z temperaturą na termogramie referencyjnym (płaszczyzna nachylona, kąt $\omega = 6.5^{\circ}$) wykazało skuteczność zastosowanej metody. Średnie temperatury w obszarze wieloboku różniły się w nieistotny sposób. Wizualna ocena



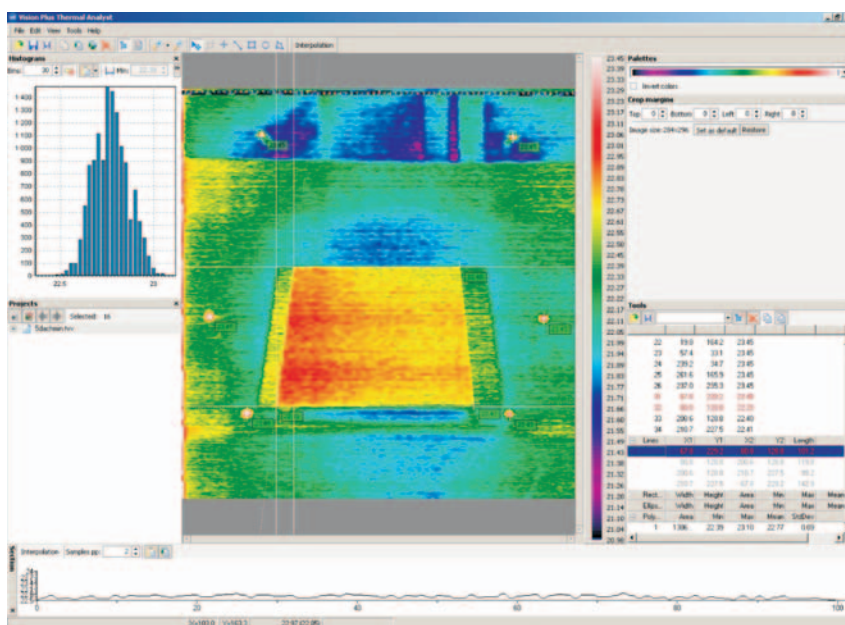
Rys. 2. Okno programu „Vision Plus 3D” z obrazem wizyjnym podczas pomiaru fotopunktów, fotopunktów termalnych i zdefiniowanego obiektu.



Rys. 3. Okno programu „Vision Plus 3D” z obrazem wizyjnym podczas pomiaru zdefiniowanego obiektu (wielobok po jego automatycznym wstawieniu).



Rys. 4. Okno programu „Vision Plus 3D” z obrazem termalnym podczas pomiaru obiektu (po jego automatycznym wstawieniu).



Rys. 5. Okno programu „Vision Plus Thermal Analyst” z termogramem po korekcji temperatury w zdefiniowanym obszarze obiektu.

rozkładu i wartości temperatur potwierdziła ten wniosek. Zmiana rozkładu i położenia pikseli o temperaturze ca $T = 23^{\circ}\text{C}$ (wizualizowane w kolorze czerwonym) na termogramie po korekcji w stosunku do termogramu referencyjnego wynika ze zniekształcenia perspektywicznego obrazu termowizyjnego.

Weryfikację poprawności korekcji emisyjności kierunkowej przeprowadzono w programie „Vision Plus Thermal Analyst” na podstawie bezpośrednich pomiarów na pierwotnych (nieprzetworzonych) termogramach. Pomierzone średnie temperatury radiacyjne wynosiły odpowiednio $T_{sr} = 22.80^{\circ}\text{C}$ (płaszczyzna prawie pionowa, $\omega = 6.5^{\circ}$) oraz $T_{sr} = 22.64^{\circ}\text{C}$ (płaszczyzna nachylona, $\omega = 60.0^{\circ}$).

5. WNIOSKI

Rekonstrukcja trójwymiarowa scen termalnych ma na celu wyznaczenie parametrów orientacji sensora termalnego oraz współrzędnych przestrzennych X, Y, Z punktów rejestrowanego obiektu w przyjętym układzie współrzędnych. W następnym etapie możliwa jest korekcja emisyjności kierunkowej ze względu na nachylenie płaszczyzny obiektu w stosunku do płaszczyzny sensora termalnego.

Algorytm rekonstrukcji 3D scen termalnych w celu korekcji emisyjności kierunkowej zastosowano w autorskiej aplikacji „Vision Plus 3D”. Rozwiązanie analityczne opar-

to na zaimplementowanej metodzie bezpośredniej transformacji liniowej DLT (*Direct Linear Transformation*). Program jest funkcjonalnie powiązany i kompatybilny z platformą bazowego cyfrowego systemu wideo-termalnego „Vision Plus”, zewnętrzną biblioteką „Vision” oraz dodatkowym modułem „Vision Plus Thermal Analyst”. Charakteryzuje się uniwersalnością, funkcjonalnością i przyjaznym dla użytkownika interfejsem graficznym. Jest obiektową, 32-bitową aplikacją Windows, oprogramowaną w języku Object Pascal przy wykorzystaniu pakietu Borland Developer Studio. Program „Vision Plus 3D” tworzy nowe możliwości analizy, pomiaru oraz zaawansowanego przetwarzania cyfrowych obrazów wizyjnych i termalnych.

Wykonana rekonstrukcja 3D sceny termalnej badanego obiektu testowego (arkusz blachy z powłoką mineralną) potwierdziła funkcjonalność programu „Vision Plus 3D” oraz skuteczność korekcji temperatury radiacyjnej dla płaszczyzn nachylonych w stosunku do płaszczyzny sensora termalnego.

Metoda korekcji emisyjności kątowej może być zawodna, szczególnie w odniesieniu do materiałów i powierzchni chropowatych o dużej emisyjności, ponieważ w takim przypadku emisyjność zależy w niewielkim stopniu od kąta.

6. LITERATURA

Lillesand T.M., Kiefer R.W., Chipman J.W., 2008. *Remote Sensing and Image Interpretation*. 6th Edition. John Wiley & Sons, New York, s. 354-363.

Luhmann T., 2003. *Nahbereichsphotogrammetrie - Grundlagen, Methoden und Anwendungen*. Wichman Verlag, Heidelberg.

Sawicki P., 1999. Opracowanie obrazów cyfrowych w systemie video-termalnym Vision Plus. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 9, s. 155-165.

Sawicki P., 2000. Digital multisensoral video-thermal system for close range metrology applications. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. XXXIII Part B5/2, Com. V, s. 691-698.

Sawicki P., Stein R., Więcek B., 1998. Rekonstrukcja sceny trójwymiarowej do korekcji emisyjności kierunkowej. *Elektronika - Prace Naukowe Politechniki Łódzkiej*, Zeszyt 3, s.131-146.

Sawicki P., Stein R., Więcek B., 1999. Directional emissivity correction by photogrammetric 3D object reconstruction. [w:] Balageas D., Busse G., Carlomango C.M. (red.), *Quantitative InfraRed Thermography 4, Eurotherm Seminar 60, QIRT'98*, Łódź, Poland, s. 327-332.

Sawicki P., Więcek B., 1998. Cyfrowy system video termalny dla aplikacji w bliskim zasięgu. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 8, s.13/1-13/8.

Sawicki P., Zwolenik S., 2007. Przetwarzanie cyfrowych obrazów wizyjnych i termalnych w autorskim programie Vision Plus v. 2006. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 17b, s. 739-748.

Więcek B., Sawicki P., Stein R., 1998. Directional Emissivity Correction in Thermal and Visual Systems. *The American Society for Nondestructive Testing, Inc. Columbus Ohio*, (red.) Xavier P.V. Maldague, s. 351-356.

RECONSTRUCTION OF THERMAL SCENES IN THE AUTHORS' SOFTWARE, VISION PLUS 3D

KEY WORDS: video image, thermal image, scene 3D, DLT method, 3D reconstruction, directional emissivity

SUMMARY: The paper presents an algorithm for 3D reconstruction of thermal scenes for the purposes of directional emissivity correction, which was implemented in the authors' software „Vision Plus 3D”. Determination of the orientation of images (visual and thermal) and the position of a recorded object in 3D space is enabled by the Direct Linear Transformation method used in the application. „Vision Plus 3D” software works with various raster formats. Saving and importing of measurement data as well as of tools is executed using XML format files. Interactive, simultaneous measurement of points and defined geometrical objects from digital images is supported by additional functions and algorithms, which automate the measurement. The application is functionally related to the „Vision Plus” digital video-thermal basic system platform, the „Vision” external library and the „Vision Plus Thermal Analyst” additional module. „Vision Plus 3D” is a 32-bit Windows object application, programmed in Object Pascal language using the Borland Developer Studio package. This software opens new possibilities for analysis, measurement and advanced processing of visual and thermal digital images. The paper presents experimental reconstruction of the 3D thermal scene of a sloping surface using the „Vision Plus 3D” application. The angle between a normal vector of a defined plane and the optical axis of the thermal camera is calculated based on the data received. The calculation of average radiant temperature as well as a temperature correction in the defined area of the thermal image using the directional emissivity correction method were both carried out in „Vision Plus Thermal Analyst” module.

dr inż. Piotr Sawicki
piotr.sawicki@geodezja.pl
telefon: +48 89 5233282
fax: +89 5233210

mgr inż. Sławomir Zwolenik
zwolenik@neovision.pl
telefon: +48 42 6573033

mgr inż. Sebastian Grabowski
sebastiang@neovision.pl
telefon: +48 42 6573033

* wersja kolorowa artykułu jest dostępna na stronie <http://www.sgp.geodezja.org.pl/ptfit>

PEARL – SYSTEM DO ZARZĄDZANIA ŚRODOWISKIEM PORTOWYM*

PEARL – ENVIRONMENTAL MANAGEMENT SYSTEM FOR PORT AUTHORITIES

P. Sedo¹, R. Diaz¹, L. Romero², V. Gracia³, J.F. Piolle⁴, V. Kerbaol⁵, A. Michail⁶,
N. Kitson⁷, N. Pittam⁷, M. Stelmaszczuk⁸

¹ Aerospace Systems & Communications, Atos Origin

² Satrlab Barcelona S.L

³ Uniwersytet Barceloński, Dział Badań i Rozwoju

⁴ French Research Institute for the Exploitation of the Sea (IFREMER)

⁵ BOOST Technologies

⁶ ECOPORTS FOUNDATION, 1000 CN Amsterdam, The Netherlands

⁷ ABP Marine Environmental Research Ltd.

⁸ Centrum Badań Kosmicznych Polskiej Akademii Nauk

SŁOWA KLUCZOWE: platforma PEARL, środowisko morskie, dane teledetekcyjne, dane *in situ*, fuzja danych

STRESZCZENIE: Platforma PEARL to system dostosowany do potrzeb portów morskich, który pozwala na integrację danych satelitarnych oraz naziemnych w celu jak najlepszego zarządzania środowiskiem portowym. Dane satelitarne uzupełnione informacjami pozyskanymi z pomiarów *insitu*, dotyczącymi: jakości wody i powietrza, jakości osadów, prądów morskich, prędkości i kierunku rozchodzenia się fal morskich, zostały wykorzystane między innymi do monitorowania: pól wiatrów, plam ropy, prądów morskich, temperatury powierzchniowej wody, ruchu statków. Dostęp do danych naziemnych został zapewniony przez porty. Wybór danych satelitarnych był uwarunkowany możliwościami ich wykorzystania, a także związany z indywidualnymi potrzebami użytkowników. Platforma jest gotowa do implementacji. Jej działanie zostało sprawdzone w trzech europejskich portach w Barcelonie (Hiszpania), Southampton (Wielka Brytania) oraz Tallinie (Estonia).

1. WSTĘP

Porty morskie, w codziennej pracy, stoją przed wieloma wyzwaniami związanymi z środowiskiem naturalnym. Monitorują one wiele parametrów takich jak:

- zmiany zasięgów pływów,
- silne prądy,
- silne wiatry,
- zmiany temperatury wody,
- kwitnienie alg,
- wypływy i plamy ropy,
- wypływy i plamy innych substancji chemicznych,
- zanieczyszczenia atmosfery,
- mgły,
- zmiany ukształtowania dna morskiego,
- przemieszczenia osadów dennych,
- zabezpieczenia brzegów, itd.

Co więcej europejskie ustawodawstwo wymaga coraz lepszej obserwacji środowiska portowego. W swoich celach strategicznych na lata 2005-2009 Komisja Europejska zaznaczyła szczególną potrzebę określenia wszechstronnej polityki morskiej ukierunkowanej na rozwijanie prosperującej gospodarki morskiej w sposób zapewniający zrównoważoną ochronę środowiska. Taka polityka powinna być wspierana badaniami naukowymi, technologią i innowacjami na najwyższym poziomie. Celem projektu PEARL było stworzenie takiego systemu, który spełniałby wymagania Unii Europejskiej. Zaproponowane rozwiązanie w postaci platformy PEARL pozwala na polepszenie jakości pracy portów w myśl zrównoważonego rozwoju.

Nazwa PEARL pochodzi od nazwy międzynarodowego projektu *Port Environmental Information Collector*. Projekt był współfinansowany przez Komisję Europejską w ramach 6 Programu Ramowego w tematyce Aeronautyka oraz Przestrzeń Kosmiczna. Zadaniem projektu było stworzenie po raz pierwszy platformy integrującej dane satelitarne oraz naziemne do zarządzania środowiskiem portowym. W tym celu przeprowadzono analizę rynku portowego, analizę dostępnych danych naziemnych i satelitarnych oraz weryfikację systemu.

Projekt PEARL zakładał czteroetapowe podejście do tworzenia platformy. Pierwszym etapem było przeanalizowanie potrzeb rynku morskiego dotyczących wykorzystania danych satelitarnych oraz określenie głównych monitorowanych parametrów środowiskowych. Na podstawie przeprowadzonych badań sektora portowego dokonano wyboru potrzebnych danych satelitarnych i naziemnych. Kolejnym etapem było zaprojektowanie platformy, a następnie jej przetestowanie podczas kampanii walidacyjnej w trzech wybranych europejskich portach morskich.

2. ANALIZA POTRZEB UŻYTKOWNIKA KOŃCOWEGO

Analiza potrzeb sektora portowego opracowana została na podstawie ankiet, które były przeprowadzone w 25 portach europejskich (Tab. 1):

Tab. 1. Tabela – Ankietywane Porty Europejskie (Pittam, 2006a).

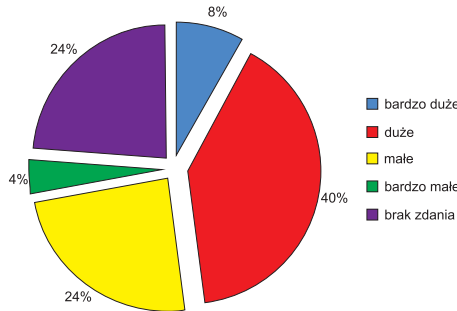
Nazwa Portu	Kraj
Amsterdam	Holandia
Antwerpia	Belgia
Barcelona	Hiszpania
Bordeaux	Francja
Bristol	Wielka Brytania
Bruksela	Belgia
Cardiff	Wielka Brytania
Civitavecchia	Włochy
Kopenhaga i Malmö	Dania/Szwecja
Cork	Irlandia
Dover	Wielka Brytania
Gdynia	Polska
Genowa	Włochy
Gijon	Hiszpania
Goteborg	Szwecja
Hamburg	Niemcy
Hull	Wielka Brytania
Londyn	Wielka Brytania
Marseille	Francja
Moerdijk	Holandia
Rotterdam	Holandia
Southampton	Wielka Brytania
Thessaloniki	Grecja
Tyne	Wielka Brytania
Vendres	Francja

Pytania dotyczyły:

- profilu portu (status portu, obroty, wielkości przeładunków, itp.),
- zarządzania środowiskiem portowym (budżet, polityka środowiskowa, itp.),
- obecnie wykorzystywanych danych,
- zapotrzebowania na dane,
- oceny projektowanej platformy PEARL.

Na podstawie uzyskanych informacji określono zapotrzebowanie na istnienie systemu do zarządzania środowiskiem wykorzystującym dane pozyskane z pułapu satelitarnego.

Prawie połowa ankietowanych określiła swoje zapotrzebowanie jako bardzo duże i duże (Rys. 1). Duże zainteresowanie danymi satelitarnymi wynika przede wszystkim z często ograniczonego dostępu do danych *insitu* oraz punktowego charakteru ich pomiaru. Aż 40% ankietowanych stwierdziło, że istnieją luki w danych, spowodowane głównie awarią sprzętu. Stąd integracja danych naziemnych i satelitarnych może okazać się najlepszą odpowiedzią na pojawiające się problemy z dostępem do informacji.

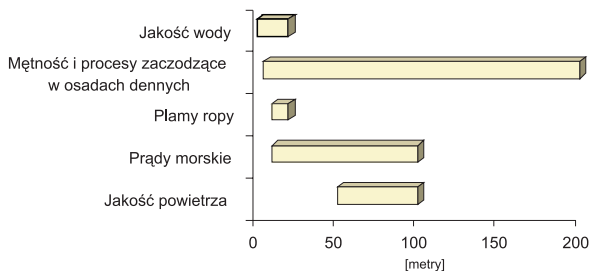


Rys. 1. Zapotrzebowanie na system typu PEARL (Pittam, 2006b).

W opinii ankietowanych najważniejszymi parametrami środowiskowymi monitorowanymi w portach są:

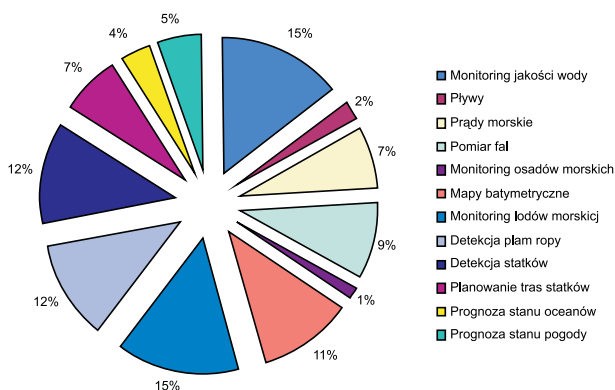
- 1) mętność wody i procesy zachodzące w osadach dennych,
- 2) jakość wody,
- 3) prądy morskie,
- 4) plamy ropy,
- 5) jakość powietrza,
- 6) prędkość i kierunek wiatru.

Określono również preferowaną maksymalną i minimalną rozdzielczość przestrzenną, z jaką wyżej wymienione parametry powinny być rejestrowane (Rys. 2).



Rys. 2. Maksymalna i minimalna rozdzielczość przestrzenna mierzonych parametrów (Pittam, 2006b).

Przeprowadzono także analizę dostawców serwisów pod kątem oferowanych przez nich usług (Rys. 3).



Rys. 3. Serwisy wykorzystujące obserwacje satelitarne obszarów morskich (Stelmaszczyk, Buszke, 2008).

W wyniku przeprowadzonego badania określono pięć głównych tematów, w których wykorzystywany jest satelitarny monitoring obszarów morskich, tj.:

- monitoring łodów morskich,
- monitoring jakości wody,
- detekcja plam ropy,
- detekcja statków,
- dostarczanie map batymetrycznych.

Dyskutowany był również koszt danych satelitarnych. W celu redukcji kosztów związanych z eksploatacją platformy PEARL zaproponowano dzielenie kosztów pomiędzy porty morskie położone blisko siebie. Oszacowanie kosztu platformy było zresztą jednym z trudniejszych etapów projektu ze względu na zmieniający się koszt zdjęć związany z coraz to większą liczbą dostępnych satelitów oraz planowanymi misjami w ramach programu GMES (Globalny Monitoring dla Środowiska i Bezpieczeństwa). Przewiduje się, że w przyszłości ciężar kosztu podobnych aplikacji będzie przeniesiony z danych satelitarnych na ich przetwarzanie.

3. WYBÓR DANYCH ORAZ PROJEKT SYSTEMU

Kolejnym etapem po analizie rynku był wybór danych. Przeprowadzono szczegółowy przegląd danych naziemnych oraz danych satelitarnych pod względem ich przydatności i możliwości wykorzystania oraz istniejących ograniczeń.

Dane satelitarne od kilkunastu lat są z powodzeniem wykorzystywane w działaniach operacyjnych na morzu. Służą do obserwacji, modelowania oraz prognozowania stanu

oceanów oraz cyrkulacji atmosferycznej na poziomie globalnym, jak również regionalnym. Obecnie dane wykorzystywane są przede wszystkim do określania stanu pogody oraz do monitorowania ruchu statków poprzez AIS (Automatyczny System Identyfikacji), system oparty na technologii GPS (Globalny System Pozycjonowania).

W wyniku fuzji i modelowania danych satelitarnych i naziemnych poprawiono jakość modeli numerycznych opisujących stan morza.

W ostatnim czasie dużo wysiłku poświęca się obserwacji stref przybrzeżnych. Charakteryzują się one zmiennością i złożonością zachodzących zjawisk. Jest to strefa bardzo ważna z punktu ekonomicznego, strategicznego oraz środowiskowego. Stąd nowe technologie są często kluczowe dla zrozumienia zjawisk zachodzących w strefie przybrzeżnej.

Wybór danych satelitarnych poprzedzony był przeglądem szerokiej gamy metod ich pozyskiwania. Mając na względzie, że tylko ograniczona ilość informacji o środowisku przybrzeżnym może być efektywnie rejestrowana z pułapu satelitarnego, wybrano następujące parametry do obserwacji z wykorzystaniem obrazów satelitarnych (Gracia, Kerbad, 2007):

- wiatry przypowierzchniowe,
- przybrzeżne pola wiatrów,
- monitoring plam ropy,
- monitoring ruchu statków,
- przypowierzchniowa temperatura morza,
- prądy morskie,
- rozkwit glonów.

Informacje wymienione powyżej otrzymywane były ze zdjęć radarowych ENVISAT ASAR, ERS-2 AMI-SAR.

W przypadku danych naziemnych informacje wykorzystane w platformie PEARL dotyczą (Romero, 2007):

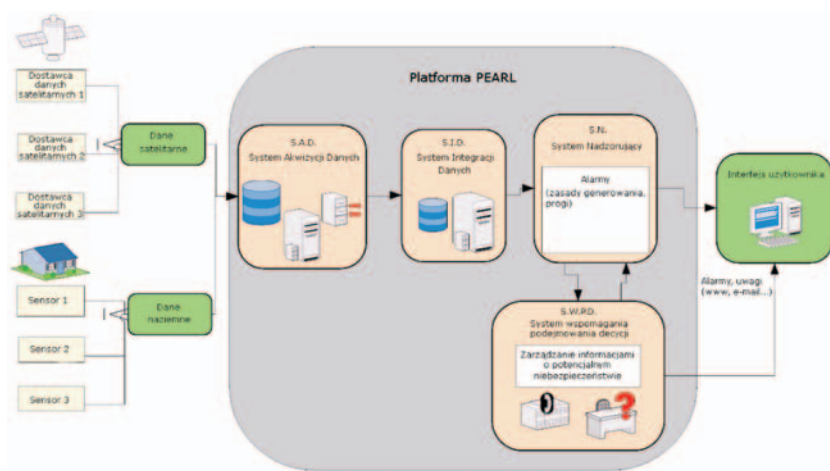
- prędkości i kierunku wiatru,
- jakości powietrza,
- jakości wody,
- mętności,
- jakości osadów dennych,
- falowania (kierunek, wysokość i prędkość fal),
- prądów morskich (prędkość i kierunek przepływu).

Dane naziemne pochodziły z rozmieszczonych w portach automatycznych stacji meteorologicznych oraz stacji dokonujących pomiarów przewodnictwa, temperatury i głębokości wody, w których są prowadzone również analizy chemiczne i pomiary wskaźników akustycznych wody.

Platforma PEARL została tak zaprojektowana, aby umożliwić łatwą integrację danych oraz aby możliwe było implementowanie nowych źródeł informacji o środowisku przybrzeżnym.

Opracowując system, oparto się na standardach OGC (*Open GeoSpatial Consortium*) zapewniając platformie interoperacyjność oraz łatwość wymiany danych. System bazuje na pięciu głównych komponentach:

- 1) System Akwizycji Danych S.A.D. – system odpowiedzialny jest za pozyskiwanie danych satelitarnych i naziemnych;
 - 2) System Integracji Danych S.I.D. – system odpowiedzialny za implementację algorytmów i modeli do fuzji danych;
 - 3) System Wspomagający Podejmowanie Decyzji S.W.P.D. – jego zadaniem jest zarządzanie i operowanie informacjami o potencjalnym zagrożeniu;
 - 4) Interfejs użytkownika – odpowiedzialny za interakcję z użytkownikiem.
- Współdziałanie poszczególnych systemów zostało przedstawione na rysunku 4.



Rys. 4. Architektura platformy PEARL (Diaz, 2008).

Dane satelitarne oraz naziemne są dostarczane z wykorzystaniem protokołów takich jak http, FTP, OPeNDAP oraz innych lokalnych systemów wymiany plików. Na potrzeby platformy zastosowano dwa rodzaje konwerterów danych satelitarnych i naziemnych:

- NetCDF na GeoTIFF – dane satelitarne,
- ASCII/MBD.XLS na CSV – dane *in situ*.

W momencie kiedy system zarejestruje wartość inną niż wartość dopuszczalna wysyłany jest alarm przez system nadzorujący. Informacja o przekroczonych wartościach określonego parametru jest weryfikowana za pomocą systemu S.W.P.D. Po potwierdzeniu prawdziwości anomalii, alarm jest przesyłany dalej poprzez interfejs użytkownika do pozostałych użytkowników systemu/pracowników (Rys. 5). Informacje są dostarczane do użytkownika w czasie prawie rzeczywistym.

System PEARL to:

- łatwy w dostępie i przyjazny w obsłudze system,
- dostarczane dane satelitarne są przetworzone w związku z tym nie wymaga wiedzy eksperckiej,
- system jest niezależny od platformy sprzętowej, oparty na aplikacjach WWW.



Rys. 5. Interfejs użytkownika platformy PEARL (Michail, 2008).

W przypadku systemu GIS już działającego w porcie nowe informacje dodawane są jako nowa warstwa tematyczna.

4. KAMPANIA WALIDACYJNA

Kolejnym etapem tworzenia systemu była jego walidacja. System PEARL został zweryfikowany w trzech europejskich portach w: Barcelonie, Southampton, Tallinie. Kampania walidacyjna przewidywała dwa scenariusze sprawdzania platformy: w czasie prawie rzeczywistym oraz z wykorzystaniem danych archiwalnych. Pierwsze podejście zostało przetestowane w porcie Barcelona. Walidacja systemu była zaplanowana na pięć dni. Pierwszy dzień poświęcony był instalacji systemu oraz nauce obsługi. Przez kolejne dni system był testowany przez użytkowników, którzy ostatniego dnia kampanii walidacyjnej wyrazili swoje uwagi i określili przydatność zaproponowanego rozwiązania do zarządzania środowiskiem w porcie i w strefie przybrzeżnej.

Na podstawie oceny użytkowników oraz doświadczenia w obszarze stosowanych technik satelitarnych w tematyce morskiej można dojść do następujących wniosków:

- 1) dane satelitarne w połączeniu z danymi naziemnymi dostarczają wartościowych informacji, które mogą być wykorzystane w portach morskich, jako integralna część systemów do zrównoważonego zarządzania środowiskiem portowym;
- 2) dane satelitarne zapewniają ciągłość pomiaru i uzupełniają dostarczają dane naziemne, które mają charakter punktowy;
- 3) dane satelitarne dzięki swojej synoptyczności pozwalają na szybką ocenę zmian w środowisku;
- 4) zaproponowano obniżenie kosztu systemu poprzez współfinansowanie zakupu danych z wykorzystaniem instytucji Komisji Europejskiej, takich jak EMSA (Europejska Agencja ds. Bezpieczeństwa na Morzu) czy organizacji ESPO (*European Sea Ports Organisation*), Ecoports, BPO (*Baltic Ports Organization*).

5. WNIOSKI

Podsumowując, platforma PEARL może być prototypem systemu integrującego dane naziemne z danymi satelitarnymi. Podczas kampanii walidacyjnej system spotkał się z dużym zainteresowaniem i pozytywnymi ocenami. Przede wszystkim doceniono fakt, że platforma integruje w jednym miejscu różne źródła danych o środowisku portowym i umożliwia lepsze zarządzanie środowiskiem oparte na pełnej informacji. Menadżer do spraw środowiska w porcie Tallin podkreślił, że sukces systemu jako narzędzia integrującego dane jest bezpośrednio zależny od dostępności, jakości, rozdzielczości czasowej oraz kosztu danych satelitarnych.

System PEARL stanowi kolejny krok w kierunku wykorzystania satelitarnych obserwacji Ziemi w codziennym życiu.

6. LITERATURA

Diaz R., 2008. Raport projektu PEARL, *Projekt platformy PEARL*.

European Communities, 2006. GREEN PAPER: Towards a future Maritime Policy for the Union: A European vision for the oceans and seas.

Gracia, Kerbaol V., 2007. Raport projektu PEARL, *Przegląd i wybór danych satelitarnych*.
http://ec.europa.eu/maritimeaffairs/pdf/com_2006_0275_en_part2.pdf

Michail A., 2008. Raport projektu PEARL, *Projekt, wyniki i wnioski kampanii walidacyjnej*.

Pittam N., 2006a. Raport projektu PEARL, *Port Sector Profile*.

Pittam N., 2006b. Raport projektu PEARL, *Port Environmental Requirements*.

Romero L., 2007. Raport projektu PEARL, *Przegląd i wybór danych naziemnych*.

Stelmaszczuk M., Buszke B., 2008. Raport projektu PEARL, *Plan implementacji platformy PEARL*.

PEARL – ENVIRONMENTAL MANAGEMENT SYSTEM FOR PORT AUTHORITIES

KEY WORDS: PEARL platform, maritime environment, EO data, *in situ* data, data fusion

SUMMARY: The PEARL system is a tailor-made platform based on a modular structure which provides an Environmental Management System for Port Authorities that allows the incorporation of future data sources (new in-situ sensors, future space missions, etc) as they become available. The EO data are used to monitor physical parameters related to the Port environment, such as sea surface winds, coastal swell fields, oil spills, currents, ship traffic, sea surface temperature, and can be integrated to complement in-situ sensors in the same port area. The selection of the EO data was made taking into account the end-users' environmental needs and the EO data limitations. Each port gave access to their in-situ sensors to provide data for integration with EO information. The selected in-situ sensors measured: air and water quality, turbidity, sediment quality currents, wave speed and direction. The paper gives an overview on the system architecture, data selection and on the results of the PEARL platform validation. The platform is ready to use and was validated in three European ports: the ports of Barcelona, Southampton and Tallinn.

M. Jose Sedo Sanroma
mariajose.sedo@atosresearch.eu
telefon: +34 934861818
fax: +34 934860766

Rodrigo Diaz Rodriguez
rodrigo.diaz @atosresearch.eu
telefon: +34 935043553
fax: +34 934860766

Laia Romero
laia.romero@starlab.es
telefon: +34 932540366
fax: +34 932126445

Violeta Gracia
violeta.gracia@uab.cat
telefon: +34 935811636 wew. 4964

Jean Francis Piolle
Jean.francois.piolle@ifremer.fr
telefon: +33 (0)146482100
fax: +33 (0)146482121

Dr Vincent Kerbaol
vincent.kerbaol@ boost-technologies.com
telefon: +33 (0)298057680
fax: +33 (0)298057690

Antonis Michail
antonis.michail@ecoports.com
telefon: +32 27349448
fax: +32 27366325

Neil Pittam
npittam@abpmer.co.uk
telefon: +44 (2380) 711840
fax: +44 (2380) 711841

Nick J. Kitson
nkitson@abpmer.co.uk
telefon: +44 (2380) 711840
fax: +44 (2380) 711841

Martyna Stelmaszczuk
mstelmas@cbk.waw.pl
telefon: +48 22 3816412
fax: +48 22 8403131

* wersja kolorowa artykułu jest dostępna na stronie <http://www.sgp.geodezja.org.pl/ptfit>

**SYSTEMY INFORMACJI PRZESTRZENNEJ –
WIEŻA BABEL XXI WIEKU**

**GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS –
21ST CENTURY TOWER OF BABEL**

Robert Szczepanek

Zakład Hydrologii, Politechnika Krakowska
Open Source Geospatial Foundation

SŁOWA KLUCZOWE: systemy informacji przestrzennej, ikony, tłumaczenia, QGIS, GRASS

STRESZCZENIE: W artykule opisano prace związane z ujednoczeniem ikon na paskach narzędziowych wybranych, opartych na wolnych i otwartych licencjach systemów informacji przestrzennej. Przy projektowaniu wykorzystano doświadczenia projektu Tango (Tango, 2007) oraz wytyczne stworzone dla programów komercyjnych. Lepszą rozpoznawalność ikon uzyskano dzięki zastosowaniu systemu prezentacji wizualnej obiekt-akcja oraz założeniu powtarzalności symboli. Opracowany w ramach projektu zestaw ikon *GIS icons* (Szczepanek, 2009) został pomyślnie zaimplementowany nie tylko w dwóch pierwotnie zaplanowanych programach (GRASS i QGIS), ale jest sukcesywnie wdrażany w kolejnych aplikacjach. Drugim problemem przedstawionym w artykule jest zagadnienie wykorzystania narzędzi wspierających proces przygotowywania programów w wielu wersjach językowych (lokalizacji). Przeanalizowano aktualnie wykorzystywane i możliwe do wykorzystania narzędzia. Dokonano również analizy dostępnych w Polsce słowników branżowych pod kątem ich praktycznego wykorzystania przy tworzeniu polskich wersji programów. W ramach prac dokonano pełnej lokalizacji interfejsu programu QGIS oraz częściowej lokalizacji programu GRASS. W ramach dyskusji zaprezentowano zestaw narzędzi informatycznych, które mogą znacząco usprawnić proces tworzenia jednolitego, wspólnego dla wielu projektów słownika geomatycznego.

1. WPROWADZENIE

Systemy informacji przestrzennej przeżywają w ostatnich latach bardzo dynamiczny rozwój. Ich motorem są nowoczesne technologie oraz coraz to nowe obszary zastosowań danych przestrzennych. Za tą dynamiką nie zawsze nadąża symbolika wyko-

rzyszywana w programach, ani tłumaczenia terminów specjalistycznych na różne języki. W chwili obecnej w ramach funkcjonujących na rynku aplikacji istnieje spora dowolność w tym zakresie. Ten rodzaj różnorodności nie ułatwia pracy z programami i raczej pogarsza ich ergonomię. Co by było, gdyby każdy kraj w Europie opracował swój własny kodeks drogowy z własnymi znakami? Dla wygody samych użytkowników należy więc – w miarę możliwości – ujednoczyć symbolikę stosowaną w oprogramowaniu branżowym. Nie oznacza to oczywiście całkowitej unifikacji, gdyż pewien poziom różnorodności jest jak najbardziej wskazany. Należy uniknąć jedynie sytuacji, w której każdy program będzie stosował zupełnie odmienny symbol dla jednej i tej samej operacji.

Podobny, a w zasadzie poważniejszy problem występuje na płaszczyźnie językowej. Tutaj różnorodność tłumaczeń określonych terminów może spowodować znacznie większe spustoszenia, doprowadzając sytuację do tytułowej wieży Babel. Bez koordynacji tłumaczeń różnych programów, sami możemy doprowadzić do pomieszania terminologii w ramach języka polskiego. Problem jest realny, gdyż w chwili obecnej jest rozwijanych na świecie ponad 300 projektów związanych z systemami informacji przestrzennej, udostępnianych na wolnych i otwartych licencjach (FreeGIS, 2009). Ta różnorodność stanowi ogromny potencjał, ale powoduje też nieuniknione problemy. Programy są rozwijane przez osoby z różnych branż i z różnych krajów. I choć językiem źródłowym wydaje się być angielski, to nawet w nim pewne terminy nie są jednoznaczne. Dobrym tego przykładem jest niedawna dyskusja w gronie programistów systemu GRASS dotycząca pojęcia *vector layer*, które jak się okazuje wcale nie jest takie jednoznaczne (GRASS, 2008). A terminy te należy jeszcze przetłumaczyć na języki narodowe, aby aplikacja była przyjazna dla użytkownika.

Na poziomie budowania aplikacji udało się już wypracować metody wykorzystywania wspólnych bibliotek takich jak np. GDAL/OGR (GDAL, 2009). Programiści z różnych stron świata tworząc wspólnie aplikacje, wykorzystują zaawansowane narzędzia umożliwiające skoordynowanie ich prac programistycznych. W kwestii jednolitych i spójnych interfejsów oraz narzędzi ułatwiających przygotowywanie programów w różnych wersjach językowych jest jeszcze sporo do zrobienia. Jak na razie, nie wypracowano wygodnego narzędzia ułatwiającego współdzielenie tłumaczeń pomiędzy projektami. Fundacja *Open Source Geospatial* (OSGeo, 2007) może pomóc skoordynować te prace, dzięki temu, że sprawuje opiekę nad wieloma ważnymi projektami takimi jak np. GDAL/OGR, GEOS, GeoTools, PostGIS, deegree, MapServer, OpenLayers, GRASS, Quantum GIS, gvSIG.

2. CEL PRACY

Podstawowym celem prezentowanych prac było opracowanie i wdrożenie uniwersalnego zestawu ikon do pasków narzędziowych dla systemów informacji przestrzennej. Projekt został nazwany *GIS icons*. Drugim celem była analiza procesu lokalizacji oprogramowania geoinformatycznego (oznaczająca tutaj m.in. tłumaczenie tekstu), pod kątem wykorzystania nowoczesnych narzędzi wspomagających ten proces.

Aby można było powszechnie wykorzystywać określone dobra lub idee, nie mogą być one obciążone żadnymi licencjami ani opłatami. Dlatego też, jednym z najważniejszych założeń realizowanego projektu związanego z tworzeniem ikon był wybór takiej licencji, która w żaden sposób nie ograniczy ich stosowalności.

3. NARZĘDZIA

3.1. Tworzenie ikon

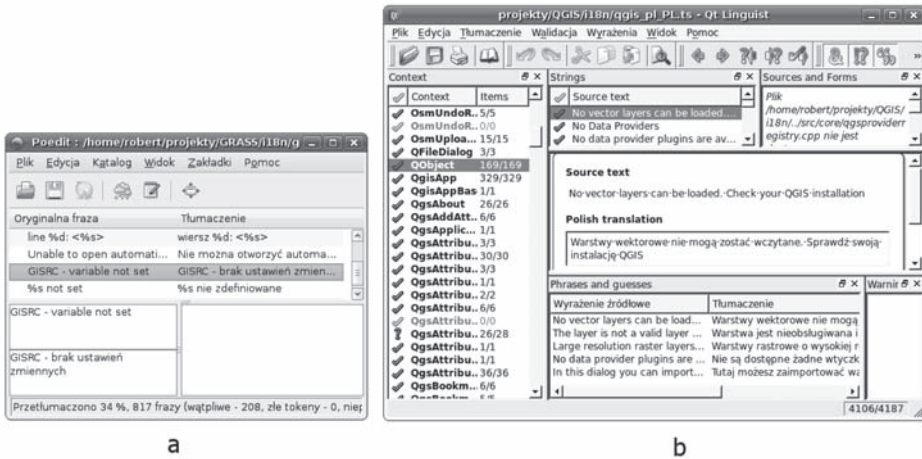
Zakładając wykorzystanie wolnych i otwartych programów graficznych, do wyboru były dwa popularne i zaawansowane narzędzia – do edycji rastrowej (GIMP, 2009) lub do edycji wektorowej (Inkscape, 2009). Ze względu na potencjalną skalowalność ikon do różnych rozmiarów, wybrano program wektorowy Inkscape 0.46. Jest on dostępny dla wielu platform systemowych, m.in. Windows i Linux. Jak wykazała jednak praktyka, renderowanie obrazów wektorowych do różnych rozmiarów rastrowych nie zawsze zapewnia odpowiednią jakość i praktycznie zawsze wymagana jest dodatkowa edycja (Turbomilk, 2009).

Wybór edytora wektorowego umożliwił zachowanie bardzo niewielkiej wielkości pliku źródłowego. Aktualnie wszystkie ikony (ponad 170 sztuk) przechowywane są w jednym pliku o rozmiarze 400 kB. Dopiero wersje końcowe były renderowane do formatu PNG. Program Inkscape umożliwia pogląd projektowanych ikon w kilku predefiniowanych rozmiarach rastrowych. Jest to funkcja znacząco ułatwiająca i przyspieszająca pracę.

3.2. Tłumaczenia

Istnieją narzędzia znacznie ułatwiające proces tłumaczenia interfejsów programów. W pracy zostały wykorzystane dwa z nich – QtLinguist (Qt, 2009) dla programu Quantum GIS (QGIS, 2009) oraz Poedit (Poedit, 2009) dla programu GRASS (GRASS, 2009). Pierwsze z tych narzędzi jest znacznie wygodniejsze w użyciu i udostępnia funkcje ułatwiające pracę tłumacza, np. system podpowiedzi wykorzystujący dotychczas przetłumaczone frazy (Rys. 1b).

Drugim, niezwykle istotnym narzędziem umożliwiającym równoczesną pracę wielu tłumaczy są systemy kontroli wersji. W pracach wykorzystywano system SVN (Subversion, 2009). Dzięki tego typu narzędziom pliki liczące po kilka tysięcy fraz mogły być tłumaczone przez kilka osób równocześnie, później zaś łączone automatycznie. System kontroli wersji umożliwia m.in. rejestrowanie wszystkich zmian wprowadzanych w tłumaczeniach oraz wykrywanie ewentualnych konfliktów tłumaczeń. Jest to niezastąpione narzędzie przy średnich i dużych projektach.



Rys. 1. Interfejs narzędzi do wspomagania lokalizacji programów; a) Poedit oraz b) QtLinguist.

4. METODY

4.1. Tworzenie ikon

Ile razy zastanawiamy się do czego tak naprawdę służy określona ikona. Paradoksalnie, liczba typowych i powtarzalnych obiektów oraz operacji dostępnych w różnych systemach przestrzennych jest dość spora. Projektowanie graficzne ikon zostało poprzedzone analizami dotychczas wykorzystywanych zestawów ikon, zarówno z wolnego oprogramowania jak i programów własnościowych GIS (Szczepanek, 2008). Ważnym etapem prac były też dyskusje prowadzone z programistami. Wspólnie wypracowano podstawowe założenia projektowanego zestawu ikon:

- ikony będą tworzone w formacie wektorowym SVG, następnie renderowane do wielkości 24x24 piksele i zapisywane w formacie rastrowym PNG,
- ze względu na małą wielkość ikon, projekty pod względem graficznym będą miały charakter minimalistyczny, bez zbędnych szczegółów,
- obiekty i akcje będą prezentowane w rzucie równoległym, jedynie w uzasadnionych przypadkach zostanie zastosowana perspektywa,
- nie będą tworzone cienie obiektów,
- zastosowana zostanie specjalnie dla tego celu zaprojektowana, ograniczona paleta kolorów o stonowanym nasyceniu barw,
- metoda kodowania nazw ikon zostanie zrealizowana zgodnie ze standardami zaproponowanymi przez projekt Tango i odpowiednio dostosowana do specyfiki systemów informacji przestrzennej.

Przy konstruowaniu układu graficznego wewnątrz samej ikony przyjęto jednolity system kodowania określany jako obiekt-akcja (Gilyov, 2007). Od strony graficznej wykorzystano przede wszystkim założenia projektu Tango (Tango, 2007), lecz uwzględniono również bardzo cenne doświadczenia czołowych firm informatycznych (Apple, 2007; Microsoft, 2001) oraz czołowych projektantów (Gilyov, 2007).

Przeprowadzono analizę symboli stosowanych dla oznaczenia podstawowych akcji (Szczepanek, 2008). Ważnym zagadnieniem było również takie rozmieszczenie symboli w ramach obszaru ikony, aby łatwo było dokładać do nich dodatkowe elementy, bez znaczącej utraty czytelności (Rys. 2a-d). Dotyczy to w szczególności powtarzalnych, podstawowych obiektów takich jak warstwa, mapa, itp.



Rys. 2. Koncepcja reprezentacji obiekt-akcja na przykładzie podstawowych ikon; a) layer-add, b) layer-vector-remove, c) map-export, d) mapset-create, e) legend-delete, f) zoom-extent, g) length-measure.

W przypadku akcji o małej powtarzalności, integrowano ją bezpośrednio z obiektem głównym (Rys. 2f-g). Wykorzystanie warstw w programie Inkscape pozwoliło na elastyczne komponowanie kombinacji obiekt-akcja, przy jednoczesnym zachowaniu niewielkiej wielkości pliku źródłowego. Wszystkie ikony są zapisywane w jednym pliku źródłowym w formacie SVG. Problemem otwartym i jeszcze nie rozwiązany pozostają metody równoczesnej edycji plików wektorowych przez kilku projektantów.

4.2. Tłumaczenia

W chwili obecnej dostępnych jest kilka polskich słowników obejmujących systemy informacji przestrzennej w węższym lub szerszym zakresie. Spośród najciekawszych zidentyfikowanych oraz wykorzystanych w trakcie prowadzonych prac należy wymienić:

- słownik pięcioletni z zakresu fotogrametrii i teledetekcji (Sitek, 1990),
- internetowy leksykon geomatyczny (Gaździcki, 2003),
- e-Przewodnik do Polskich Norm (GUGiK, 2007),
- słownik geoinformatyczny PAU (Jachimski, 2004).

Jedynie jeden spośród wymienionych słowników udostępnia bezpośredni dostęp poprzez internet (Gaździcki, 2003), jeden wymaga autoryzacji dostępu (Jachimski, 2004), jeden zaś ma uszkodzoną strukturę odwołań (GUGiK, 2007) co czyni go praktycznie niedostępnym. A szkoda, bo z całą pewnością treści w nich zawarte godne są upowszechniania. W ramach prac tłumaczono na język polski interfejsy programów

QGIS i GRASS. Wspólnym uzgodnieniom podlegały przede wszystkim terminy trudne oraz nowe. Oprócz wymienionych wcześniej słowników wykorzystywano również listy dyskusyjne, korespondencję e-mail oraz komunikatory internetowe. Za polski wkład w rozwój QGIS można również uznać przetłumaczenie w ramach pracy magisterskiej fragmentu QGIS na język arabski (Jalil, 2009). Jednym z etapów procesu lokalizacji była każdorazowa aktualizacja pliku z tłumaczeniami przez osobę posiadającą uprawnienia zapisu do systemu SVN.

5. DYSKUSJA

W ramach projektu *GIS icons* zaprojektowano ponad 170 ikon do pasków narzędziowych (Szczepanek, 2009). Ikony dostępne są na licencji CC-BY-SA 3.0 (Creative Commons, 2009). Dopuszcza ona dowolne kopiowanie, rozpowszechnianie, tworzenie utworów zależnych, przy założeniu tych samych warunków i przy zachowaniu autorstwa. Zaprojektowane ikony można więc, praktycznie bez ograniczeń, wykorzystywać bezpłatnie w dowolnej aplikacji oraz dowolnie modyfikować.

Stworzone ikony wdrożono w trzech popularnych systemach GIS – GRASS, QGIS oraz Mapplete. Kolejne wdrożenia są w toku – gvSIG, GeoTools. Na prośbę autorów systemu gvSIG, w trakcie przygotowania są również wytyczne do projektowania ikon.

Aby przeprowadzić szerszą dyskusję dotyczącą symboliki stosowanej w ikonach oraz ujednoczyć nazewnictwo ikon w ramach różnych projektów, w październiku 2009 uruchomiono listę dyskusyjną dedykowaną tym zagadnieniom (OSGeo, 2009).

Bardzo istotna w procesie tłumaczenia jest współpraca osób w nie zaangażowanych. Problemem jest brak wspólnych dla wielu projektów słowników geomatycznych. Często więc, tłumaczenia są realizowane praktycznie bez narzędzi wspierających, jedynie w oparciu o wiedzę, doświadczenie i intuicję tłumacza. Powoduje to powstawanie błędów i niepotrzebne dublowanie prac.

Dzięki współpracy w ramach OSGeo, przygotowano w 100% polską wersję interfejsu programu QGIS 1.1. Prace nad pełną lokalizacją programu GRASS są w toku. Wybór tych programów był podyktowany ich przydatnością w procesie edukacji w szkołach wyższych, co potwierdzają również inni dydaktycy (Pyka, Twardowski, 2007), oraz coraz większą ich popularnością.

W tej chwili, w ramach fundacji OSGeo poszukiwane są narzędzia, które ułatwią tłumaczenia wielu projektów (Neteler, 2009). Ciekawą kombinację narzędzi wydaje się proponować projekt Translate (Translate, 2008). W jego ramach dostępne są dwa rodzaje narzędzi wspomagających tłumaczenia – tradycyjny program do instalowania na komputerze oraz system tłumaczeń on-line. Program wymagający instalacji to Virtaal. Jest to wieloplatformowa aplikacja napisana w Pythonie, obsługująca praktycznie wszystkie podstawowe formaty językowe, z możliwością wykorzystania lokalnych słowników. Drugim narzędziem jest system Pootle, umożliwiający dokonywanie tłumaczeń on-line za pośrednictwem przeglądarki internetowej. Dopełnieniem tych dwóch narzędzi może być projekt Open-Tran (Open-Tran, 2009), który umożliwi przeszukiwanie haseł w ramach

wielu projektów, a co ciekawe operacja taka może być uruchomiona z poziomu programu Virtaal. Stwarza to znakomite możliwości skoordynowania słownictwa w ramach wielu projektów, a przetłumaczone frazy stają się od razu dostępne dla innych. Niewątpliwą zaletą takiego rozwiązania byłaby możliwość szybkiego i łatwego dostępu do aktualnych tłumaczeń wybranego terminu w różnych programach. Byłby to więc raczej integrator tłumaczeń, niż jeden scentralizowany słownik.

6. WNIOSKI

Zakładając wykorzystanie wspólnych dla wielu projektów geoinformatycznych bibliotek ikon i symboli, niezbędne wydaje się ujednoczenie ich nazewnictwa.

Licencja Creative Commons, na której udostępniono zestaw *GIS icons*, powinna ułatwić jego implementację w wielu programach. Wolny model licencjonowania powinien przyczynić się do lepszego wykorzystania zasobów oraz pośrednio do poprawy ergonomii tworzonych programów.

Konieczne jest stworzenie infrastruktury informatycznej wspierającej tłumaczenia, wspólnej dla wielu projektów geoinformatycznych.

OSGeo, oraz niedawno utworzone OSGeo Polska, w istotny i wymierny sposób przyczyniają się do rozwoju infrastruktury przestrzennej. Członkowie OSGeo to pasjonaci, a praca z nimi to nie tylko zaszczyt, ale i prawdziwa przyjemność.

7. PODZIĘKOWANIA

Chciałbym serdecznie podziękować za współpracę i wiele cennych uwag przy tworzeniu zestawu ikon programistom projektu GRASS – Martinowi Landzie i Michaelowi Bartonowi oraz programistom projektu QGIS – Timowi Sutton i Borysowi Jurgielowi. Dziękuję również Milenie Nowotarskiej i Borysowi Jurgielowi za wspólną pracę przy lokalizacji programów QGIS i GRASS.

8. LITERATURA

Apple, 2007. Designing toolbar icons, Apple Human Interface Guidelines, http://developer.apple.com/documentation/UserExperience/Conceptual/AppleHIGuidelines/XHIGIcons/chapter_15_section_9.html

Creative Commons, 2009. <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.pl>

FreeGIS, 2009. <http://www.freegis.org/>

Gaździcki, J., 2003. Internetowy leksykon geomatyczny, Polskie Towarzystwo Informatyki Przestrzennej, <http://www.ptip.org.pl>.

- GDAL, 2009. <http://www.gdal.org/>
- Gilyov Y., 2007. Designing an iconic language, http://turbomilk.com/blog/cookbook/usability/designing_an_iconic_language/
- GIMP, 2009. <http://www.gimp.org/>
- GRASS, 2008. GRASS 7 Terminology, http://grass.osgeo.org/wiki/GRASS_7_Terminology#Vector_layer
- GRASS, 2009. <http://grass.osgeo.org/>
- GUGiK, 2007. Przewodnik do Polskich Norm w dziedzinie informacji geograficznej, <http://e-przewodnik.gugik.gov.pl/>
- Inkscape, 2009. <http://www.inkscape.org/>
- Jachimski J., 2004. Słownik geoinformatyczny PAU, <http://slownik.fotogrametria.agh.edu.pl/helpna1.htm>
- Jalil L., 2009. *Internacjonalizacja (i18n) systemów informacji przestrzennej na przykładzie Quantum GIS i GRASS*. praca magisterska, Politechnika Krakowska.
- Microsoft, 2001. Creating Windows XP Icons, Windows XP Technical Articles, <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/ms997636.aspx>
- Neteler M., 2009. Software translation portal, http://wiki.osgeo.org/wiki/Software_Translation_Portal
- Open-Tran, 2009. <http://open-tran.eu/>
- OSGeo, 2007. <http://www.osgeo.org/>
- OSGeo, 2009. Lista dyskusyjną o grafice, <http://lists.osgeo.org/mailman/listinfo/graphics>
- Poedit, 2009. <http://www.poedit.net/>
- Pyka K., Twardowski M., 2007. Miejsce wolnego oprogramowania w nauczaniu geoinformatyki. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 17B, s. 691-697.
- Qt, 2009. <http://qt.nokia.com/>
- QGIS, 2009. <http://qgis.org>
- Sitek Z., 1990. *Słownik pięcioletni z zakresu fotogrametrii i teledetekcji z objaśnieniami w języku polskim*, Zakład Fotogrametrii AGH, Kraków.
- Subversion, 2009. <http://subversion.tigris.org/>
- Szczepanek R., 2008. Toolbar icons for GIS applications. *Geoinformatics FCE CTU*, Volume 3, Czech Technical University in Prague.
- Szczepanek R., 2009. GIS icons theme, <http://robert.szczepanek.pl/icons.php>
- Tango, 2007. <http://tango.freedesktop.org>
- Translate, 2008. <http://translate.sourceforge.net/wiki/guide/tools/comparison>
- Turbomilk, 2009. <http://turbomilk.com/services/rates/>

**GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS
– 21ST CENTURY TOWER OF BABEL**

KEY WORDS: geographical information systems, icons, translation, QGIS, GRASS

SUMMARY: The paper describes a project related to the unification of toolbar icons for selected, free and open license geographical information systems. Experience of the Tango project (Tango, 2009) and the guidelines available for commercial software were used in the design process. Better icon recognisability was achieved by implementing an object-action system for visual presentation and assumptions concerning the re-use of symbols. An icon set designed within the GIS icons project (Szczepanek, 2009) has been successfully implemented not only in two planned programs (GRASS and QGIS) but also in other programs. The second issue described in this paper relates to the use of tools supporting the development of multilingual applications (localization). The tools currently used and those which it is possible to use are analysed. Polish geomatics dictionaries were tested against practical use in the preparation of local versions of software. The full localization of the QGIS interface and the partial localization of GRASS are outcomes of the project described. In discussion, a set of informatics tools which could significantly improve the process of development of a uniform geomatics dictionary to be jointly used by different projects is presented.

dr inż. Robert Szczepanek
robert@szczepanek.pl

**ZASTOSOWANIE REGRESJI WAŻONEJ GEOGRAFICZNIE
DO MODELOWANIA MIEJSKIEJ WYSPY CIEPŁA WE WROCŁAWIU**

**APPLICATION OF GEOGRAPHICALLY WEIGHTED REGRESSION
FOR URBAN HEAT ISLAND MODELLING IN WROCŁAW**

Mariusz Szymanowski¹, Maciej Kryza²

¹ Zakład Kartografii,
Instytut Geografii i Rozwoju Regionalnego Uniwersytetu Wrocławskiego

² Zakład Klimatologii i Ochrony Atmosfery,
Instytut Geografii i Rozwoju Regionalnego Uniwersytetu Wrocławskiego

SŁOWA KLUCZOWE: regresja ważona geograficznie, interpolacja przestrzenna, GIS, miejska wyspa ciepła, Wrocław

STRESZCZENIE: Artykuł prezentuje zastosowanie regresji ważonej geograficznie (GWR) do interpolacji przestrzennej temperatury powietrza w warunkach wystąpienia miejskiej wyspy ciepła (UHI) we Wrocławiu. Rezultaty interpolacji GWR porównano z uzyskanymi za pomocą innych metod: regresji wieloczynnikowej (MLR) – model globalny, i krigingu resztowego dla obydwu modeli regresyjnych (odpowiednio: RK i GWRK). Dane wejściowe stanowiły pomiary temperatury powietrza w 206 nieregularnie rozmieszczonych punktach oraz warstwy dodatkowych zmiennych objaśniających, utworzone głównie na podstawie mapy pokrycia terenu i zdjęć satelitarnych (Landsat TM). Walidację interpolacji przeprowadzono metodą oceny krzyżowej (CV), analizując miary diagnostyczne (BIAS, MAE, RMSE) i rozkład przestrzenny błędów CV. Porównanie rezultatów modeli regresyjnych wskazało zasadność zastosowania GWR w przypadku niestacjonarnego procesu przestrzennego (UHI). Kalibrację modelu lokalnego przeprowadzono w zmiennej macierzy sąsiedztwa (tzw. kernelu) z uwzględnieniem zachowania możliwości fizycznej interpretacji procesu. Kriging reszt, przeprowadzony dla lokalnego i globalnego modelu regresji poprawił jakość interpolacji. Za optymalną w analizowanych przypadkach UHI metodę interpolacji uznano kriging resztowy dla regresji ważonej geograficznie (GWRK).

1. WSTĘP

Miejska wyspa ciepła (ang. *Urban Heat Island* – UHI) jest jedną z najsilniej zaznaczonych lokalnych, antropogenicznych modyfikacji klimatu. UHI powstaje w wyniku

oddziaływania czynników fizycznych związanych z przekształceniem środowiska naturalnego w procesach urbanizacyjnych, głównie poprzez zmiany właściwości radiacyjnych, termicznych i aerodynamicznych przestrzeni miejskiej (Oke, 1987). UHI wyraża się wzrostem temperatury postępującym w kierunku centralnych partii miast. Pole temperatury w takich przypadkach przyjmuje na ogół kształt koncentryczny, zaburzony przez lokalne obniżenia i podwyższenia temperatury związane ze zmianami w pokryciu i użytkowaniu terenu (Oke, 1976). Występowanie UHI jest szczególnie czytelne podczas tzw. pogody radiacyjnej, a więc przy bezchmurnej i bezwietrznej atmosferze. Centralne partie miast mogą być wtedy nawet o kilkanaście stopni cieplejsze w porównaniu do obszarów pozamiejskich, co ma istotny wpływ na warunki bioklimatyczne, społeczno-gospodarcze i ogólny komfort życia mieszkańców miast. Dane o natężeniu oraz przestrzennej strukturze UHI są ważnym składnikiem procedur planistycznych, a także stanowią kluczową informację wejściową dla modelowania innych zjawisk, np. dyspersji zanieczyszczeń atmosferycznych.

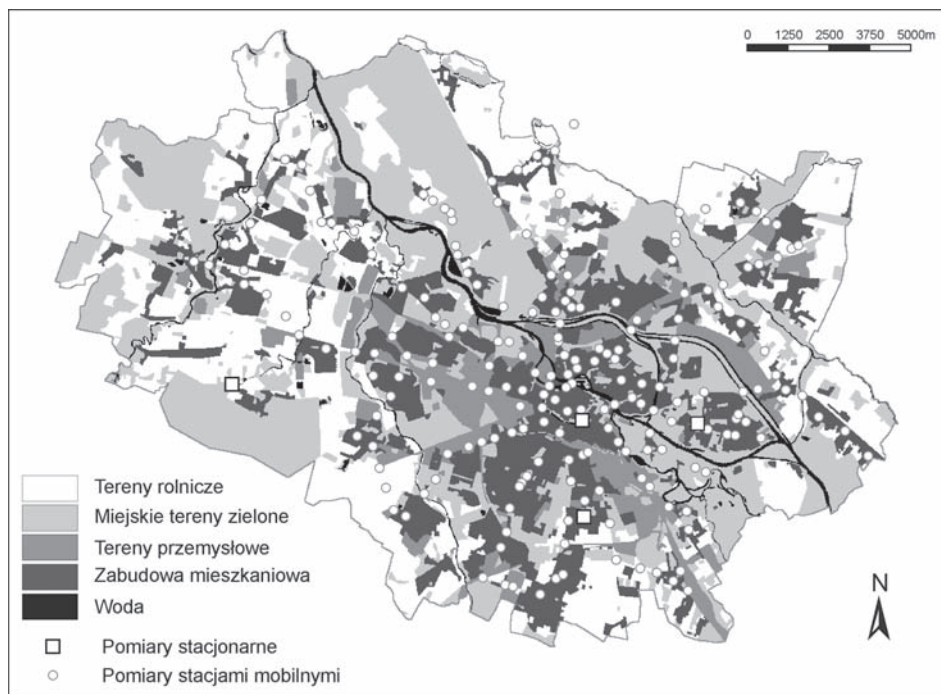
Przestrzenna interpolacja ma szczególne znaczenie w meteorologii i klimatologii, gdzie pole elementów jest podstawową informacją analityczną (Dobesch *et al.*, 2007; Tveito *et al.*, 2008). Algorytmy interpolacyjne zaimplementowane w środowisku GIS zapewniają powtarzalność procedur dla zmieniających się parametrów, a uniwersalne metody oceny jakości wyników pozwalają na wybór metody optymalnej dla każdego analizowanego przypadku. W rezultacie znacznej poprawie, w porównaniu do tradycyjnych, manualnych metod, ulega jakość końcowego produktu – mapy.

Dotychczasowe prace nad przestrzenną interpolacją UHI dla Wrocławia wskazywały na metody liniowej regresji wieloczynnikowej (ang. *multiple linear regression* – MLR) i jej rozszerzenia: krigingu resztowego (ang. *residual kriging* – RK) jako optymalnych dla interpolacji temperatury powietrza w mieście przy nieregularnym rozmieszczeniu danych wejściowych (Szymanowski, Kryza, 2008, 2009). Zastosowanie globalnego modelu regresji (MLR) w sytuacji niestacjonarności procesu przestrzennego, z jakim mamy do czynienia w przypadku wystąpienia UHI, budzi jednak pewne zastrzeżenia metodyczne. Potencjalnym sposobem rozwiązania tego problemu jest zastosowanie lokalnego modelu regresji, znanego jako regresja ważona geograficznie (ang. *geographically weighted regression* – GWR), ewentualnie wraz z jej rozszerzeniem o kriging reszt (GWRK).

Celem artykułu jest wybór optymalnej metody interpolacji przestrzennej oraz jej zastosowanie do uzyskania ciągłej przestrzennie informacji o polu temperatury powietrza w mieście dla wybranych przypadków UHI we Wrocławiu.

2. DANE

Wrocław (pow. 293 km²; ludn. ~640 tys.) jest położony w SW Polsce na wysokości około 120 m n.p.m. Zabudowa miasta jest rozmieszczona wzdłuż głównej rzeki – Odry. 31.4% powierzchni miasta zajmują tereny zabudowy mieszkaniowej i przemysłowej (Rys. 1). Na pozostałą część składają się miejskie tereny zielone (36.6%), rolnicze z nieużytkami (28.9%) oraz wody powierzchniowe (3.1%). Brak różnicowania rzeźby



Rys. 1. Mapa pokrycia terenu oraz rozmieszczenie punktów pomiaru temperatury powietrza we Wrocławiu.

terenu oraz stosunkowo czytelna struktura urbanistyczna sprawiają, iż Wrocław jest cennym obszarem badań i weryfikacji modeli relatywnie niezaburzonego klimatu miasta. Zjawisko UHI ma tu charakter typowy, co do intensywności i struktury przestrzennej, dla kilkuset tysięcy miast umiarkowanych szerokości geograficznych (Szymanowski, 2004, 2005).

2.1. Dane meteorologiczne

Dane meteorologiczne zostały zebrane podczas sesji pomiarowych przeprowadzonych w latach 2001-2002. Do pomiarów wykorzystano 2 mobilne stacje meteorologiczne, umożliwiające pomiar temperatury powietrza na standardowej wysokości 2 m n.p.g. Każda stacja miała w trakcie sesji do pokonania trasę o długości około 90 km, co przy sugerowanej prędkości podczas pomiaru 30 km h^{-1} wymagało 3÷4 godzin na zgromadzenie kompletu materiału z wyznaczonych 206 punktów referencyjnych (Rys. 1). Sesje pomiarowe prowadzono w godzinach nocnych podczas fazy największej intensywności UHI. Zmiana temperatury w trakcie trwania sesji została skorygowana na podstawie rejestracji z 4 automatycznych stacji meteorologicznych, których rozmiesz-

czenie uwzględniało wpływ zróżnicowanego pokrycia terenu na przebieg temperatury. Przeprowadzono 7 sesji pomiarowych podczas sprzyjających rozwojowi UHI warunków pogodowych (bezchmurne lub słabo zachmurzone niebo, prędkość wiatru poza miastem nieprzekraczająca 4 m s^{-1}). Na potrzeby tego opracowania analizie poddano 2 przypadki wyspy ciepła obserwowanej w różnych porach roku (22.05.2001, 3.01.2002; Szymanowski, Kryza, 2009). Wybrane do analizy przypadki są reprezentatywne dla silnie zaznaczonej UHI o genezie radiacyjnej. W takich sytuacjach można obserwować zgodność położenia strefy maksymalnej intensywności UHI z centrum miasta (sytuacja bezwietrzna lub występowanie bryzy miejskiej ze zbieżnymi w kierunku centrum liniami prądów) lub też przesunięcie struktury UHI *en bloc* w kierunku zawietrznym (przy słabym, ale stabilnym co do kierunku wietrze regionalnym). Wybrane przypadki reprezentują te dwie sytuacje: pierwszą – 22.05.2001, drugą – 3.01.2002. Jednocześnie są to przypadki najintensywniej zaznaczonej UHI spośród zmierzonych podczas wszystkich sesji pomiarowych.

2.2. Dodatkowe zmienne objaśniające

Miejska wyspa ciepła powstaje w rezultacie kompleksowego oddziaływania szeregu czynników. Informacje przestrzenne o części parametrów środowiska miejskiego determinujących natężenie i pole UHI mogą zostać wykorzystane jako dodatkowe zmienne objaśniające w wielowymiarowych algorytmach interpolacyjnych, do których zaliczamy modele regresyjne. Warstwy środowiskowe zastosowane w opracowaniu zostały sporządzone na podstawie różnorodnego materiału wejściowego: cyfrowej mapy pokrycia terenu (16 klas), map topograficznych w skali 1:10 000, cyfrowej bazy budynków (dostępnej dla fragmentów miasta), ortofotomapy oraz zobrazowań satelitarnych (Landsat TM). W oparciu o te materiały sporządzono mapy rastrowe sześciu parametrów silnie skorelowanych z polem temperatury:

- współczynnika szorstkości – z_0 [m],
- udziału czynnych powierzchni sztucznych w danej klasie pokrycia terenu (z uwzględnieniem powierzchni ścian budynków) – AS [%],
- udziału powierzchni naturalnych w danej klasie pokrycia terenu – NS [%],
- indeksu wegetacji NDVI,
- admitancji termicznej – μ [$\text{J m}^{-2} \text{s}^{-1/2} \text{K}^{-1}$],
- emisji ciepła sztucznego – Q_A [W m^{-2}].

Ponieważ temperatura powietrza nie zmienia się skokowo na granicy klasy pokrycia terenu, ale strefa przejściowa sięga, w zależności od warunków meteorologicznych, od kilkudziesięciu do kilkuset metrów, wygenerowano warstwy pochodne z zastosowaniem funkcji sąsiedztwa (ang. *focalmean*), uśredniających informację w kołowym otoczeniu o zadanym promieniu ($50 \div 1000 \text{ m}$) od danego rastra. Szczegółowy opis metodyki pomiarowej oraz metodyki przygotowania warstw dodatkowych zmiennych objaśniających został zawarty we wcześniejszych publikacjach (Szymanowski, Kryza, 2008, 2009).

3. METODY

Poszukując optymalnej metody przestrzennej interpolacji dla analizowanych przypadków należy zwrócić uwagę na dwie charakterystyczne cechy rozmieszczenia meteorologicznych danych wejściowych. Po pierwsze, rozkład punktów pomiarowych jest nieregularny, o zmiennej przestrzennie gęstości. Po drugie, znaczne obszary na obrzeżach miasta są pozbawione pomiarów, co oznacza, iż poszukiwana metoda powinna dawać wiarygodne wyniki nie tylko jako interpolator (wewnątrz strefy pokrytej pomiarami), ale także jako ekstrapolator przestrzenny. We wcześniejszych pracach poddano ocenie szereg stosowanych, także w klimatologii, metod, jak: metoda ważonych odwrotnych odległości, funkcje sklepane, kriging zwyczajny oraz regresję wieloczynnikową i kriging resztowy (Szymanowski, Kryza, 2008, 2009). Najlepsze rezultaty otrzymano dla dwóch ostatnich algorytmów, w związku z czym będą one stanowić tło dla rozważań nad wynikami GWR i jej rozszerzenia przez kriging reszt. Dla odróżnienia od RK stosowanego dla globalnego modelu regresji (MLR), kriging resztowy dla modelu lokalnego zostanie oznaczony jako GWRK.

Pełna procedura poszukiwania optymalnego algorytmu interpolacyjnego dla analizowanych przypadków składa się z:

- 1) opracowania warstw potencjalnych predyktorów (zmiennych objaśniających) pola temperatury (rozdział 2.2),
- 2) doboru optymalnych zmiennych objaśniających metodą regresji krokowej (rozdział 3.2),
- 3) doboru optymalnych parametrów metod interpolacji (modelowanie wariogramu dla RK i GWRK - rozdział 3.3; dobór wielkości macierzy sąsiedztwa dla GWR – rozdział 4) oraz wykonania interpolacji,
- 4) walidacji rezultatów uniwersalną metodą oceny krzyżowej (rozdział 3.4).

W opracowaniu wykorzystano system GIS GRASS oraz pakiet statystyczny R z bibliotekami gstat i spgwr.

3.1. Regresja wieloczynnikowa – model globalny

Metoda regresji liniowej w przestrzennej interpolacji danych może być zaliczana zarówno do grupy metod probabilistycznych, jak i do deterministycznych. Jeśli regresję traktujemy jako metodę deterministyczną głównym wyznacznikiem specyfikacji funkcji jest możliwość wyjaśnienia procesu przestrzennego przyczynami fizycznymi. Przy podejściu stochastycznym podstawowym założeniem jest brak przestrzennej autokorelacji i normalność rozkładu reszt regresji (Tveit *et al.*, 2008). Do metod regresyjnych, oprócz regresji prostej, wykorzystującej jedną zmienną objaśniającą, zaliczamy MLR, która pozwala rozszerzyć zbiór predyktorów. Matematycznie model globalny może być wyrażony jako:

$$y_i = \beta_0 + \sum_k \beta_k x_{ik} + \varepsilon_i \quad (1)$$

gdzie y oznacza zmienną interpolowaną, zmienne niezależne (predyktory) opisane są jako x , współczynniki regresji liniowej jako β , a ε oznacza reszty regresji.

Dla każdego interpolowanego przypadku UHI dodatkowe zmienne objaśniające były dobierane z całego zbioru potencjalnych predyktorów za pomocą regresji krokowej. Analizowano istotność statystyczną korelacji zmiennej niezależnej z temperaturą powietrza oraz usuwano zmienne nadmiarowe w wypadku wzajemnej korelacji predyktorów. Bardzo ważnym kryterium był kierunek zależności (dodatni lub ujemny współczynnik β), który przy założeniu fizycznej interpretowalności modelu powinien być zgodny z naturą oddziaływania czynnika środowiskowego.

3.2. Regresja ważona geograficznie – model lokalny

Jednym z podstawowych problemów metodycznych przy stosowaniu globalnego modelu regresji jest założenie stacjonarności procesu przestrzennego. Oznacza to, iż w każdej części analizowanego obszaru proces podlega takim samym uwarunkowaniom, a określone oddziaływanie czynników sprawczych przynosi takie same rezultaty. Bardzo trudno o spełnienie takiego założenia w klimatologii, gdzie z reguły mamy do czynienia z procesami niestacjonarnymi. Rozwiązaniem może być zastosowanie lokalnego modelu regresji, w którym przyjmuje się założenie niestacjonarności procesu przestrzennego. Taką metodą jest regresja ważona geograficznie (Fotheringham *et al.*, 2002; Lloyd, 2007).

GWR może być wyrażona jako:

$$(2) \quad y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_k \beta_k(u_i, v_i) x_{ik} + \varepsilon_i$$

gdzie (u_i, v_i) to współrzędne i -tego punktu, a $\beta_k(u_i, v_i)$ jest realizacją funkcji $\beta_k(u, v)$ w punkcie i . Podstawową cechą odróżniającą GWR od MLR jest uzależnienie procesu od położenia w przestrzeni (2), w związku z czym współczynniki regresji (β) nie są stałe, jak w MLR, ale zmieniają się wraz z lokalizacją. Istotą GWR jest konstrukcja lokalnych modeli regresji opartych na macierzy sąsiedztwa (ang. *spatial kernel*) z zastosowaniem funkcji wagowej (ang. *weighting function, kernel function*) (Kulczycki, Ligas, 2007). Wagi zmniejszają się wraz z odległością punktu danych od punktu regresji. W GWR możliwe jest zastosowanie stałej lub zmiennej macierzy sąsiedztwa. Stała stosowana jest z reguły przy równomiernym rozmieszczeniu punktów w przestrzeni i definiowana maksymalnym promieniem poszukiwań punktów pomiarowych, na podstawie których określany jest model lokalny. W przypadku nieregularnej sieci punktów jej użycie będzie skutkowało dużą wariancją lokalnych estymatorów (przy małej gęstości) lub zamaskowana zostanie lokalna zmienność interpolowanego elementu (przy dużej gęstości). Macierz zmienna dopasowuje się do przestrzennego rozmieszczenia obserwacji. Definiuje się ją stałą liczbą punktów służących do kalibracji modelu (Fotheringham *et al.*, 2002).

Nierównomierne rozmieszczenie punktów pomiarowych w analizowanych przypadkach zdecydowało o wyborze zmiennej macierzy sąsiedztwa. Jej wielkość określono porównując miary modeli opartych na tych samych zmiennych objaśniających: odchylenie

nia standardowego reszt regresji (σ) i skorygowanego kryterium informacyjnego Akaike (AICc) (Hurvich *et al.*, 1998) oraz analizując estymowane parametry regresji (β) zgodnie z przyjętym założeniem fizycznej interpretowalności. Optymalne parametry GWR ustalone zostały poprzez porównanie rezultatów dla wszystkich możliwych wielkości zmiennej macierzy sąsiedztwa.

3.3. Kriging reszt

Zarówno globalny, jak i lokalny model regresji wyjaśniają jedynie część zmienności przestrzennej analizowanego elementu, pozostawiając składnik losowy – resztę (ε) w każdym punkcie regresji. Uwzględnienie czynnika losowego w procesie interpolacji przestrzennej możliwe jest, zarówno w przypadku MLR jak i GWR, poprzez zastosowanie krigingu reszt regresji. Jest to procedura dwuetapowa. W pierwszym kroku następuje wyjaśnienie części deterministycznej za pomocą dodatkowych zmiennych objaśniających (MLR lub GWR), a następnie dokonuje się interpolacji reszt regresji metodą krigingu zwyczajnego (uprzestrzennienie części stochastycznej). Wynik jest sumą rozkładów uzyskanych w obydwu etapach.

3.4. Ocena jakości interpolacji

Zbiór wejściowy (liczba punktów pomiarowych) w obydwu analizowanych przypadkach był stosunkowo niewielki, a utrata części danych na rzecz podzbioru kontrolnego mogłaby istotnie pogorszyć jakość interpolacji. Dodatkowo, nieliczny zbiór kontrolny, wydzielony z całego zbioru obserwacji, nie pozwala na wiarygodną ocenę statystyczną błędów. Z tych powodów zdecydowano się na przeprowadzenie walidacji interpolacji przestrzennej metodą oceny krzyżowej (ang. *cross-validation* – CV) typu *leave-one-out*, polegającą na sekwencyjnej eliminacji danej z każdego punktu i dokonaniu interpolacji w tym punkcie w oparciu o pozostałe dane. Jest to metoda uniwersalna, szczególnie polecana przy niewielkiej liczebności zbioru i zalecana do stosowania w klimatologii i meteorologii (Daly, 2006). Zaletą CV jest możliwość analizy rozkładu błędów estymacji w przestrzeni. Metoda umożliwia także obliczenie charakterystyk rozkładu i szeregu miar diagnostycznych błędów oszacowania, jak: błąd średni (BIAS), średni błąd absolutny (MAE), pierwiastek średniego błędu kwadratowego (RMSE) i in., potrzebnych do weryfikacji wyników estymacji.

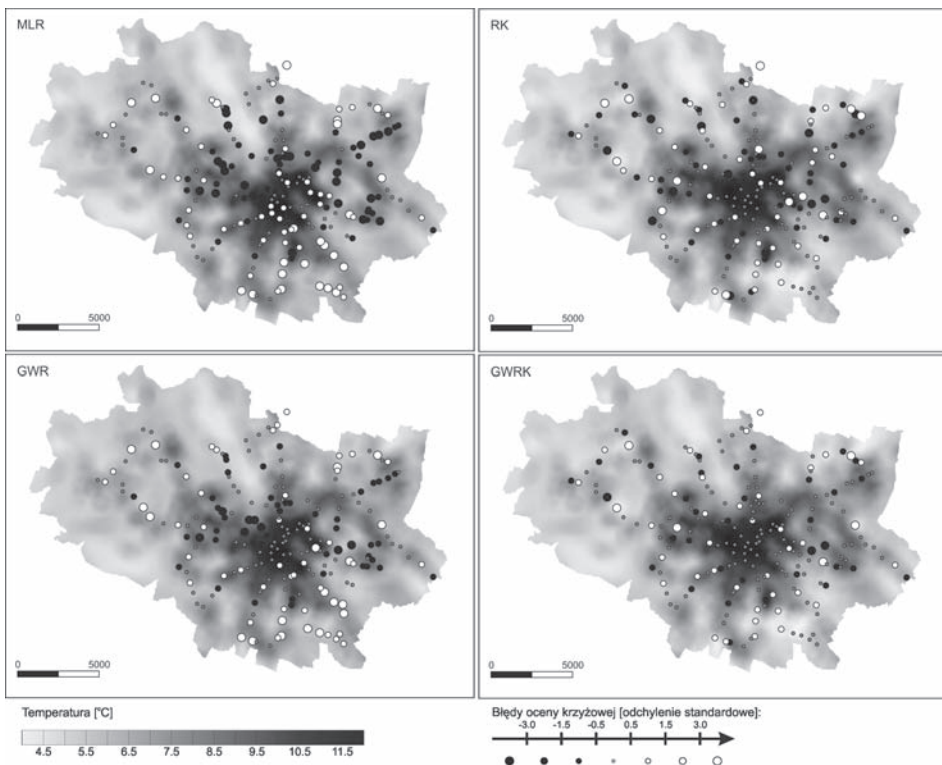
4. WYNIKI I DISKUSJA

Początkową fazą procedury interpolacyjnej był dobór zmiennych objaśniających za pomocą regresji krokowej i kalibracja modelu MLR. W obydwu analizowanych przypadkach stwierdzono, iż znaczna część wariancji temperatury pozostaje niewyjaśniona: 23% dla 22.05.2001 i 34% dla 3.01.2002 (Tab. 1).

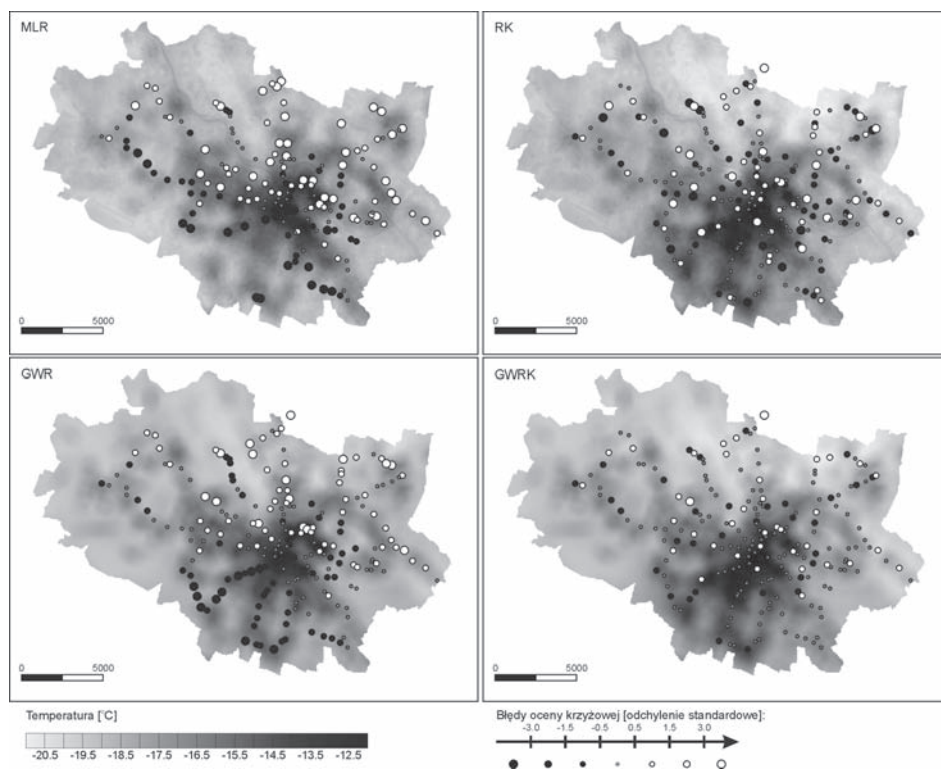
Tab. 1. Analiza regresji dla modelu globalnego (MLR).

Data	Predyktory (wg istotności)	Błąd standardowy [°C]	R ²	F (n=206)
22.05.2001	NDVI, z ₀ , Q _A	0.98	0.77	224.8
3.01.2002	Q _A , AS, NDVI	1.14	0.66	134.8

Po specyfikacji modelu globalnego MLR, dokonano przestrzennej interpolacji (Rys. 2, Rys. 3) oraz przeprowadzono ocenę krzyżową. Analiza rozmieszczenia przestrzennego błędów CV wskazała na występowanie czynników zewnętrznych prowadzących do systematycznych błędów w interpolacji. Szczególnie czytelne jest to w przypadku z 3.01.2002, kiedy stwierdzono wyraźną tendencję do przeszacowania wyników w części NE, a niedoszacowania w części SW miasta (Rys. 3). Analiza warunków meteorologicznych w tej sytuacji wskazała na wystąpienie słabego, ale stałego wiatru regionalnego z NE, powodującego przesunięcie struktury UHI *en bloc* na SW, a więc czynnika nie opisanego



Rys. 2. Temperatura powietrza i błędy oceny krzyżowej wybranych metod interpolacji dla przypadku miejskiej wyspy ciepła z 22.05.2001 r.



Rys. 3. Temperatura powietrza i błędy oceny krzyżowej wybranych metod interpolacji dla przypadku miejskiej wyspy ciepła z 3.01.2002 r.

przez zastosowane predyktory. Rozwiązaniem tego problemu było zastosowanie kriginu resztowego, które spowodowało znaczącą poprawę miar diagnostycznych (Tab. 2) i rozmieszczenia przestrzennego błędów CV, ale przede wszystkim korektę przestrzennego rozkładu pola temperatury, zwłaszcza w przypadku z 3.01.2002 (Rys. 3).

Kriging resztowy dla modelu globalnego jest rozwiązaniem znacząco poprawiającym jakość estymowanego pola pod względem miar statystycznych oraz wiarygodnym pod względem skutków oddziaływania procesów fizycznych, także w obszarze ekstrapo-

Tab. 2. Miary diagnostyczne błędów oceny krzyżowej wybranych metod interpolacji.

	22.05.2001				3.01.2002			
	MLR	RK	GWR	GWRK	MLR	RK	GWR	GWRK
BIAS	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00
MAE	0.78	0.53	0.73	0.53	0.90	0.44	0.78	0.45
RMSE	0.99	0.68	0.93	0.68	1.15	0.54	0.96	0.56

lacji. W przypadku niestacjonarności procesu, a z takim mamy do czynienia w analizowanych przypadkach model regresji powinien być jednak określony lokalnie (GWR).

W początkowym etapie wyboru optymalnej macierzy sąsiedztwa dla analizowanych przypadków UHI porównano miary σ^2 i AICc dla wszystkich możliwych wielkości macierzy w modelu lokalnym i porównano z modelem globalnym (Tab. 3). Dla obydwu zastosowanych miar mniejsze wielkości oznaczają lepsze dopasowanie modelu.

Tab. 3. Miary dopasowania modeli MLR i GWR o zmiennej liczbie punktów w macierzy sąsiedztwa (n – liczba punktów).

	22.05.2001				3.01.2002			
	MLR	GWR	GWR	GWR	MLR	GWR	GWR	GWR
n	206	195	80	15	206	195	67	15
σ^2	0.96	0.91	0.81	0.54	1.30	1.21	0.91	0.41
AICc	580.3	577.6	557.9	505.7	642.6	635.7	569.1	446.1
R^2	0.77	0.78	0.81	0.87	0.67	0.68	0.78	0.90

Stwierdzono, iż zmniejszanie liczby punktów, z których kalibrowany model prowadzi do polepszenia jakości jego dopasowania do danych obserwacyjnych. Jednak zgodnie z założeniami metodycznymi regresji, liczba punktów, w oparciu o którą budowany jest model lokalny, musi być znacząco większa od liczby zmiennych niezależnych. Dodatkowo, przy zbyt małej liczbie punktów część lokalnych modeli może nie być istotna statystycznie. Zastosowane oprogramowanie daje możliwość automatycznego doboru macierzy sąsiedztwa na podstawie minimalizacji błędów CV lub AICc, jednak przeprowadzone próby wskazały także na trzeci czynnik, który powinien być uwzględniony przy ustalaniu wielkości zmiennego sąsiedztwa. Im mniejsza liczba punktów jest użyta do kalibracji modelu, tym bardziej rośnie zmienność estymowanych parametrów regresji (β), aż do momentu, w którym dla jednej bądź kilku ze zmiennych niezależnych obserwujemy zmianę znaku na przeciwny (przejście przez zero). W takim przypadku nie ma możliwość fizycznej interpretacji modelu, która leży u podstaw deterministycznego podejścia do analizy regresji. W związku z tym zdecydowano, iż optymalnym będzie zastosowanie możliwie najmniejszej liczby punktów, dla których model jest istotny statystycznie i fizycznie interpretowalny. Warunek ten był spełniony dla sąsiedztwa 80-punktowego w przypadku 22.05.2001 i 67-punktowego w przypadku 3.01.2002. Błędy oceny krzyżowej GWR są mniejsze niż dla MLR (Tab. 2). Zauważalna jest zmiana w rozkładzie przestrzennym błędów, jednak ciągle widoczne są obszary z systematyczną tendencją do przeszacowania lub niedoszacowania temperatury powietrza (Rys. 2, Rys. 3). Próby przeprowadzone dla mniejszej liczby punktów wykazały, iż takie modele lepiej estymują proces zewnętrzny, który nie został wyjaśniony przez zmienne niezależne, jednak odbywa się to kosztem utraty możliwości fizycznej interpretacji. W związku z tym, podobnie jak dla MLR przeprowadzono procedurę krigingu reszt (GWRK), który dla analizowanych przypadków można uznać za optymalną metodę interpolacji przestrzennej. Rezultaty oceny krzyżowej dla RK i GWRK są zbliżone, jeśli chodzi o statystyki błędów (Tab. 2).

W rozkładzie przestrzennym UHI można odnaleźć różnice, zwłaszcza w obszarze ekstrapolacji, jednak ilościowe stwierdzenie, w którym przypadku rezultat jest bardziej wiarygodny jest praktycznie niemożliwe ze względu na brak danych pomiarowych.

5. PODSUMOWANIE

Przeprowadzona w oparciu o dwa typowe przypadki miejskiej wyspy ciepła we Wrocławiu analiza wyników przestrzennej interpolacji wskazuje na regresję ważoną geograficznie jako na zasadną metodę interpolacji w warunkach niestacjonarności procesu przestrzennego i nieregularnego rozmieszczenia punktów. Pomijając kontrowersyjne metodyczne stosowania modelu globalnego przy braku stacjonarności, porównanie wyników oceny krzyżowej dla MLR i GWR wskazuje na lepsze dopasowanie do danych modelu lokalnego. W obydwu przypadkach (MLR i GWR) stosowano te same zmienne objaśniające dobrane uprzednio metodą regresji krokowej. Zastosowanie GWR wiąże się z przyjęciem pewnych założeń i znalezieniem optymalnych parametrów modelu. Zróżnicowana gęstość przestrzenna punktów powoduje konieczność zastosowania zmiennego sąsiedztwa, w obrębie którego specyfikowany jest model. Pomimo, iż zmniejszanie liczby punktów prowadzi do statystycznie lepszych rezultatów interpolacji, to zachowanie możliwości fizycznej interpretacji modelu wymusza przyjęcie takiej liczby punktów, dla której nie obserwuje się zmiany znaków lokalnych współczynników regresji. Optymalna liczba punktów, z których budowany jest model lokalny, a przyjęte założenia metodyczne są zachowane, została ustalona dla przypadku 22.05.2001 na 80 punktów, a dla 3.01.2002 na 67 punktów. Zastosowanie krigingu reszt, zarówno dla modelu globalnego, jak i lokalnego, prowadzi do znaczącej poprawy jakości interpolacji, jednak statystyki błędów CV dla RK i GWRK w analizowanych przypadkach nie różnią się istotnie, co nie pozwala na jednoznaczne wskazanie lepszej metody. Decydujące o wyborze algorytmu jest w tym wypadku zachowanie założeń metodycznych, wskazujących na konieczność stosowania modeli lokalnych w warunkach niestacjonarności procesu przestrzennego. Można zatem uznać, iż spośród analizowanych algorytmów interpolacji przestrzennej optymalną metodą jest kriging resztowy dla regresji ważonej geograficznie (GWRK).

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2010-2012 jako projekt badawczy nr N N306 155038.

6. LITERATURA

Daly C., 2006. Guidelines for assessing the suitability of spatial climate data sets. *International Journal of Climatology*, 26, s. 707-721.

Dobesch H., Dumolard P., Dyras I., 2007. *Spatial interpolation for climate data, the use of GIS in climatology and meteorology*, ISTE, London.

Fotheringham A.S, Brunson C., Charlton C., 2002. *Geographically weighted regression*. John Wiley & Sons, Chichester.

Hurvich C.M., Simonoff J.S., Tsai C.L., 1998. Smoothing parameter selection in nonparametric regression using an improved Akaike information criterion. *Journal of Royal Statistical Society*, 60, s. 271-293.

Kulczycki M., Ligas M., 2007. Regresja ważona geograficznie jako narzędzie analizy rynku nieruchomości. *Geomatics and Environmental Engineering*, 1, s. 59-68.

Lloyd C.D., 2007. *Local models for spatial analysis*. CRC Press, Boca Raton.

Oke T.R., 1976. The distinction between canopy and boundary layer urban heat islands. *Atmosphere*, 14, s. 268–277.

Oke T.R., 1987. *Boundary layer climates*, 2nd edn. Methuen, London.

Szymanowski M., 2004. Miejska wyspa ciepła we Wrocławiu. *Studia Geograficzne*, 77, Wydawnictwo Uniwersytetu Wrocławskiego, Wrocław.

Szymanowski M., 2005. Interactions between thermal advection in frontal zones and the urban heat island of Wrocław, Poland. *Theoretical and Applied Climatology*, 82, s. 207-224.

Szymanowski M., Kryza M., 2008. GIS application for the spatial interpolation of the urban heat island in Wrocław, Poland, [w:] Kłysik K., Wibig J., Fortuniak K. (red.), *Klimat i bioklimat miast*, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź, s. 21-34.

Szymanowski M., Kryza M., 2009. GIS-based techniques for urban heat island spatialization. *Climate Research*, 38, s. 171-187.

Tveito O.E., Wegehenkel M., van der Wel F., Dobesch H. (red.), 2008. *The use of geographic information systems in climatology and meteorology, Final Report, COST Action 719*. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

APPLICATION OF GEOGRAPHICALLY WEIGHTED REGRESSION FOR URBAN HEAT ISLAND MODELLING IN WROCLAW

KEY WORDS: geographically weighted regression, spatial interpolation, GIS, urban heat island, Wrocław

SUMMARY: Implementation of geographically weighted regression (GWR) for urban heat island (UHI) modelling in Wrocław is presented. The results of spatial interpolation using 4 methods are evaluated and compared. The methods are: multiple linear regression (MLR) – global model, GWR – local model and residual kriging for both regression techniques (RK and GWRK). The analysis was performed based on 2 examples of UHI. Air temperature data were gathered in 206 irregularly distributed points. Additional explanatory variables were developed based mainly on the land-use map and Landsat TM images. The cross-validation (CV) technique was used to compare results obtained with the different algorithms together with the evaluation of errors (BIAS, MAE, RMSE) and their spatial distribution. The results confirmed the usefulness of GWR

in the case of non-stationarity of the spatial process. Calibration of the local models was performed using adaptive kernel, taking into account the possibility of physical interpretation of the model. Kriging of MLR and GWR residuals significantly improved the spatial interpolation results in terms of cross-validation errors. The most accurate results of the UHI spatialization were obtained with the GWRK technique

Mariusz Szymanowski
szymanowski@geogr.uni.wroc.pl
telefon: +48 71 3752830
fax: +48 71 3435184

dr Maciej Kryza
kryzam@meteo.uni.wroc.pl
telefon: +48 71 3729497
fax: +48 71 3729498

NAZIEMNY SKANING LASEROWY W INWENTARYZACJI ZIELENI MIEJSKIEJ NA PRZYKŁADZIE PLANT W KRAKOWIE*

TERRESTRIAL LASER SCANNING FOR AN URBAN GREEN INVENTORY

Piotr Tompalski**

Laboratorium GIS i Teledetekcji, Katedra Ekologii Lasu, Wydział Leśny,
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

SŁOWA KLUCZOWE: naziemny skanining laserowy, lidar, zieleń miejska, inwentaryzacja

STRESZCZENIE: Praca prezentuje wyniki badań nad zastosowaniem naziemnego skaningu laserowego (TLS) w inwentaryzacji zieleni miejskiej. Obiektem badań na którym wykonano analizy, był fragment Plant w Krakowie. Pozyskano dane referencyjne (położenie, grubość, wysokość, wysokość podstawy korony, wielkość korony), a następnie przeprowadzono skanowanie, łącznie na 13 stanowiskach, za pomocą skanera FARO LS 880. Pozyskane chmury punktów połączono, w programie Faro Scene używając do tego punktów wiążących rozmieszczonych w terenie podczas skanowania. Analizy chmury punktów (filtracja, klasyfikacja) przeprowadzono w oprogramowaniu TerraSolid. Wygenerowane przekroje, w kilku wariantach, posłużyły do określenia położenia drzew oraz ich pierśnicy. Mierzono również wysokość drzew oraz wybrano przykładowe drzewo, na którym podjęto próbę modelowania oraz dokładnego pomiaru miąższości pnia i korony. Uzyskane wyniki potwierdzają wysoką dokładność pomiaru wszystkich mierzonych cech, charakteryzując się ponadto powtarzalnością oraz obiektywnością.

1. WSTĘP

Skaning laserowy (LIDAR) to dynamicznie rozwijająca się technologia zdalnego pozyskiwania danych. Jeśli przyjąć tradycyjny podział teledetekcyjnych metod pozyskiwania danych, skaning laserowy zalicza się do systemów aktywnych. Wynikiem skanowania nie jest jednak obraz (raster), lecz zbiór punktów, z których każdy posiada współrzędne XYZ oraz inne informacje, takie jak intensywność czy kolejny numer odbicia. Skaning laserowy możemy podzielić na trzy rodzaje: skaning satelitarny (ang. *satellite laser scanning*, SLS), skaning lotniczy (ang. *airborne laser scanning*; ALS) oraz skaning naziemny (ang. *terrestrial laser scanning*, TLS) (Wężyk, 2006; Dubayah, Drake, 2000).

Naziemny skaningu laserowy to technologia, w której do określenia lokalizacji i pomiarów obiektów wykorzystuje się wiązkę lasera. Wiązka ta wysyłana jest z bardzo dużą częstotliwością ze skanera, a następnie rejestrowane są jej odbicia (w przypadku skanerów impulsowych). Skaner oblicza współrzędne punktów, od których następuje odbicie wiązki na podstawie pomiaru odległości (zasada zbliżona do pomiaru odległości w dalmierzach laserowych) oraz pomiaru kątów – poziomego oraz pionowego (Pfeifer, Briese, 2007). Podkreślenia wymaga fakt, iż pomiar przebiega automatycznie i w bardzo krótkim czasie. W zależności od zastosowanej technologii skaner jest zdolny wysyłać od kilku tysięcy do ponad kilkuset tysięcy impulsów na sekundę.

Problem dokładnego pomiaru drzew za pomocą nowoczesnych technologii jest od kilkunastu lat poruszany w literaturze światowej. Nad zagadnieniem wykorzystania w tym celu naziemnego skaningu laserowego pracowali m.in. Lichti *et al.*, (2002), Aschoff, Spiecker, (2004), Pfeifer, Winterhalder (2004), Watt, Donoghue (2005), Henning, Radtke (2006), Wężyk *et al.*, (2007). W opracowaniach tych przytaczane są liczne dowody dużych możliwości wykorzystania skaningu w pomiarach drzew. Na szczególną uwagę zasługuje fakt, iż dane pozyskane za pomocą skanera pozwalają nie tylko na pomiar cech drzew mierzonych standardowo w terenie (pierśnica, wysokość, położenie drzewa), ale także wielu innych (wysokość podstawy korony, długość i jej zasięg, zbieżność oraz nachylenie pnia, grubość pnia na dowolnej wysokości), dzięki czemu możliwe jest bardzo dokładne określenie jego miąższości.

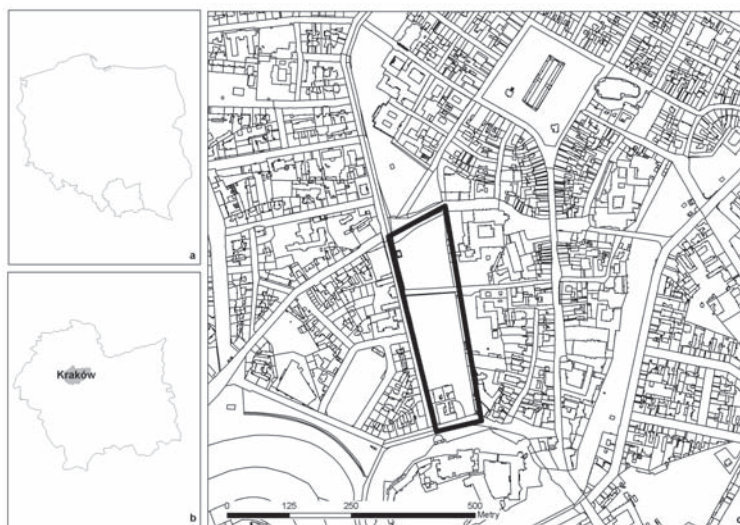
Pomiar drzew nastęrcza wiele trudności, głównie ze względu na ich nieregularny kształt, co szczególnie dotyczy zieleni miejskiej. Stosowane obecnie metody inwentaryzacji drzew w miastach bazują na określeniu gatunku (rodzaju), pomiarze grubości pnia (średnica lub obwód), wysokości oraz lokalizacji w przyjętym układzie geodezyjnym. Pomiaru te są czasochłonne, a ich dokładność w bardzo dużym stopniu zależy od osoby je wykonującej. Typowymi przyrządami pomiarowymi są tzw. pierśnicomierz (pomiar grubości drzewa), ewentualnie taśma pomiarowa, w przypadku gdy mierzony jest obwód drzewa. Do pomiaru wysokości drzewa stosuje się różnego rodzaju wysokościomierze. Pomiar wysokości oparty jest zazwyczaj o pomiar odległości do pnia oraz kąta pionowego zawartego między podstawą pnia a wierzchołkiem drzewa. Szczególnie pomiar wysokości drzew, ze względu na fakt, iż nie jest to pomiar bezpośredni, obarczony jest błędami instrumentu i obserwatora (subiektywna interpretacja położenia wierzchołka, często niewidocznego).

Zastosowanie skaningu laserowego w inwentaryzacji terenów zadrzewionych pozwala przede wszystkim na określenie liczby drzew oraz na bardzo dokładny pomiar grubości ich pni, wysokości, położenia oraz dodatkowo wielu innych cech, których pomiar tradycyjnymi metodami byłby bardzo skomplikowany, czasochłonny lub po prostu niedokładny. Produkt skanowania, tzw. chmura punktów (ang. *point cloud*) pozwala na dokładny i obiektywny pomiar grubości pnia na dowolnej wysokości, pozwala określić wysokość całego drzewa, wysokość podstawy korony, umożliwia również precyzyjne określenie kształtu korony oraz zasięgu jej rzutu. Możliwe jest również określenie nachylenia pnia, jego zbieżności oraz deformacji. Użytkownik otrzymuje możliwość dokładnego pomiaru praktycznie każdej cechy pojedynczego drzewa jak i większej ich grupy poprzez przeniesienie zeskanowanego fragmentu przestrzeni w świat wirtualny.

Niniejsza praca prezentuje wyniki badań nad zastosowaniem naziemnego skaningu laserowego jako narzędzia do wykonywania zdalnych pomiarów związanych z inwentaryzacją zieleni miejskiej.

2. METODY

Terenem badań, na którym został przeprowadzony skaning był fragment Plant krakowskich, pomiędzy ulicami Franciszkańską i Podzamcze (Rys. 1). Zastosowano skaner FARO LS 880 (Rys. 2), który dokonuje rejestracji chmury punktów w zakresie 360° w poziomie oraz 320° w pionie, przy maksymalnym zasięgu wynoszącym 76 m. Dokładność pomiaru odległości na 50 m wynosi 0.6 mm (Faro, 2007).



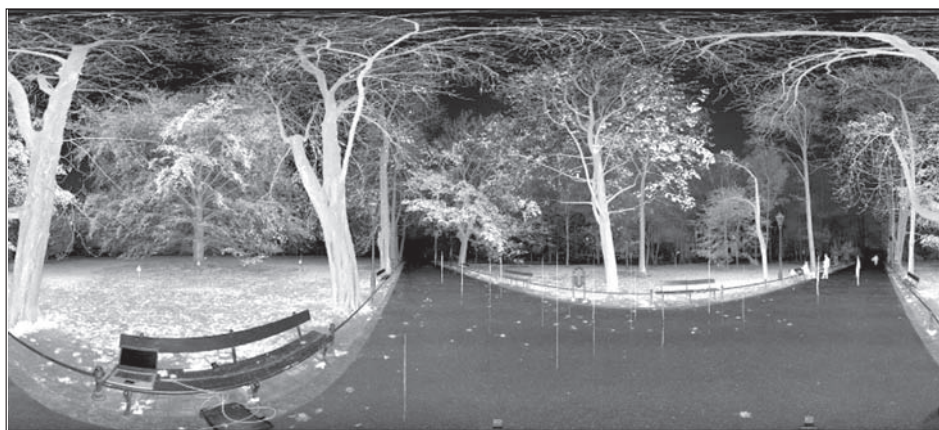
Rys. 1. Lokalizacja terenu badań.



Rys. 2. Skaner FARO LS 880.

Przed przeprowadzeniem skaningu wszystkie drzewa znajdujące się na wybranym terenie zostały zmierzone metodami tradycyjnymi. Została określona ich pozycja przy pomocy pomiarów geodezyjnych (metoda biegunowa): grubość (mierzone obwód drzewa), wysokość całego drzewa, wysokość podstawy korony oraz wielkość korony (pomiar szerokości korony w ośmiu kierunkach).

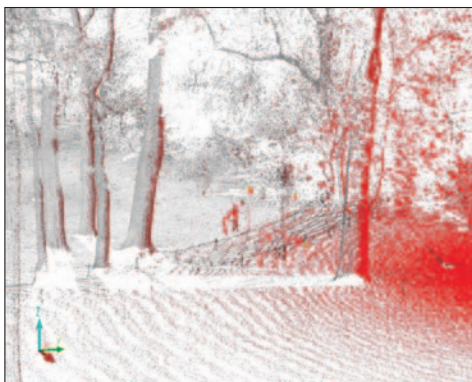
Stanowiska skanera rozmieszczono tak, aby jak najlepiej obrazować drzewa znajdujące się pomiędzy ulicami Franciszkańską a Poselską oraz dodatkowo zeskanowano kilka grup drzew rosnących na pozostałym fragmencie terenu badań (pomiędzy ulicami Poselską a Podzamcze). Łącznie pozyskano 13 chmur punktów. Pomiędzy stanowiskami skanera umieszczano dostarczone przez producenta kule, które stanowiły tzw. punkty wiążące (ang. *tie points*). Kule te charakteryzowały się bardzo wysokim współczynnikiem odbicia i dzięki temu były bardzo dobrze rozróżnialne podczas wiązania za sobą skanów.



Rys. 3. Chmura punktów w widoku planarnym.

Skanowanie przeprowadzono więcej niż z jednego stanowiska, ze względu na wzajemne przesłanianie się drzew oraz ze względu na fakt, iż skanując z jednego stanowiska otrzymuje się informację jedynie o widocznej dla skanera części obiektu.

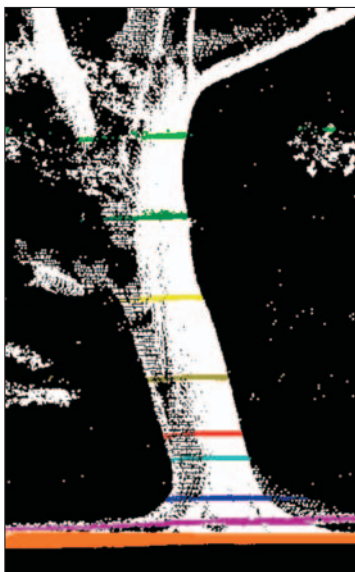
Pozyskane chmury punktów zostały poddane procesowi filtracji, a następnie połączone w oprogramowaniu FARO Scene 4.0, w oparciu o rozmieszczone w terenie punkty wiążące. Dzięki temu uzyskano w pełni trójwymiarowy model większości drzew znajdujących się na terenie badań (Rys. 3, Rys. 4). Kolejnym krokiem analiz była konwersja pozyskanych chmur punktów do formatu *.las, oraz nadanie im georeferencji na podstawie przeprowadzonych pomiarów dGPS oraz pomiarów geodezyjnych. Tak przygotowane dane zostały poddane procesowi klasyfikacji w celu wyodrębnienia warstwy gruntu (punkty o najniższych wartościach współrzędnej Z) oraz warstw roślinności znajdujących się w określonych przedziałach wysokości nad gruntem (w tym celu zastosowano oprogramowanie Terrascan; Terrasolid). Warstwa wegetacji wysokiej posłużyła następnie



Rys. 4. Połączone chmury punktów w widoku 3D.

jako materiał do pomiaru grubości pni drzew na określonej wysokości nad gruntem oraz określenia ich pozycji. Do pomiaru grubości drzew został zastosowany algorytm (Kozioł, Wężyk, 2007; Tompalski, Kozioł, 2008), który w sposób automatyczny dokonuje pomiaru pola przekroju pnia na zadanej wysokości (np. 130 cm nad gruntem, tzw. pierśnica drzewa (Rys. 5).

Zastosowana metoda pomiaru grubości pni drzew uwzględnia nieregularność ich przekroju poprzecznego. Działanie algorytmu bazuje na wycinku chmury punktów



Rys. 5. Rezultat klasyfikacji chmury punktów. Kolorem czerwonym oznaczono wycinek znajdujący się na wysokości 130 cm nad gruntem.

o grubości 4 cm znajdującym się w pewnym przedziale wysokości (np. 128-132 cm) nad gruntem. Taki wycinek jest następnie klasyfikowany do jednej z trzech kategorii w zależności od stopnia pokrycia punktami. Pomiar pola przekroju wycinków z każdej kategorii przebiega odmiennie (Tompalski, Koziół, 2008). Kształt poprzecznego przekroju pnia nie wpływa w żaden sposób na dokładność pomiaru, gdyż mierzone jest pole otoczki wypukłej zawierającej wszystkie punkty tego przekroju, a nie pole figury (okrąg, elipsa) wpasowanej w te punkty. Grubość drzew nie określana jest więc jako jego średnica w danym miejscu lecz wyrażona jest polem przekroju.

Wysokość drzew została zmierzona w programie Terrascan jako wartość najwyższego punktu z chmury reprezentującej koronę danego drzewa. Wysokość mierzono na dwóch przekrojach prostopadłych do siebie. Natomiast pozycje drzew zostały określone jako centroidy wycinków chmury punktów znajdujących się na wysokości 20 cm nad gruntem.

Chmura punktów pozyskana za pomocą skanera laserowego dostarcza szczegółowych danych o całym skanowanym obiekcie. Pomijając fakt wzajemnego przesłaniania się drzew czy też wzajemnego przesłaniania się gałęzi w obrębie korony danego drzewa, można je wykorzystać do modelowania zarówno koron jak i pni. Modelowanie to ważne jest z punktu widzenia nie tylko wizualizacji przestrzennych i operowania na dokładnych modelach drzew w celu analizy ich rozmieszczenia, lecz również ze względu na możliwość dokładnego określenia miąższości pnia oraz objętości korony. Informacje te są szczególnie ważne z przyrodniczego i ekologicznego punktu widzenia.

Pierwszym etapem modelowania drzewa jest sklasyfikowanie punktów z całej chmury, które tworzą jego pień oraz koronę. Jest to szczególnie trudne w sytuacjach gdy korony drzew przenikają się wzajemnie.

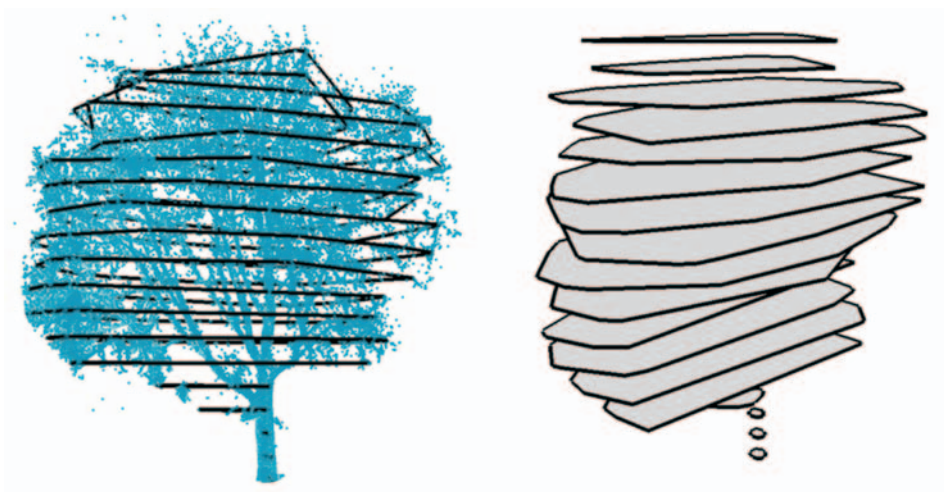
W celu modelowania korony pojedynczego drzewa zastosowano metodę otoczek wypukłych generowanych na określonych wysokościach nad gruntem (Kałuża *et al.*, 2009). Grubość wycinka wynosiła podobnie jak w przypadku grubości drzewa 4 cm, generowane były w odstępach 1m (Rys. 6) oraz 10 cm. Analizy te przeprowadzono na pojedynczym drzewie, które zostało w tym celu wyselekcjonowane z całej chmury punktów.

Autor podjął również próbę obliczenia objętości korony i pnia. Jednak ze względu na brak możliwości przeprowadzenia pomiarów referencyjnych w tym zakresie, uzyskane wartości nie mogą być ocenione pod względem dokładności.

Objętość korony (Rys. 6) obliczono sumując objętość poszczególnych, 10. centymetrowych bądź metrowych sekcji. Jako wartość porównawczą (nie referencyjną) objętość korony obliczono również za pomocą wzoru na objętość paraboloidy (1, Brack, 2008) oraz objętości kuli (2). Wzory te oparte są jedynie o szerokość korony (CW) oraz jej długość (CL).

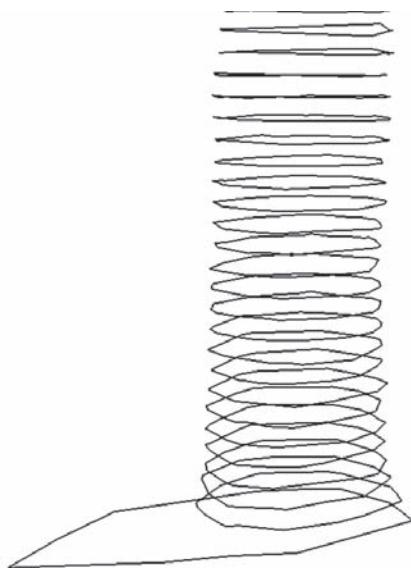
$$(1) \quad CV = \pi \frac{CW^2 CL}{8}$$

$$(2) \quad CV = \frac{4}{3} * \pi * \left(\frac{CW}{2} \right)^3$$



Rys. 6. Pojedyncze drzewo – chmura punktów oraz otoczki wygenerowane na podstawie poszczególnych przekroji poprzecznych. Wariant co 1 m.

Miąższość pnia drzew określono analogiczną metodą – w oparciu o przekroje generowane automatycznie, co 10 cm (Rys. 7). Sumując miąższość (objętość) poszczególnych fragmentów uzyskano jego miąższość całkowitą.

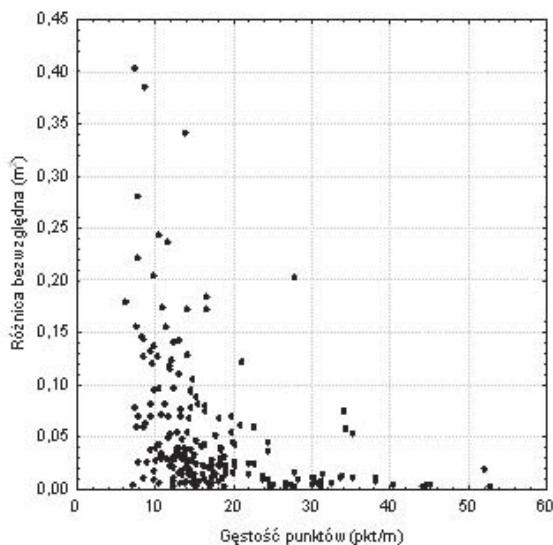


Rys. 7. Pojedynczy pień drzewa – otoczki co 10 cm.

3. WYNIKI

Grubość (zmierzona pierśnica) drzew różniła się w stosunku do pomiarów referencyjnych średnio o 0.013 m. Graniczne wartości różnic wynosiły od 0.042 do -0.003 m w zależności od stopnia pokrycia pnia punktami. Odchylenie standardowe różnic wynosiło 0.03 m.

Występuje wyraźna zależność pomiędzy dokładnością określenia pola przekroju drzewa (grubości) a gęstością punktów (Rys. 8). Dokładność ta jest wyraźnie mniejsza w przypadku gdy gęstość jest mała. W przypadku gdy pień drzewa „opisany” jest przez mniej niż 10 punktów, błąd może sięgnąć aż 0.4 m². Sytuacja taka dotyczy przede wszystkim drzew znajdujących się w znacznej odległości od skanera.



Rys. 7. Wielkość różnicy określenia pola pierśnicowego przekroju w zależności od gęstości punktów.

Wysokość drzewa oraz wysokość podstawy korony określono ze średnią różnicą w stosunku do pomiarów referencyjnych odpowiednio: 0.98 m oraz -0.35 m. Odchylenie standardowe różnic wyniosło 2.27 m oraz 1.58 m.

Położenie drzew różniło się w stosunku do pomiarów sytuacyjnych średnio o 0.573 m przy odchyleniu standardowym równym 0.613 m.

Ze względu na testowy charakter analiz związanych z modelowaniem zarówno pnia jak i całego drzewa nie przeprowadzono weryfikacji uzyskanych wyników. Zdecydował o tym w szczególności fakt braku danych referencyjnych, które w przypadku Plant krawaskich nie były możliwe do pozyskania (konieczność ścięcia drzewa).

Określona miąższość pnia przykładowego drzewa (odcinek do pierwszej gałęzi, wysokość podstawy korony równa 2.9 m) wyniosła 1.831 m³, natomiast objętość korony 1579.32 m³. Objętość korony obliczona ze wzoru na paraboloidę wyniosła 1112.3 m³, ze wzoru na objętość kuli wyniosła 1087.5 m³.

4. WNIOSKI

W pracy zbadano możliwość zastosowania danych pozyskiwanych za pomocą naziemnego skaningu laserowego w inwentaryzacji zieleni miejskiej. Otrzymane wyniki potwierdziły wysoką dokładność pomiaru biometrycznych cech drzew przy wykorzystaniu tej technologii. Należy tutaj również zaznaczyć, iż dokładność urządzeń którymi zostały przeprowadzone pomiary referencyjne jest zasadniczo niższa niż dokładność skanera.

Inwentaryzacja terenów zielonych przeprowadzona za pomocą skaningu naziemnego pozwala znacznie zwiększyć dokładność pomiarów. Dotyczy to zarówno określenia pozycji drzew, ich grubości oraz wysokości. Ponadto możliwe jest precyzyjne określenie zasięgu korony drzewa na dowolnej wysokości, grubości pnia na dowolnej wysokości, grubości poszczególnych gałęzi, kąta ich osadzenia, czy też wysokości podstawy korony. Dane są doskonałym materiałem wyjściowym do tworzenia modeli 3D, których szczegółowość może być bardzo duża i zależy jedynie od użytkownika.

Osobnym zagadnieniem jest wykorzystanie pozyskanych chmur punktów do wizualizacji oraz modelowania drzew, krzewów i innych obiektów znajdujących się w zasięgu skanera. Dzięki temu można otrzymać dokładne dane dla celów planowania krajobrazu, planowania ogrodów, parków miejskich. W prosty sposób można kształtować istniejący fragment przestrzeni, wirtualnie wycinać istniejące drzewa, modyfikować ich korony, lub też sadzić nowe, od razu obserwując, jak zmieniać się będzie efekt końcowy.

Możliwe jest również bardzo dokładne obliczenie miąższości pnia oraz korony drzewa. Zastosowana prosta metoda otoczek wypukłych generowanych na poszczególnych wysokościach pozwala odtworzyć kształt pnia i korony drzewa na każdej wysokości.

Praca potwierdza przydatność nowoczesnych technologii pozyskiwania danych przestrzennych (naziemny skaning laserowy) do inwentaryzacji zieleni miejskiej. Skaning umożliwia pomiar wszystkich cech z większą dokładnością niż w przypadku pomiaru przeprowadzonego metodami tradycyjnymi, dodatkowo pozwalając na pomiar wielu cech, których określenie jest bardzo trudne lub nawet niemożliwe przy zastosowaniu metod tradycyjnych. Prace nad jego wykorzystaniem będą kontynuowane w kierunku jak największej automatyzacji pomiaru.

5. LITERATURA

Aschoff T., Spiecker H., 2004. Algorithms for the Automatic Detection of Trees in Laser Scanner Data. [w:] Thies M., Koch B., Spiecker H., Weinacker H. (red), Laser-Scanners for Forest and Landscape Assessment. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. XXXVI - 8/W2, Freiburg, Germany, 03-06.10.2004, s. 66-70.

Brack C., 2008. Tree crown. <http://sres-associated.anu.edu.au/mensuration/crown.htm#area>

Dubayah R. O., Drake J. B., 2000. Lidar Remote Sensing for Forestry. *Journal of Forestry*, Vol 98 (6), s. 44-52.

Faro, 2007. Faro Laser Scanner Ls - Techsheet. http://faro.com/FaroIP/Files/File/Techsheets%20Download/04REF201_041_Laser_Scanner_LS.pdf

Henning J. G., Radtke P. J., 2006. Detailed Stem Measurements of Standing Trees from Ground-Based Scanning Lidar. *Forest Science*, Vol 52 (1), s. 67-80.

Kałuża T., Tymkow P., Wencel A., 2009. Wykorzystanie technik geomatycznych do oceny wpływu roślinności na kształtowanie warunków przepływu na terenach zalewowych. Materiały konferencyjne X Konferencji Naukowo-Technicznej „Problemy Hydrotechniki”, Wojanów.

Koziół K., Wężyk P., 2007. Zastosowanie Algorytmu Delanuy'a w Eliminacji i Kłasyfikacji Chmury Punktów z Nziemnego Skaningu Laserowego. *Roczniki Geomatyki*, Tom V (Zeszyt 5), s. 33-41.

Lichti D. D., Gordon S. J., Stewart M. P., 2002. Ground-Based Laser Scanners: Operation, Systems and Applications. *Geomatica*, Vol 56 (1), s. 21-33.

Pfeifer N., Briese C., 2007. Geometrical Aspects of Airborne and Terrestrial Laser Scanning. [w:] Rönnholm P., Hyypä H., Hyypä J. (red), *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. ISPRS Workshop on Laser Scanning 2007 and SilviLaser 2007. XXXVI, Part 3 / W52. Espoo, Finland. 12-14.09.2007.

Pfeifer N., Winterhalder D., 2004. Modelling of Tree Cross Sections from Terrestrial Laser-Scanning Data with Free-Form Curves. [w:] Thies M., Koch B., Spiecker H., Weinacker H. (red), Laser-Scanners for Forest and Landscape Assessment. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. XXXVI - 8/W2. Freiburg, Germany. 03-06.10.2004.

Tompalski P., Koziół K., 2008. Określanie Wybranych Cech Drzew Za Pomocą Nziemnego Skaningu Laserowego. Krakowska Konferencja Młodych Uczonych. Kraków. 25-27.09.2008.

Watt P. J., Donoghue D. N. M., 2005. Measuring Forest Structure with Terrestrial Laser Scanning. *International Journal of Remote Sensing*, Vol 26 (7), s. 1437-1446.

Wężyk P., Koziół K., Glista M., Pierzchalski M., 2007. Terrestrial Laser Scanning Versus

Traditional Forest Inventory. First Results from the Polish Forests. [w:] Rönholm P., Hyypä H., Hyypä J. (red.): ISPRS Workshop on Laser Scanning 2007 and SilviLaser 2007. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. XXXVI, Part 3 / W52. Espoo, Finland. 12-14.09.2007, s. 424-429.

Wężyk P., 2006. Wprowadzenie do Technologii Skaningu Laserowego w Leśnictwie. *Roczniki Geomatyki*, Vol IV (4), s. 119-132.

TERRESTRIAL LASER SCANNING FOR AN URBAN GREEN INVENTORY

KEY WORDS: terrestrial laser scanning, lidar, urban green, inventory

SUMMARY: This paper presents research results concerning the use of terrestrial laser scanning (TLS) for creating an urban green inventory. The research was performed in Krakow's city-centre Planty park. Firstly field measurements were made to collect information about tree positions, dbh, height, crown base height and crown area. A Faro LS 880 laser scanner was then used to collect 13 point clouds. Single scans were then joined in Faro Scene. After that Terrasolid software was used to filter and classify the point cloud. Slices in several options were generated and were used in further analysis concerning tree position, dbh and single tree crown modelling. The results confirm the high accuracy and reliability of measurements based on the LIDAR data collected. The measurements are repetitive and objective.

mgr inż. Piotr Tompalski
piotr.tompalski@ur.krakow.pl
telefon: +48 609105303

* wersja kolorowa artykułu jest dostępna na stronie <http://www.sgp.geodezja.org.pl/ptfit>

** autor nagrodzony stypendium konferencyjnym dla doktorantów ufundowanym przez Fundację im. Anny Pasek

**WYKORZYSTANIE WSKAŹNIKA INTENSYWNOŚCI ODBICIA
W PROCESIE POZYSKIWANIA SIECI DROGOWEJ
Z DANYCH LIDAROWYCH**

**USE OF SIGNAL INTENSITY INDICES IN THE PROCESS OF EXTRACTING
A ROAD NETWORK FROM LIDAR DATA**

Artur Warchol

Studium Doktoranckie przy Wydziale Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska,
Akademia Górniczo-Hutnicza

SŁOWA KLUCZOWE: LIDAR, intensywność, sieć drogowa, przetwarzanie danych

STRESZCZENIE: W niniejszej pracy przedstawiono technologię wykorzystania współczynnika intensywności odbicia - jednego z parametrów charakteryzujących odbicie promienia lasera w punkcie o współrzędnych (X, Y, Z). Współczynnik ten został użyty w celu wykrycia sieci dróg bez wspomagania danymi pochodzącymi z innych sensorów. Poprzez różnie dobrane przedziały wartości odpowiadające odbiciu od nawierzchni dróg wyodrębniono z chmury punktów sieć drogową (w postaci zbioru punktów), a następnie automatycznie wygenerowano jej granicę. Uzyskane wyniki zestawiono z pomiarem bezpośrednim GPS RTK pod względem ich lokalizacji poziomej, a następnie sprawdzono stopień pokrycia powierzchni drogi wygenerowanej w oparciu o intensywność sygnału lidarowego z utworzoną w oparciu o pomiar GPS.

1. WPROWADZENIE

Lotniczy skaniny laserowy (ang. *Airborne Laser Scanning* – ALS) jest w ostatnich latach przedmiotem zainteresowań i badań wielu naukowców. Pomimo to nadal jeszcze pozostaje nierozwiązanych wiele problemów związanych z tą techniką pomiarową. Wśród niewątpliwych zalet ALS wskazać należy bardzo dużą szybkość pozyskiwania danych, większą niezależność od warunków pogodowych niż przy projektach fotogrametrycznych (można skanować w dzień pochmurny lub nawet w nocy bo jest to system aktywny) oraz względnie wysoką precyzję (Gołuch *et al.*, 2007). Ilość pozyskanych z jednego przelotu danych, która bardzo realistycznie odwzorowuje świat rzeczywisty stanowi spore wyzwanie dla operatora modelującego zarejestrowany obszar w środowiskach

typu CAD. Niezależnie od typu skanera (fazowy lub impulsowy) oprócz trzech współrzędnych (X,Y,Z) każdego pozyskanego punktu pomiarowego zapisywana jest wartość wskaźnika intensywności odbicia, który m.in. zależy od typu/stanu pokrycia terenu. Intensywność pozwala więc na uzyskanie dodatkowej informacji np. o stopniu zużycia lub uszkodzenia elementów konstrukcyjnych obiektów drogowych (Kędzierski *et al.*, 2008a), o materiale z którego wykonany jest mierzony obiekt (Kędzierski *et al.*, 2008b) bądź też o typie pokrycia terenu (Wehr, Lohr, 1999). Badania z zakresu ekstrakcji sieci drogowej prowadzone były przy użyciu wyłącznie danych lidarowych (Clode *et al.*, 2007), jak również danych ALS wspomaganych wysokorozdzielczymi zdjęciami satelitarnymi (Tiwari *et al.*, 2009). Ze względu na wspomnianą wcześniej ogromną ilość danych najlepiej gdyby obróbka danych przebiegała z ograniczonym udziałem operatora. Niestety różnorodność form terenowych i obiektów odwzorowywanej rzeczywistości oraz spora ilość błędów przypadkowych znacznie utrudnia automatyzację. Prace z zakresu poszukiwań skutecznej metodologii doboru przedziału intensywności reprezentującego sieć drogową przedstawiono w dalszej części artykułu.

2. DANE ŹRÓDŁOWE ORAZ OBSZAR BADAŃ

Obszar badań obejmował teren Wspólnotowego Centrum Badawczego Unii Europejskiej (JRC – *Joint Research Centre*, Ispra, Włochy) wraz z terenem przyległym o powierzchni ok. 320 ha (Rys. 1). Z istniejącej na tym obszarze sieci drogowej wybrano cztery pola testowe (P1, P2, P3, P4), na których w drugim etapie badań przeprowadzono analizę położenia fragmentów dróg wygenerowanych przy użyciu współczynnika intensywności ALS względem odpowiadających im fragmentom dróg powstałym z pomiarów GPS-RTK.



Rys. 1. Fragment ortofotomapy badanego obszaru (oryginał w kolorze).



Rys. 2. Chmura punktów ALS wyświetlana wg wartości parametru intensywności odbicia.

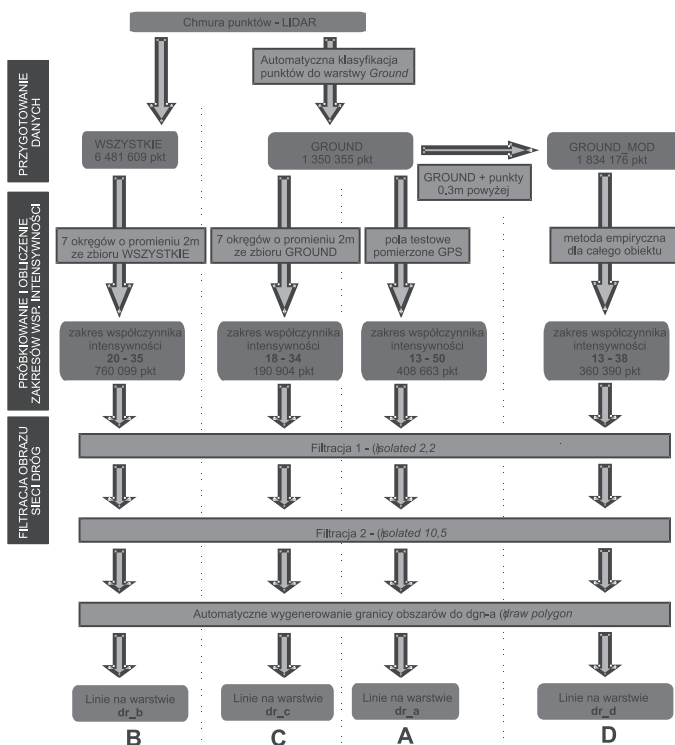
Całość terenu badań została pokryta nalotem lidarowym przeprowadzonym w roku 2005. Pliki w formacie ASCII zawierały współrzędne (X,Y,Z) punktów pierwszego i ostatniego odbicia oraz wartość intensywności odbitego sygnału (Rys. 2). Średnia gęstość punktów pomiarowych wynosiła ok. 2 pkt/m². Dla obszaru badań istniała także barwna ortofotomapa wykonana lotniczą kamerą cyfrową Leica ADS40, która była wykorzystywana jedynie w celach wizualizacyjnych i poglądowych.

Dzięki uprzejmości A. Simy (JRC) pozyskano, w celach kontrolnych, fragmenty dróg pomierzone w technologii GPS w trybie RTK w nawiązaniu do stacji referencyjnej JRC. Rejestracja przy pomocy odbiornika Trimble 5700 odbywała się przy spełnieniu warunków progowych dokładności, które ustalono na 0.02 m w poziomie oraz 0.03 m w pionie.

3. METODYKA BADAŃ

Na rysunku 3 przedstawiono schemat pierwszego etapu obróbki danych. Ze względu na różny dobór danych wejściowych oraz różną szerokość przedziałów intensywności wyodrębniono cztery ścieżki przetwarzania danych, a w konsekwencji cztery zbiory danych testowych. Każdy ze zbiorów oznaczono odpowiednio literami: A, B, C i D. Przetwarzanie danych wykonywano w środowisku MicroStation v8 2004 firmy Bentley wraz z dodatkową aplikacją TerraScan firmy Terrasolid.

Zbiory danych były przygotowywane w taki sposób, aby sprawdzić maksymalną zawartość informacyjną danych przetworzonych i nieprzetworzonych. Zbiór B potrak-



Rys. 3. Schemat pierwszego etapu przetwarzania danych – wyodrębnienie zbiorów danych A, B, C, D.

towano jako referencyjny, z którego usunięto jedynie błędy grube – punkty leżące kilkadziesiąt metrów poniżej lub powyżej aproksymowanej powierzchni gruntu. Zawsze podczas pracy na chmurze punktów lidarowych wyodrębnia się punkty terenowe do generowania NMT (Numerycznego Modelu Terenu), NMPT (Numerycznego Modelu Pokrycia Terenu) oraz pomocniczo do pozostałych klasyfikacji, dlatego też pozostałe zbiory (A, C oraz D) zostały stworzone na podstawie wygenerowanej warstwy *Ground* (Hejmanowska, *et al.*, 2008).

Z całej chmury punktów ALS (ok. 6.5 mln) została automatycznie wyodrębniona warstwa *Ground* opierając się na algorytmie aktywnego modelu TIN (Axelsson, 2000), w której znalazło się ok. 1.3 mln punktów. Klasyfikację przeprowadzono przy użyciu następujących parametrów: maksymalny rozmiar budynku – 60 m, maksymalny kąt nachylenia terenu – 88°, kąt iteracyjny – 6°, odległość iteracyjna 1.4 m. Zastosowano również opcję redukcji kąta iteracyjnego przy długościach boków trójkąta mniejszych niż 5 m. Na tym etapie przygotowania danych, atrybutem decydującym przy klasyfikacji była wysokość punktów. W dalszej kolejności podczas analiz wykorzystywano tylko wartość współczynnika intensywności odbicia. Do próbkowania użyto siedmiu okręgów o promieniu 2 m. Wartość 2 m ustalono na drodze dedukcji – większy promień mógłby powodować,

że zwłaszcza przy wąskich drogach, oprócz nawierzchni jezdni do próbki mogłyby trafić punkty sąsiadujące np. trawa. Kształt obszaru próbkowania w postaci okręgów wybrano ze względu na to, iż niezależnie od azymutu osi obszaru testowego (przy promieniu 2 m) obszar próbkowania zawsze będzie leżał wewnątrz pola testowego. Pola testowe GPS to prostokąty oparte na pomierzonych punktach krawędzi dróg. Dla obszarów próbkowania obliczono charakteryzujące je parametry intensywności i zestawiono w tabeli 1. Na podstawie tych parametrów ustalono wartości przedziałów dla każdej z metod.

3.1. Wydzielenie i charakterystyka zbioru A

W oparciu o pomierzone punkty GPS (krawędzie dróg) wyznaczono obszary testowe. Po zrzutowaniu warstwy *Ground* na obwodnice pól testowych wybrano część wspólną obydwu zbiorów tj. obszary zawierające punkty lidarowe, które leżały w granicach obszarów testowych. W ten sposób powstał zbiór (cztery pola testowe zawierające punkty lidarowe), dla którego obliczono charakteryzujące go parametry intensywności: wartość minimalną (min), maksymalną (maks), wartość średnią (\bar{x}), odchylenie standardowe (σ) oraz utworzono przedział $\langle \bar{x} - \sigma, \bar{x} + \sigma \rangle$ w zaokrągleniu do najbliższych wartości całkowitych. Wartości parametrów dla zbiorów A, B, C i D zestawiono w tabeli 1.

3.2. Wydzielenie i charakterystyka zbioru B

Zbiór ten podlegał najmniejszej ilości przetworzeń bowiem analizując przestrzenny rozkład punktów chmury ALS wizualizowanej wg wartości współczynnika intensywności (Rys. 2) wyznaczono siedem obszarów kołowych o promieniu 2 m, które z bardzo wysokim prawdopodobieństwem są powierzchnią drogi. Dla znajdujących się w nich punktów pomiarowych obliczono podstawowe statystyki jak dla zbioru A i zestawiono w tabeli 1.

Tab. 1. Zestawienie parametrów charakteryzujących zbiorów wg intensywności odbicia.

	Zbiór A	Zbiór B	Zbiór C	Zbiór D
Min	1	12	12	-
Maks	129	55	42	-
Średnia (\bar{x})	31.4	27.3	25.9	-
Odch. stand. (σ)	18.2	7.2	7.5	-
Przedział	13÷50	20÷35	18÷34	13÷38
Ilość punktów	408 663	760 099	190 904	360 390

3.3. Wydzielenie i charakterystyka zbioru C

Początek etapu przygotowania przebiegał podobnie jak w przypadku zbioru A. Z całej chmury ALS wyodrębniono klasę *Ground*, po czym wczytano jej punkty do siedmiu obszarów kołowych (poligonów dgn) o promieniu 2 m w miejscach, które można

było uznać za powierzchnię drogi. Dla powstałego zbioru obliczono parametry charakterystyczne (Tab. 1).

3.4. Wydzielenie i charakterystyka zbioru D

Zbiór D na etapie przygotowania wymagał największej ilości pracy. Po wyodrębnieniu z chmury punktów ALS klasy reprezentującej teren przeprowadzono dodatkową klasyfikację selekcyjną punkty znajdujące się do wysokości 0.3 m ponad klasą *Ground*. Wartość 0.3 m przyjęto na podstawie wcześniejszych badań (Hejmanowska, Warchol, 2009). Następnie połączono klasy tworząc zbiór GROUND_MOD. Kolejnym krokiem było zastosowanie klasyfikacji wg wartości współczynnika intensywności (szerokość przedziału – 1), po czym na podstawie analizy wizualnej wybrano warstwy, które najlepiej odpowiadały kształtowi sieci drogowej.

Wszystkie zbiory poddano jednakowej filtracji dwuetapowej, której parametry dobrano empirycznie polegając na ocenie wizualnej uzyskanych efektów (Rys. 4 i 5). Obydwa etapy polegały na wyodrębnieniu punktów izolowanych (*classify isolated points*). Funkcja ta posiada dwa parametry: pierwszy parametr to liczba punktów, jaka musi być co najmniej wyszukana w podanej odległości, aby punkt analizowany nie był zaznaczany, natomiast drugi parametr to promień sfery w metrach, jaka ma być przeszukiwana. Dla każdego więc punktu sprawdzany jest następujący warunek: jeśli mniej niż dana liczba punktów w określonym promieniu to wybierz punkt. Pierwszy etap klasyfikacji został przeprowadzony z ustawieniami (parametr 1 = 2, parametr 2 = 2) natomiast drugi przy parametrach (10.5).

Po przefiltrowaniu wszystkich zbiorów następowało obrysowanie chmur punktów przy użyciu funkcji *Draw polygon*. Parametry dostępne w tym module powodują większe bądź mniejsze wygładzenie krawędzi poligonu, a tworzonym obszarom można zadać wielkość maksymalną. Efektem końcowym są obszary zamknięte wykonane linią typu *smart line* na wybranej warstwie pliku dgn (Rys. 6).



Rys. 4. Zbiór D – wybrany fragment chmury punktów przed filtracją.



Rys. 5. Zbiór D – wybrany fragment chmury punktów po filtracji.



Rys. 6. Zbiór D – wybrany fragment po wygenerowaniu granic.

4. WYNIKI BADAŃ

Sprawdzenia efektywności poszczególnych ścieżek postępowania dokonano na czterech polach testowych zlokalizowanych na drogach asfaltowych, których krawędzie zostały pomierzone przy użyciu technologii GPS-RTK.

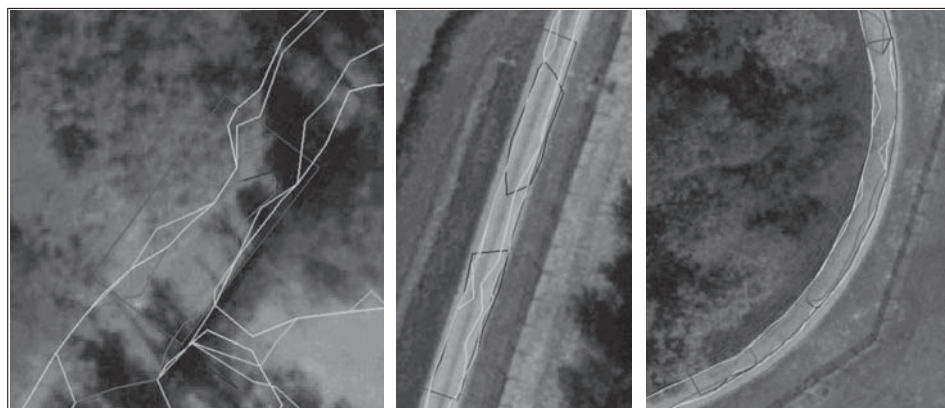
Pola testowe (P1, P2, P3 i P4) zostały tak rozmieszczone, aby mogły zawierać jak najszersze spektrum występujących przypadków (różny kształt pól testowych, różną dostępność promienia lasera do nawierzchni drogi). Wszystkie obszary to fragmenty dróg,

posiadają więc wydłużony kształt oparty na punktach GPS (od 4 do 10). Stosunki boków dla P1 i P3 wynosiły ok. 1:10, w przypadku P2 ok. 1:2 natomiast P4 zlokalizowany był na zakręcie drogi i posiadał stosunek ok. 1:20. Wydłużenie P1 skierowane jest prawie zgodnie do kierunku lotu samolotu natomiast pozostałe pola są skierowane prawie prostopadle.

Lokalizacja pól testowych została też starannie wybrana pod względem otoczenia. W przypadku pól P1 i P3 otoczenie stanowi niska trawa, w przypadku pola P2 - drzewa po obydwu stronach wąwozu, w którym znajduje się droga, natomiast pole P4 osłonięte jest zwartym lasem od strony zachodniej (Rys. 7 i Rys. 8).



Rys. 7. Pole P1 – liniami oznaczono granice wygenerowane poszczególnymi metodami.



Rys. 8. Pole P2

Pole P3

Pole P4

Na każdym polu testowym dokonano porównania poszczególnych metod w dwóch aspektach – pod względem sprawdzenia zgodności kartowania oraz pod względem liczby punktów wykorzystanych do wygenerowania obszaru drogi. Za najlepszą metodę należy uznać tą, która posiada największy procent pokrycia oraz najmniejszą liczbę punktów. Wyniki zarówno w ujęciu ilościowym jak i procentowym zestawiono (osobno dla każdego pola testowego) w tabelach, odpowiednio: P1 – tabela 2, P2 – tabela 3, P3 – tabela 4 oraz P4 – tabela 5. W pierwszej kolumnie literami A, B, C i D oznaczono zbiory – metody wyboru wartości granicznych przedziału. W drugiej kolumnie znajduje się pole powierzchni w m², w trzeciej stosunek pola powierzchni z kolumny drugiej do pola powierzchni pomierzonego GPS, w czwartej kolumnie znajduje się liczba punktów ALS użytych do wygenerowania obszaru drogi, natomiast w ostatniej kolumnie w ujęciu procentowym przedstawiony jest stosunek liczby punktów z kolumny czwartej do wszystkich punktów ALS znajdujących się w polu testowym.

W tabelach 2 do 5 na szaro wyróżniono te przypadki, w których stosunek pokrycia powierzchniowego do liczby używanych punktów jest satysfakcjonujący. Za taki

Tab. 2. Zestawienie pokrycia powierzchniowego oraz liczby punktów dla pola P1.

P1	Pole powierzchni 356.99 m ² - GPS		Liczba punktów LIDAR wszystkich w P1 - 1022	
	[m ²]	%	pkt	%
A	309.34	87	261	26
B	310.40	87	831	81
C	299.84	84	237	23
D	308.12	86	370	36

Tab. 3. Zestawienie pokrycia powierzchniowego oraz liczba punktów dla pola P2.

P2	Pole powierzchni 119.18 m ² - GPS		Liczba punktów LIDAR wszystkich w P2 - 187	
	[m ²]	%	pkt	%
A	56.26	47	38	20
B	72.17	61	115	61
C	42.57	36	34	18
D	70.51	59	50	27

Tab. 4. Zestawienie pokrycia powierzchniowego oraz liczby punktów dla pola P3.

P3	Pole powierzchni 164.57 m ² - GPS		Liczba punktów LIDAR wszystkich w P3 - 251	
	[m ²]	%	pkt	%
A	91.89	56	71	28
B	90.05	55	119	47
C	0.00	0	0	0
D	11.77	7	87	35

Tab. 5. Zestawienie pokrycia powierzchniowego oraz liczby punktów dla pola P4.

P4	Pole powierzchni 224.02 m ² - GPS		Liczba punktów LIDAR wszystkich w P4 - 322	
	[m ²]	%	pkt	%
A	91.98	41	68	21
B	153.65	69	239	74
C	67.51	30	56	17
D	153.41	68	119	37

uznawano kombinację około 50% lub wyższego pokrycia oraz maksymalnie do 40% lub mniejszego wykorzystania punktów.

W polu P3, metoda C, występują zera, ponieważ po zastosowanych filtracjach w obrębie obszaru testowego GPS nie znalazły się żadne punkty z nalotu lidarowego.

5. WNIOSKI

Uzyskane wyniki wskazują na możliwość zastosowania współczynnika intensywności jako bardzo cennego i wiarygodnego źródła informacji w procesie detekcji dróg asfaltowych. Pod względem powierzchniowym uzyskany kształt drogi w najlepszym przypadku stanowi ponad 80% rzeczywistej powierzchni. Niedoszacowanie powierzchni jezdni na poziomie 20% może wydawać się zbyt duże, jednak zabezpiecza ono użytkownika przed popełnieniem błędu zaklasyfikowania punktu, jako powierzchni drogi gdy w rzeczywistości nim nie był. Inną ważną zaletą, którą należy wskazać zwłaszcza przy bardzo dużej liczbie danych uzyskiwanych z pomiarów lidarowych jest redukcja liczby punktów wykorzystywanych do tworzenia obrazu sieci dróg. Niedogodnością na obszarach miejskich jest przerywanie ciągłości obrysu drogi w miejscach pasów dla pieszych, wypełnień fragmentów nawierzchni różnymi rodzajami asfaltu etc. Pomimo tego zastosowanie powyższego generowania obrysu drogi znacznie przyspiesza pracę nad wektoryzacją, gdyż rola operatora sprowadza się do intuicyjnego usuwania zbędnych wierzchołków. Analizując otrzymane wyniki zauważyć można także, iż najbardziej efektywne są metody A (zbiór danych nieprzetworzonych) i D (wygenerowana warstwa *Ground* wraz z punktami do 0.3 m ponad NMT *Ground*). W metodach tych dolną granicę współczynnika intensywności dla punktów „drogowych” ustalono jako 13, natomiast w metodach B i C są to odpowiednio wartości 20 i 18. Górne granice przedziału przyjmują zbliżone wartości dla metod: B – 35, C – 34, D – 38 oraz znacznie większą wartość w metodzie A – 50. Tak więc wnioskować można, iż większość użytecznych informacji o obrazie sieci drogowej znajduje się w przedziale ok. 13÷20. Najmniejsza ilość przetworzeń danych oraz czysto matematyczne podejście w met. B spowodowało utworzenie największego przedziału z największą liczbą punktów. Metoda B jednak na przestrzeni wszystkich pól testowych wykazała się największą stabilnością pokrycia powierzchniowego (87%, 61%, 55% i 69%). Należałoby więc rozważyć możliwość kombinacji wyników różnych metod.

Metoda D natomiast, pomimo najlepszych wyników jest zbyt pracochłonna, aby mogła być stosowana „produkcyjnie”.

6. LITERATURA

Axelsson P., 2000. DEM generation from laser scanner data using adaptative TIN models. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. XXXIII/4B, Amsterdam.

Clode S., Rottensteiner F., Kootsookos P., Zelniker E., 2007. Detection and Vectorization of Roads from Lidar Data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 73, No. 5, s. 517-535.

Gołuch P., Borkowski A., Józków G., 2007. Ocena dokładności danych lotniczego skaningu laserowego systemu SCALARS. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 17, s. 251-260.

Hejmanowska B., Borowiec N., Badurska M., 2008. Przetwarzanie lotniczych danych lidarowych dla potrzeb generowania DSM i DTM. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol.18, s. 151-163.

Hejmanowska B., Warchoła A., 2009. Analiza porównawcza wysokości terenu uzyskanej za pomocą lotniczego skaningu laserowego, pomiaru GPS oraz pomiaru na modelu stereoskopowym z kamery ADS40. *Acta Scientiarum Polonorum s. Geodesia et Descriptio Terrarum*, Wrocław (w druku).

Kędzierski M., Walczykowski P., Fryškowska A., 2008a. Naziemny skaningu laserowy drogowych obiektów inżynierskich. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 18, s. 211-220.

Kędzierski M., Walczykowski P., Fryškowska A., 2008b. Wybrane aspekty opracowania dokumentacji architektonicznej obiektów zabytkowych. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 18, s. 221-230.

TerraScan. 2006. User Manual: <http://www.terrasolid.fi>

Tiwari P.S, Pande H., Pandey A.K, 2009. Automatic Urban Road Extraction using Airborne Laser Scanning Altimetry and High Resolution Satellite Data. *Indian Soc. Remote Sens.*, Vol. 37, s. 223-231.

Wehr A., Lohr U., 1999. Airborne laser scanning – an introduction and overview, *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, Vol. 54, s. 68–82.

**USE OF SIGNAL INTENSITY INDICES IN THE PROCESS OF EXTRACTING
A ROAD NETWORK FROM LIDAR DATA**

KEY WORDS: LIDAR, signal intensity, road, data processing

SUMMARY: The extraction of roads from LIDAR data using signal intensity is presented in this paper. Signal intensity is one of the attributes in LIDAR register points. This coefficient was used to detect the road network without using other sensors. The road network was extracted from point clouds (as a set of points) derived from different ranges of values selected corresponding to reflection from the road, and the boundaries were then automatically generated. The results of this analysis were compared with direct measurement GPS RTK in two respects: horizontal localization and coverage of the road surface - first from intensity signal border generation and second from GPS RTK measurement.

mgr inż. Artur Warchol
awarchol@ar.krakow.pl
telefon: +48 12 6624518
fax: +48 12 6624539

**PORÓWNANIE DOKŁADNOŚCI METODY „FOTO”
Z AUTOMATYCZNĄ ANALIZĄ DANYCH LOTNICZEGO SKANINGU
LASEROWEGO DLA CELÓW KONTROLI DOPLAT BEZPOŚREDNICH***

**COMPARISON OF THE ACCURACY OF THE “PHOTO” CHECK METHOD
WITH AUTOMATIC ANALYSIS BASED ON ALS DATA FOR DIRECT
CONTROL OF SUBSIDY PAYMENT**

Piotr Wężyk, Marta Szostak, Piotr Tompalski

Laboratorium GIS i Teledetekcji, Wydział Leśny, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

SŁOWA KLUCZOWE: dopłaty bezpośrednie, metoda „Foto”, ortofotoobrazy, lotniczy skaningu laserowy (ALS)

STRESZCZENIE: Około 1.5 mln producentów rolnych w Polsce składa co roku wnioski o dopłaty bezpośrednie z funduszy UE. Mechanizmy zarządzania i kontroli dopłat bezpośrednich opierają się w dużej mierze na wykorzystaniu technologii geoinformatycznych będących częścią systemu IACS. Kontrola wniosków, tzw. kontrola „na miejscu” realizowana jest dwoma metodami, tj.: inspekcji terenowej lub „Foto”. Obie bazują na danych z LPIS (System Identyfikacji Działek Rolnych). W 2008 roku ok. 107 tys. gospodarstw skontrolowano metodą „Foto” w oparciu o ortofotobrazy satelitarne lub lotnicze. Najwięcej nieprawidłowości (ok. 19%) wykazano dla województwa dolnośląskiego. Badania opisane w niniejszym artykule dotyczą obszaru testowego w powiecie Miłicz (obręb ewidencyjny Pracze; woj. dolnośląskie). W roku 2007 przeprowadzono dla tego obszaru lotniczy skaningu laserowy (ALS) oraz wygenerowano ortofotografię w oparciu o zdjęcia cyfrowe VEXCEL. Pole testowe objęło 68 działek ewidencyjnych (EGiB) o łącznej powierzchni 68.57 ha, składającej się łącznie z 13 klas użytków gruntowych. Według danych EGiB z 2009 roku, użytek Ls zajmował 5.77 ha (14.10%) obszaru testowego. W oparciu o ortofotografię lotniczą (kompozycja RGB; piksel 15 cm) oraz wektor działek EGiB, operator wektoryzował obszary podlegające sukcesji leśnej, które nie podlegają dopłatom bezpośrednim. Wyniki prac wskazują, iż użytek Ls zajmuje w rzeczywistości obszar 19.04 ha, czyli ponad 3 razy więcej niż wykazał EGiB. Równolegle wykonano analizy przestrzenne GIS bazujące na znormalizowanym Numerycznym Modelu Powierzchni Terenu (zNMPT) wygenerowanym w oparciu o chmurę punktów lotniczego skaningu laserowego. Testowano 3 warianty zNMPT, tj. powyżej progu: 1 m, 2 m oraz 3 m nad gruntem, reprezentujące wysokości roślinności. Automatyczne przetwarzanie było możliwe dzięki przygotowaniu odpowiedniego modelu w aplikacji ArcGIS (ESRI). Wyniki wskazują, iż obszary pokryte roślinnością o wysokości powyżej 1 m zajmują 19.84 ha (48.5%). Niewielka różnica powierzchni lasu

(0.8 ha) dla modelu zNMPT >1 m, w stosunku do metody „Foto”, wynika z problemów generowania ortoobrazów w oparciu o NMT. Automatyczna kontrola bazująca na klasyfikacji obrazów lotniczych czy satelitarnych wsparta informacją o wysokości obiektów (zNMPT), wydaje się być wręcz koniecznością w kontekście cyklicznego procesu monitoringu i kontroli obszarów rolniczych w Polsce.

1. WPROWADZENIE

Dopłaty bezpośrednie dla rolników udzielane w ramach Wspólnej Polityki Rolnej Unii Europejskiej obejmują w Polsce co roku około 1.5 miliona gospodarstw. Przepisy KE zakładają, że minimum 5% gospodarstw, ubiegających się o przyznanie płatności obszarowych, musi zostać objęte tzw. kontrolą „na miejscu” (ang. *Rapid Field Visit*; RFV). Nasilenie kontroli w roku następnym dotyczy powiatów, w których stwierdzono istotne nieprawidłowości. Kontrole przeprowadzane są przez odpowiednio przeszkolonych inspektorów terenowych działających na zlecenie Agencji Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa (ARiMR). Celem kontroli „na miejscu” jest weryfikacja danych zadeklarowanych przez producenta rolnego we wniosku, ze stanem faktycznym, a tym samym zapewnienie prawidłowego wykorzystania przyznaných środków finansowych.

W myśl Ustawy o płatnościach bezpośrednich do gruntów rolnych (Ustawa, 2004) do płatności bezpośrednich uprawnione są gospodarstwa posiadające minimalną powierzchnię użytków rolnych co najmniej 1.0 ha, składające się z działek rolnych (zwały obszar gruntu, na którym jeden producent rolny prowadzi jedną grupę upraw), których powierzchnia wynosi co najmniej 0.1 ha. Celem kontroli jest: ustalenie granic i powierzchni działki rolnej, zweryfikowanie zadeklarowanej grupy upraw na danej działce rolnej oraz jednoznaczna decyzja, czy obszar zgłaszany był utrzymywany w tzw. dobrej kulturze rolnej (ang. *Good Agricultural and Environmental Condition*; GAEC) na dzień 30 czerwca. Mechanizmy zarządzania i kontroli subsydiów UE przeznaczanych na rolnictwo opierają się w dużej mierze na wykorzystaniu technologii geoinformatycznych w całym zintegrowanym systemie IACS. Kontrola wniosków w ramach płatności bezpośrednich do gruntów realizowana jest dwoma metodami, tj.: inspekcji terenowej, najczęściej prowadzonej z wykorzystaniem technologii GPS lub tzw. metody „Foto”. Kontrole takie przeprowadzane są w miarę równomiernie we wszystkich województwach. Zgodnie z danymi ARMiR (Agencja, 2009) w roku 2008 przeprowadzono kontrole w około 100 tys. gospodarstw, w tym 79% gospodarstw podlegało kontroli metodą inspekcji terenowej, a 21% zweryfikowano metodą „Foto”. Najwięcej kontroli zostało przeprowadzonych w województwach: mazowieckim, świętokrzyskim i małopolskim, natomiast najmniejsza liczba kontroli przypadła na województwa: lubuskie i opolskie. Poziom nieprawidłowości przekraczający 3% powierzchni deklarowanej, w skali kraju, w roku 2008 wyniósł ok. 14.3%. Najwięcej gospodarstw, z wykrytymi nieprawidłowościami znajdowało się w województwie dolnośląskim, bo aż 19.9%. Do kontroli metodą „Foto” w 2008 roku wytypowanych zostało 30 obszarów w 11 województwach. Metoda „Foto” bazuje w głównej mierze na wysokorozdzielczych obrazach

satelitarnych (VHRS), do jakich zalicza się QuickBird (DigitalGlobe). Są one poddawane ortorektyfikacji. W niektórych przypadkach wykorzystuje się zdjęcia lotnicze w postaci ortofotomap, a proces interpretacji, niezmiernie subiektywny, wymagający od operatora długiego treningu i weryfikacji terenowej, odbywa się w technologii 2D zamiast 3D (stereodigitalizacja). Wspomaganie fotointerpretacji może odbywać się poprzez wykorzystanie automatycznych procesów klasyfikacji obiektowej (OBIA; w oprogramowaniu eCognition Definiens) co dowiedziono już dla obrazów VHRS QuickBird oraz IKONOS (Wężyk, de Kok, 2007; de Kok, Wężyk, 2008).

Lotniczy skaniny laserowy (ang. *Airborne Laser Scanning*; ALS) jest technologią teledetekcyjną, dzięki której pozyskiwana jest chmura punktów o współrzędnych XYZ z bardzo wysoką precyzją (ok. ± 15 cm Z; ± 30 cm XY). Odpowiednie metody filtracji i klasyfikacji zbiorów punktów prowadzą do wygenerowania różnych modeli w tym Numerycznego Modelu Terenu (NMT), Numerycznego Modelu Powierzchni Terenu (NMPT) oraz znormalizowanego Numerycznego Modelu Powierzchni Terenu (zNMPT) reprezentującego aproksymowaną powierzchnię obiektów występujących na gruncie, tj.: dachów domów, koron drzew, krzewów, itp. (Wężyk *et al.*, 2008a). Precyzyjne modele bazujące na ALS znajdują szerokie zastosowanie w kartografii, leśnictwie, hydrologii czy planowaniu przestrzennym (Wężyk *et al.*, 2008b).

Celem prezentowanej pracy było określenie przydatności danych ALS oraz generowanych na ich podstawie numerycznych modeli terenu (NMT, NMPT i zNMPT), do wsparcia metody „Foto”, przeprowadzanej w ramach kontroli dopłat bezpośrednich. Jednocześnie podjęto próbę opracowania metodyki automatycznego procesu przetwarzania chmur punktów z lotniczego skaniny laserowego zintegrowaną z analizami przestrzennymi GIS.

2. TEREN BADAŃ

Obszar badań zlokalizowano w województwie dolnośląskim, w powiecie Milicz (obręb ewidencyjny Pracze). Objął on działki ewidencyjne znajdujące się w sąsiedztwie gruntów leśnych (w ewidencji oznaczone jako: Ls), stanowiących własność PG Lasy Państwowe (Nadleśnictwo Milicz; Rys. 1).

W terenie badań wyróżniono, zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Rozwoju Regionalnego i Budownictwa w sprawie ewidencji gruntów i budynków (Rozporządzenie, 2001), następujące użytki gruntowe:

1) użytki rolne:

- grunty orne, oznaczone symbolem: R,
- łąki trwałe, oznaczone symbolem: Ł,
- pastwiska trwałe, oznaczone symbolem: Ps,

2) grunty leśne oraz zadrzewione i zakrzewione:

- lasy, oznaczone symbolem: Ls,
- grunty zadrzewione i zakrzewione, oznaczone symbolem: Lz,



Rys. 1. Teren badań pomiędzy Trzebnicą a Miliczem (źródło: Google Earth; po lewej). Działki podlegające analizie oznaczono kolorem niebieskim (po prawej). Działki zaznaczone szrafurą (własność PG Lasy Państwowe) nie były analizowane.

3) grunty zabudowane i zurbanizowane:

- tereny rekreacyjno-wypoczynkowe, oznaczone symbolem: Bz,

4) nieużytki, oznaczone symbolem: N,

5) grunty pod wodami:

- grunty pod wodami powierzchniowymi płynącymi, oznaczone symbolem Wp.

Obszar testowy charakteryzował się częstymi przypadkami sukcesji roślinności o charakterze zbiorowisk leśnych występującej na działkach nieleśnych (głównie rola: R oraz użytki zielone: Ł) oznaczonych symbolem innym niż: Ls lub Lz (grunt zadrzewiony i zakrzewiony; Rys. 2).

Analizie poddano 68 działek ewidencyjnych położonych w pasie około 200 m na północ, od granicy administracyjnej PG Lasy Państwowe (N-ctwo Milicz). Granice działek



Rys. 2. Przykłady sukcesji o charakterze roślinności leśnej na użytkach nieleśnych (np. RV czy ŁV).

pochodziły z EGiB (PODGiK Milicz, aktualność na dzień 30.12.2003 r.), a ich łączna powierzchnia wynosiła 68.57 ha (średnia powierzchnia działki około 1.01 ha). Obszary leśne graniczące z terenem badań były przedmiotem licznych badań nad technologiami teledetekcyjnymi finansowanymi przez Dyрекcję Generalną Lasów Państwowych (Wencl *et al.*, 2008).

3. METODYKA PRAC

Kontrola metodą „Foto” przeprowadzana jest w oparciu o ortofotobrazy oraz na podstawie wywiadu terenowego. Na obszarze jednego arkusza ortofotografii (ortofotomapy) lotniczej lub sceny satelitarnej VHRS, kontrolowane są wszystkie gospodarstwa rolne posiadające 100% swych działek na tym terenie. Sprawdza się wszystkie działki rolne, wchodzące w skład kontrolowanego gospodarstwa. Podczas kontroli analizuje się całą działkę ewidencyjną, wyodrębniając na niej poszczególne działki rolne oraz obszary nie zadeklarowane we wniosku przekazanym do kontroli (tzw. obszary DN.n.). Rodzaje poszczególnych obszarów uprawnionych i nieuprawnionych do płatności stanowią treść załączników Instrukcji realizacji kontroli w zakresie kwalifikowalności powierzchni ARiMR i noszą nazwę tzw. pól zagospodarowania. Są to obszary o jednolitym sposobie użytkowania gruntu wyodrębnione na podstawie treści ortofotomapy za pomocą granic (wektor) i opisane odpowiednim symbolem. Realizację kontroli metodą „Foto” można podzielić na fazę kameralnego opracowania i wywiad terenowy:

- przygotowanie danych do przeprowadzenia wywiadu terenowego – zintegrowanie cyfrowych danych ewidencyjnych z cyfrową ortofotomapą, wstępne zwektoryzowanie granic działek rolnych i obszarów DN.n. (tych, które jednoznacznie można zidentyfikować na obrazie), wydrukowanie arkuszy ortofotomap (z granicami i numerami działek ewidencyjnych oraz z elementami zwektoryzowanymi) oraz przygotowanie formularza wywiadu terenowego,
- wizja w terenie i opracowanie wyników końcowych.

Wstępna wektoryzacja przeprowadzana jest na podstawie danych zawartych w EGiB polega na zidentyfikowaniu numerów działek ewidencyjnych, na których zostały zadeklarowane działki rolne, a następnie zlokalizowaniu ich na ortofotomapie i zwektoryzowaniu ich rzeczywistych granic. Określa się przy tym, czy działka rolna jest widoczna na ortofotomapie, czy można potwierdzić rolnicze użytkowanie tej działki oraz czy można zidentyfikować jej granice.

Na tym etapie badań dokonano interpretacji ortofotografii lotniczych (wykonane ze zdjęć cyfrowych pozyskanych kamerą VEXCEL w 2007 roku; kompozycja RGB; piksel obrazu 15 cm) w celu wektoryzacji fragmentów lub całych działek podlegających sukcesji roślinności o charakterze leśnym (roślinność drzewiasta). Z procesu wektoryzacji wyłączono grunty leśne oraz tereny zabudowane. Prace przeprowadzono w środowisku ArcGIS (ESRI) łączącym możliwości wyświetlania warstw rastrowych (ortofotografia lotnicza) oraz wektorowych (mapy EGiB czy Leśna Mapa Numeryczna). Operator wektoryzował roślinność wysoką (po obrysach koron) w obszarze analiz, której

granice zostały ograniczone wektorem EGiB. Ortofotografia lotnicza generowana była z wykorzystaniem NMT stąd zdawano sobie sprawę z nieprawidłowego usytuowania części wierzchołkowych wysokich drzew (przesunięcie sięgające czasem kilku metrów w zależności od odległości od punktu głównego na zdjęciu). Równolegle rozpoczęto przygotowanie automatycznej procedury analizowania chmury punktów ALS. Pochodziła ona z nalotu lotniczego przeprowadzonego w roku 2007 z wykorzystaniem skanera światłowodowego Falcon II firmy Topos (Niemcy). Średnia gęstość punktów ALS wyniosła 14 pkt/m². Podczas nalotu ALS dokonano także zobrazowania wielospektralnym skanerem linijkowym TopoSys, którego obraz po przetworzeniu (ortorektyfikacji w oparciu o NMPT) może być traktowany jako tzw. „TrueOrtho”.

W pierwszym etapie prac wyselekcjonowano odpowiednie zbiory danych ALS (zapis pierwszego i ostatniego echa; ang. *FE / LE*) przechowywane w plikach ograniczonych rozmiarem w terenie do kwadratu o boku 500 m. Podlegały one przetworzeniu w oprogramowaniu Terrascan (Terrasolid Ltd.) za pomocą makropoleceń w celu wyselekcjonowania punktów należących do klasy grunt. Klasa ta posłużyła do wygenerowania NMT metodą aktywnego trójkątowania (TIN). Model był niezbędny do normalizacji chmury punktów ALS, tj. doprowadzenia wysokości drzew i budynków do wartości względnych, a nie operowania rzędną wysokości n.p.m. Znormalizowaną chmurę punktów ALS poddano następnie działaniom algorytmów (oprogramowanie FUSION; McGoughy, 2007) generujących powierzchnię łączącą najwyższe z nich (zNMPT; ang. *nDSM*) z zachowaniem lokalnych maksimum i minimum, ale stosując odpowiednie filtry wygładzające. Wielkość piksela zNMPT przyjęto na poziomie 0.25 m. Badania prowadzono w 3 wariantach dla wartości piksela zNMPT, tj.: powyżej 1 m, 2 m oraz 3 m reprezentujących wysokość roślinności ponad gruntem. Analizy przestrzenne GIS przeprowadzono w środowisku ArcGIS (ESRI).

Działki, na których sukcesja roślinności o charakterze leśnym (drzewa i krzewy) zajmowała mniej niż 5% ich powierzchni (Tab. 1) wyłączono z dalszych analiz.

Tab. 1. Zestawienie liczebności i łącznej powierzchni analizowanych działek podlegających lub nie podlegających sukcesji leśnej w obszarze badań.

Działki ewidencyjne	wszystkie	analizowane podlegające sukcesji	nie podlegające sukcesji
Liczebność [szt.]	68	32	36
Łączna powierzchnia [ha]	68.57	40.92	27.65
Udział powierzchni [%]	100.0	59.7	40.3

W obszarze testowym znalazły się działki ewidencyjne z klaso-użytkami oznaczonymi w EGiB jako: Bz, Ls IV – V, Ł V, N, Ps IV – VI, R IVa,b – VI oraz Wp. Dla wyróżnionych użytków gruntowych określono, jaką łączną powierzchnię zajmują w terenie badań (Tab. 2):

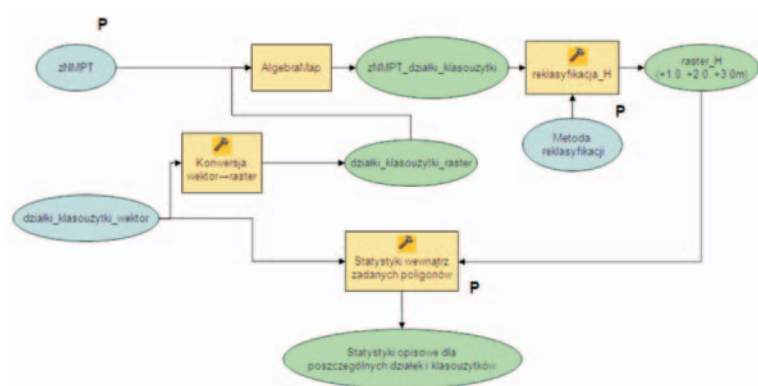
Tab. 2. Łączna powierzchnia poszczególnych użytków w analizowanych działkach (wg. EGİB).

Użytek	Łączna powierzchnia	
	wg. EGİB [ha]	Procent [%]
R	27.92	68.2
Ł	2.05	5.0
Ps	4.29	10.5
Ls, Lz	5.77	14.1
Bz	0.40	1.0
N	0.43	1.1
Wp	0.05	0.1
Razem	40.92	100.0

Grunty leśne oraz zadrzewione i zakrzewione (Ls oraz Lz) wg EGİB zajmują 5.77 ha co stanowi 14.1% obszaru poddanego dalszej analizie (40.92 ha) jako podlegającego wpływowi sukcesji roślinności o charakterze leśnym.

4. WYNIKI

Przygotowany w aplikacji Model Builder ArcGIS (ESRI) schemat (Rys. 3) automatycznego przetwarzania powierzchni generowanych na podstawie znormalizowanych chmur punktów ALS (zNMPT;), pozwolił na przeprowadzenie analiz przestrzennych GIS z zakresu modelowania rastrowego (Map Algebra) oraz wektorowego (Zonal Statistics).



Rys. 3. Model automatycznego przetwarzania produktów przetwarzania chmury punktów ALS (zNMPT) oraz danych EGİB na drodze analiz GIS.

W wyniku procesu fotointerpretacji i wektoryzacji ekranowej dokonanej przez operatora na barwnych ortofotografiach lotniczych VEXCEL, okazało się, iż grunty leśne (Ls) oraz zadrzewione i zakrzewione (Lz) zajęły łącznie 19.04 ha (Tab. 3). Stanowi to aż 46.5% obszaru analiz, czyli ponad trzykrotnie więcej niż wykazała baza EGiB (5.77 ha; 14.1%). Wektoryzacja obrazu „TrueOrtho” (TopoSys), wykazała jeszcze większą powierzchnię tej klasy, bo aż 19.68 ha (48.1%), co wynika z bardziej poprawnej geometrii koron drzew (nie przekraczają one tak znacznie granic działek jak w przypadku przesunięcia na ortofotografiach lotniczych). Różnica wynikająca z odmiennej technologii generowania tych ortoobrazów wynosi około 1.6% w przypadku powierzchni pokrytej wysokimi drzewami. Standardowo w tego typu opracowaniach używa się ortofotografii lotniczych bądź satelitarnych generowanych w oparciu o NMT, a więc zawierającej potencjalne błędy w przypadku geometrii obiektów wysokich (koron drzew). Błąd roślinie wraz z odległością drzewa od punktu głównego zdjęcia (Wężyk, Mansberger, 1998). Wektoryzacja koron w przypadku ortofotografii VEXCEL prowadziła do niewłaściwego wytyczenia granicy klaso-użytku, którego błąd osiągał czasem 3÷5 m (Rys. 4).

Automatyczne przetwarzanie danych zNMPT dowiodło, iż obszary pokryte roślinnością osiągającą wysokość powyżej 1.0 m, zajmują 19.84 ha. Stanowi to aż 48.5% obszaru testowego, czyli o 34.4% więcej niż podaje EGiB (Tab. 3). Stwierdzono, iż zNMPT reprezentujący pokrywę roślinną o wysokości powyżej 1.0 m nad gruntem, co daje rezul-

Tab. 3. Łączna powierzchnia użytków gruntowych w obszarze testowym określanych na podstawie analizy bazy EGiB, przetwarzania zNMPT oraz wektoryzacji ekranowej ortofotografii i obrazu TrueOrtho (TopoSys).

Użytek	Łączna powierzchnia [ha] / %						Różnica [ha] nNMPT (1m) – Ortho RGB (VEXCEL)
	EGiB referencja	zNMPT >1m	zNMPT >2m	zNMPT >3m	Ortho RGB Vexcel	TrueOrtho TopoSys	
R	27.93	16.91	18.44	19.91	17.34	16.71	-0.43 (-1.1%)
	68.3%	41.3%	45.1%	48.7%	42.4%	40.8%	
Ł	2.05	1.30	1.37	1.41	1.47	1.42	-0.17 (-0.4%)
	5.0%	3.2%	3.3%	3.4%	3.6%	3.5%	
Ps	4.29	2.45	2.61	2.79	2.63	2.71	-0.19 (-0.5%)
	10.5%	6.0%	6.4%	6.8%	6.4%	6.6%	
Ls, Lz	5.77	19.84	18.06	16.35	19.04	19.68	0.80 (1.9%)
	14.1%	48.5%	44.1%	40.0%	46.5%	48.1%	
Bz	0.40	0.02	0.03	0.04	0.00	0.00	0.02 (0.1%)
	1.0%	0.1%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	
N	0.43	0.38	0.39	0.40	0.41	0.38	-0.03 (-0.1%)
	1.1%	0.9%	1.0%	1.0%	1.0%	0.9%	
Wp	0.05	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00 (0.0%)
	0.1%	0.0%	0.0%	0.1%	0.1%	0.1%	
SUMA	40.92						0.00 (0.0%)
	100%	100%	100%	100%	100%	100%	



Rys. 4. Niewłaściwa lokalizacja zasięgu koron drzew na ortofotografii wynikająca z technologii jej generowania opartej o NMT (żółta linia – wektor EGiB).

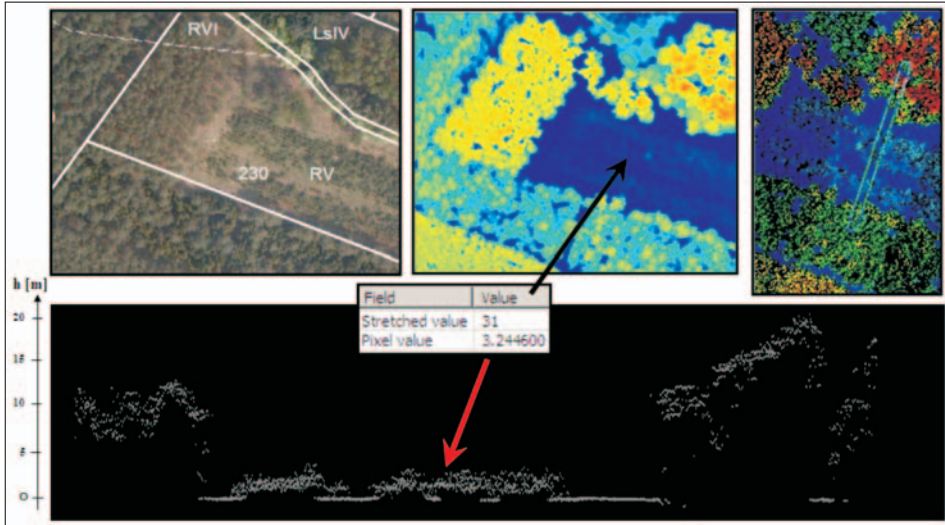
taty najbardziej zbliżone do pochodzących ze wzrokowej fotointerpretacji obrazu ortofotografii lotniczych (różnica 1.9%) oraz TrueOrtho. Dla wariantów zNMPT >2.0 m oraz >3.0 m, analizy wykazały istnienie szaty roślinnej na obszarze odpowiednio: 18.06 ha (44.1%) i 16.35 ha (40.0%).

Analizując wyniki automatycznego przetwarzania warstwy rastrowej zNMPT oraz analiz przestrzennych GIS, można stwierdzić, iż grunty leśne (Ls) oraz zadrzewione i zakrzewione (Lz) zajęły 11.02 ha (26.9%) powierzchni użytku rola (R), 1.84 ha (4.5%) pastwisk (Ps) oraz 0.75 ha (1.8%) łąk (Ł). Nowo zinwentaryzowane grunty leśne (Ls) oraz zadrzewione i zakrzewione (Lz) powstały: w 78.3% z użytku rola (R), 13.1% pastwisk (Ps) oraz 5.3% łąk (Ł).

5. WNIOSKI

Praca miała na celu wykazanie możliwości wsparcia stosowanych obecnie metod kontroli „Foto” danymi z lotniczego skaningu laserowego (ALS). Automatyzacja przetwarzania danych ALS może znacząco przyspieszyć prace na etapie wyboru działek do kontroli, a zarazem przyczynić się do szybszego przeprowadzenia wywiadu terenowego. Automatyzacja wybranych etapów kontroli metodą „Foto” jest możliwa przy wykorzystaniu produktów przetwarzania chmury punktów ALS, takich jak zNMPT oraz analiz przestrzennych GIS wykorzystujących dane EGiB. Fotointerpretacja lotniczych ortofotografii zwykle generowanych w oparciu o NMT powoduje problemy z geometrią wysokich obiektów (drzew). Dodatkowym utrudnieniem jest pozyskiwanie materiałów fotolotniczych wczesną wiosną, co potęguje problemy fotointerpretacyjne (brak aparatu asymilacyjnego u drzew liściastych). Subiektywizm fotointerpretatora materiałów

lotniczych (2D) można znacznie ograniczyć w sytuacji dostępności chmury punktów ALS lub choćby produktów ich przetwarzania (Rys. 5).



Rys. 5. Wykorzystanie danych ALS w procesie interpretacji (u góry od lewej: ortofotografia RGB, zNMPT, chmura punktów ALS 2D; u dołu profil poprzeczny ALS).

Sukcesja zbiorowisk roślinnych o charakterze leśnym na gruntach rolnych w Polsce ma charakter powszechny, a technologia ALS może dostarczać precyzyjnych informacji o tym procesie. Dane ALS są doskonałym narzędziem do analizowania „historii” zmian poszczególnych działek, co ma ogromne znaczenie w sytuacjach odwoławczych czy wręcz procesowych. Poza sukcesją roślin drzewiastych, obserwuje się też często takie zjawiska jak: wycinanie czy wypalanie lasu lub zarośli w celu uzyskania dopłat. Mają one charakter niekontrolowany i negatywny w znaczeniu ekologicznym. Badania wykazały także możliwości aktualizacji EGiB w zakresie budynków wskazując jednocześnie na problemy związane z dynamiką zmian zachodzących w krajobrazie i aktualizacją map topograficznych. Automatyczna kontrola bazująca na klasyfikacji obrazów lotniczych czy satelitarnych wsparta informacją o wysokościach obiektów, wydaje się wręcz koniecznością w kontekście cyklicznego procesu monitoringu i kontroli obszarów rolniczych w Polsce. Problemem jest jedynie fakt, iż zastosowanie danych ALS w skali całego kraju, w obecnej chwili nie wydaje się być możliwe, ze względu na koszty ich pozyskania i przetworzenia. Wskazane jest jednak wykorzystanie danych ALS do automatyzacji procesu kontroli metodą „Foto” w obszarach gdzie dane te już pozyskano. Należy mieć nadzieję, iż wprowadzenie technologii kamer cyfrowych w Polsce przy nalotach wykonywanych dla ARiMR, spowoduje użycie odpowiednich algorytmów (ang. *stereo-matching*)

do generowania NMPT (oraz zNMPT), co zastąpić może dane ALS w określonych sytuacjach. Będzie to przedmiotem kontynuowanych prac nad zjawiskiem sukcesji leśnej, która ma również niezmiernie pozytywne znaczenie w aspekcie produkcji biomasy i sekwestracji węgla.

6. LITERATURA

- Agencja Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa, 2009. <http://www.arimr.gov.pl>
- de Kok R., Wężyk P., 2008. Principles of full autonomy in image interpretation. The basic architectural design for a sequential process with image objects. [w:] Blaschke Th., Lang S., Hay G.J. (red.), *Object-Based Image Analysis*. Series: Lecture Notes in Geoinformation and Cartography. Springer Berlin Heidelberg, s. 697-710.
- McGaughey R. J., 2007. *Fusion/LDY: Software for lidar data analysis and visualization*. Software manual. USDA Forest Service. Pacific Northwest Research Station.
- Rozporządzenie Ministra Rozwoju Regionalnego i Budownictwa z dnia 29 marca 2001 r. w sprawie ewidencji gruntów i budynków (Dz. U. Nr 38, poz. 454 z późn. zmianami).
- Ustawa z dnia 18 grudnia 2003 r. o płatnościach bezpośrednich do gruntów rolnych (Dz. U. z 2004 r. Nr 6, poz. 40).
- Wencel A., Wężyk P., Zasada M., 2008. Możliwości zastosowania naziemnego skaningu laserowego w leśnictwie. [w:] Zawila-Niedźwiecki T., Zasada M. (red.), *Techniki geomatyczne w inwentaryzacji lasu – potrzeby i możliwości*, Wydawnictwo SGGW, s. 77-89.
- Wężyk P., Borowiec N., Szombara S., Wańczyk R., 2008a. Generowanie numerycznych modeli powierzchni oraz terenu w Tatrach na podstawie chmury punktów z lotniczego skaningu laserowego (ALS). Geoinformacja obrazowa w świetle aktualnych potrzeb. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 18, s. 651-661.
- Wężyk P., Mansberger R., 1998. Techniki fotogrametrii cyfrowej i GIS w ocenie degradacji drzewostanów świerkowych w masywie Kudłonia w Gorcach. *Archiwum Fotogrametrii Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 8, s 1-10.
- Wężyk P., Tompalski P., Szostak M., Glista M., Pierzchalski M., 2008b. Describing the selected canopy layer parameters of the Scots pine stands using ALS data. 8th international conference on LiDAR applications in forest assessment and inventory. Sept. 17-19. 2008 – Edinburgh, UK, s. 636-645.
- Wężyk P., de Kok, R., 2007. Putting Research into Practice - Developing the Process Chain for Data Fusion in the Municipality of Krakow. [w:] Car A., Griesebner G., Strobl J. (red.), *Geospatial Crossroads @ GI_Forum*. Herbert Wichmann Verlag, Hüthig GmbH & Co. KG, Heidelberg, s. 176-181.
- Chain for Data Fusion in the Municipality of Krakow. [w:] Car. A., Griesebner G., Strobl J. (red.), *Geospatial Crossroads @ GI_Forum*. Herbert Wichmann Verlag, Hüthig GmbH & Co. KG, Heidelberg, s. 176-181.

COMPARISON OF THE ACCURACY OF THE “PHOTO” CHECK METHOD WITH AUTOMATIC ANALYSIS BASED ON ALS DATA FOR DIRECT CONTROL OF SUBSIDY PAYMENT

KEY WORDS: direct subsidies, „Photo” method, orthophoto, airborne laser scanning (ALS)

SUMMARY: Every year about 1.5 mln Polish farmers submit applications for direct subsidies from EU money. The mechanism of management and control of these subsidies is very often based on geoinformation technologies being a part of an IACS system. The verification of the applications submitted is done by field measurements (RFV) or by using the so called „Photo” method. Both of these are based on the LPIS (Land Parcel Identification System) data. During 2008 about 107,000 farms in Poland were checked using the „Photo” method, based on satellite or aerial images. The number of anomalies was highest in the Dolnośląskie voivodeship (19%). The paper presents results from a test site located in Milicz. In 2007 airborne laser scanning was performed and orthophotos were created based on aerial images (VEXCEL camera). The test site consisted of 68 parcels (68.57 ha), divided in 13 classes of land-use type. According to the cadastral system (EGiB), the class forest occupies 5.77 ha (14.1%) of test area. Using orthophoto and vector layer of parcels, the operator vectorized areas with forest succession which are not eligible for subsidies. The results show that the forest class occupies an area over 3 times larger (19.04 ha) than in the EGiB data base. The GIS analyses were also performed based on nDSM generated from the ALS point cloud. Three approaches were used with different heights of vegetation (1, 2 and 3 m). The analysis was done automatically using ArcGIS (ESRI). The results indicate that there is only a small difference between the “Photo” method and the automatic method based on ALS (19.84 ha). Automatic verification based on classification of aerial or satellite images, supported by information about the height of objects, is recommended for periodic monitoring and control of agricultural areas in Poland.

dr inż. Piotr Wężyk
rlwezyk@cyf-kr.edu.pl
telefon: +48 12 6625082
fax: +48 12 4119715

dr inż. Marta Szostak
rlszosta@cyf-kr.edu.pl
telefon: +48 12 6625076
fax: +48 12 4119715

mgr inż. Piotr Tompalski
piotr.tompalski@ur.krakow.pl
telefon: +48 12 6625076
fax: +48 12 4119715

* wersja kolorowa artykułu jest dostępna na stronie <http://www.sgp.geodezja.org.pl/ptfit>

**ZASTOSOWANIE LOTNICZEGO SKANINGU LASEROWEGO
W OKREŚLANIU ZWARCIA KORON DRZEW
NA PLANTACH KRAKOWSKICH***

**DESCRIBING CANOPY CLOSURE IN KRAKOW'S PLANTY PARK
USING AIRBORNE LASER SCANNING**

Piotr Wężyk, Elżbieta Wawrzeczko

Laboratorium GIS i Teledetekcji, Wydział Leśny, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

SŁOWA KLUCZOWE: lotniczy skaningu laserowy (ALS), zieleń miejska, zwarcie koron drzew

STRESZCZENIE: Zieleń w aglomeracjach miejskich odgrywa bardzo ważną rolę spełniając wiele funkcji mikroklimatycznych (produkcja tlenu, ocienienie) estetycznych czy ochronnych (np. przed hałasem, emisjami gazowymi i pyłowymi). Struktura pionowa i pozioma roślinności krzewiastej i drzewiastej, definiowanej jako podstawowy element zieleni miejskiej, decyduje o jej funkcjach. Waloryzacja przestrzeni miejskiej pod kątem zieleni polega na pozyskiwaniu wybranych parametrów dla dużych obszarów miejskich przy użyciu technologii teledetekcyjnych, przykładem których jest lotniczy skaningu laserowy (ALS). Praca stanowi próbę automatycznego określenia parametru zwarcia klasy „drzew wysokich” (powyżej 15 m wysokości) oraz zwarcia całej klasy „warstwa roślinności” (powyżej 5 m wysokości), na podstawie analiz chmury punktów ALS oraz ortofotografii lotniczych. Obszar testowy (3.47 ha) obejmował fragment parku miejskiego „Planty” w Krakowie. Dane ALS pozyskano w 2004 roku z pułapu śmigłowca, używając skanera TopEye oraz kamery cyfrowej średniego formatu. Analizy zwarcia „drzew wysokich” prowadzono bezpośrednio na chmurze punktów ALS (w oprogramowaniu Terrasolid Ltd). W celu określenia zwarcia klasy „warstwa roślinności” przeprowadzono wektoryzację ekranową lotniczej ortofotomapy oraz analizowano NMPT (ang. *DSM*) w oprogramowaniu TreesVis (LAU, Freiburg). Dokładność określenia zwarcia „drzew wysokich” jak i warstwy roślinności przy użyciu Terrasolid okazała się niezadowolająca. Bardzo wysoką dokładność zwarcia „warstwy roślinności” uzyskano natomiast stosując wektoryzację ekranową ortofotomapy (błędy na poziomie 0-3% w stosunku do danych referencyjnych jakimi były pomiary terenowe). Zadowolające wyniki uzyskano metodami automatycznymi bazującymi na NMPT (ALS) w wariantach rozdzielczości: 1.0 m, 0.5 m lub 0.25 m (z filtrem Gaussa 3x3 piksele) oraz 1.0 m (z filtrem Gaussa 5x5 pikseli). Praca dowiodła wysokiej przydatności technologii ALS oraz cyfrowej fotogrametrii w aspekcie oceny zwarcia klasy „warstwa roślinności” oraz procesu automatyzacji przy zachowaniu jego obiektywizmu.

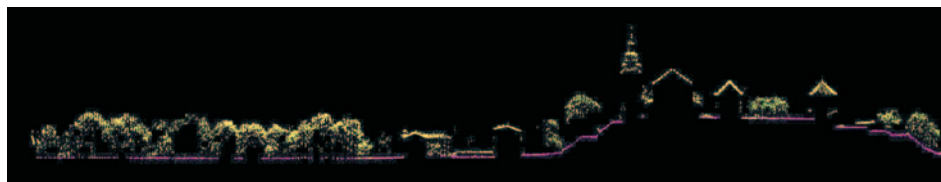
1. WPROWADZENIE

Zwarcie koron drzew zieleni miejskiej nie należy zwykle do parametrów określanych podczas tradycyjnej inwentaryzacji, choć można o nim wnioskować na podstawie innych pozyskiwanych cech, takich jak lokalizacja oraz zasięg korony. Zwarcie koron drzew czy krzewów decyduje o spełnianiu przez zieleni miejską m.in. funkcji klimatycznych bądź ochronnych, np. przed spalinami ze samochodów czy hałasem (Miller, 1997; Mc Person *et al.*, 1994; Czerwieńiec, Lewińska, 1996). Prace terenowe są bardzo czasochłonne, stąd należałoby rozważyć określanie tego typu parametrów w sposób automatyczny, szczególnie dla większych obszarów aglomeracji miejskich. Obiecujące wyniki badań dotyczących zastosowania technik teledetekcyjnych, w tym głównie lotniczego skaningu laserowego (ang. *Airborne Laser Scanning*; ALS) w leśnictwie, dają podstawę sądzić, że również parametry dotyczące zieleni miejskiej mogą być z powodzeniem określane przy ich zastosowaniu (Wężyk, 2006, 2008). Literatury dotyczącej zastosowań ALS w analizach zieleni miejskiej jest jeszcze niezbyt wiele i nie prezentuje ona badań z zakresu określania zwarcia. Istnieją natomiast badania z zakresu szacowania wysokości drzew (Imai *et al.*, 2004) jak też objętości zieleni miejskiej (Meinel *et al.*, 2006) oraz klasyfikacji terenów zielonych (Weidner, 2006). Wyniki wymienionych badań wskazują, że ALS może być przydatnym narzędziem w miejskich zastosowaniach przyrodniczych.

Celem pracy było zaprezentowanie możliwości wykorzystania technologii lotniczego skaningu laserowego (ALS) zintegrowanego z wysokorozdzielczymi zdjęciami lotniczymi w określaniu zwarcia poziomego „drzew wysokich” oraz „warstwy wegetacji”. Parametry te zostały porównane z danymi referencyjnymi pozyskanymi na drodze pomiarów terenowych oraz z wykorzystaniem cyfrowej ortofotomapy lotniczej.

2. TEREN BADAŃ

Teren badań zlokalizowano w południowej części ogrodu miejskiego zwanego popularnie „Plantami”, którego założenie sięga 1820 roku. Otaczają one zwartym pierścieniem (niegdyś fosy i mury miejskie), Stare Miasto w Krakowie. Obszar badań o powierzchni 3.47 ha, stanowił fragment pomiędzy ulicami: Franciszkańską a Podzamcze w bezpośrednim sąsiedztwie Wawelu (Rys. 1).



Rys. 1. Profil N-S przez chmurę punktów ALS. Obszar analiz od lewej po Wzgórze Wawelskie (po prawej).

3. METODYKA

3.1. Nalot fotogrametryczny i ALS

Testowe dane ALS oraz zdjęcia cyfrowe pozyskano (firma Eurosystem) w październiku 2004 roku na zlecenie Urzędu Miasta Krakowa dla niewielkiego fragmentu Starego Miasta. Użyto w tym celu skanera TopEye MkII (częstotliwość 50 kHz) zamontowanego w śmigłowcu. Średnia względna wysokość lotu wyniosła 530 m, a prędkość ok. 45 km/h. Szerokość jednego pasa (skanu) nalotu wynosiła 200 m (pokrycie podłużne 25%). Dla obszaru badań dysponowano chmurą 1 513 939 punktów (XYZ) w odwzorowaniu UTM 33N. Średnia gęstość chmury ALS przekroczyła 12 pkt/m². Dane dostarczono w formacie binarnym pakietu oprogramowania Terrasolid. Wykorzystano także cyfrowe zdjęcia lotnicze (format TIF; RGB, piksel 8 cm, 8 bit) wykonane kamerą średniego formatu (Hasselblad).

3.2. Prace terenowe

Pomiary terenowe wykonywane były od marca do października 2006. Obejmowały określenie gatunku każdego drzewa oraz pomiar jego: pierśnicy (średnica lub obwód na wysokości 130 cm od gruntu), położenia, wysokości, a także zasięgu korony wyznaczonego w 8 kierunkach. Pomiary sytuacyjne wykonywano za pomocą tachimetru poprzez określenie kąta poziomego oraz odległości do środka pnia drzewa mierzonych z danego stanowiska. W terenie zastabilizowano 11 stanowisk pomiarowych. Oprócz pomiarów biegunowych drzew, z każdego stanowiska wykonywano domiar do minimum 3 latarni, jako punktów dostosowania. Pomiary wysokości drzew wykonywano wczesną wiosną (wysokościomierz Verte; Hagloef; 25 cm dokładności).

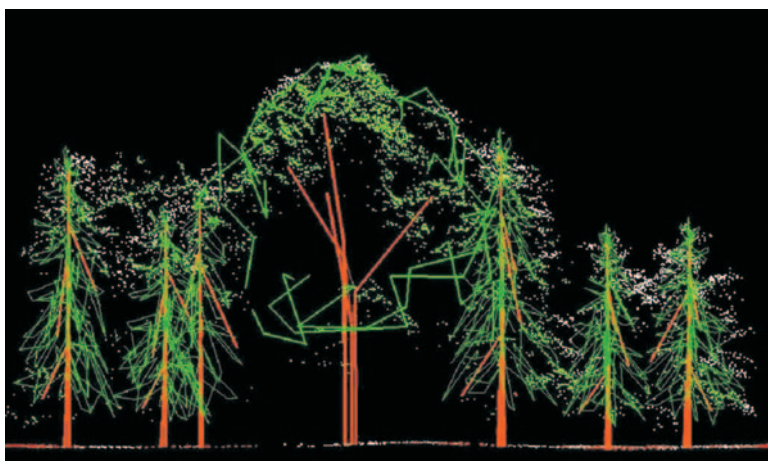
3.3. Prace kameralne

Współrzędne (XY) stanowisk pomiarowych obliczono metodą tzw. wcięcia wstecz na podstawie latarni, których lokalizacja była możliwa do pozyskania z mapy zasadniczej (UMK). Na podstawie danych terenowych wygenerowano w oparciu o przygotowany wcześniej algorytm 2 warstwy referencyjne (SHAPE ESRI), tj.: punktową przedstawiającą pozycje pni drzew oraz poligonową z rzutami ich koron. Do bazy geometrycznej na drodze relacji dołączono tabele atrybutowe z parametrami każdego drzewa (gatunek, wysokość, podstawa korony oraz obwód pnia na wysokości 1.3 m). Obszar badań podzielono na 14 mniejszych fragmentów o typowym dla siebie układzie architektonicznym, wyznaczonych przebiegiem ścieżek na Plantach.

3.4. Metodyka określania parametru zwarcie dla klasy „drzew wysokich”

W terenie badań wysokość drzew była zróżnicowana, ale nie występowała wyraźna piętrowość, jak w typowych drzewostanach. Zdecydowano się obliczać parametr zwarcia tylko dla klasy „drzew wysokich”, za które uznano drzewa osiągające powyżej 15 m

wysokości. Powierzchnię rzutów ortogonalnych koron drzew wysokich określono na podstawie pomiarów terenowych i analiz GIS. Dane ALS obejmujące teren badań wyselekcjonowano granicami (wektorem) 14 fragmentów dbając jednocześnie o to by korony drzew „wyrastających” granicę opracowania poddane zostały analizie. W celu wygenerowania NMT, chmurę punktów ALS poddano klasyfikacji algorytmem „grunt” (ang. *ground*) z wykorzystaniem aktywnego modelu TIN stosując domyślne parametry. Kolejnym krokiem była klasyfikacja wykonana algorytmem wykrywania drzew w chmurze punktów ALS - „*detect trees*” prowadzona w dwóch wariantach. Pierwszy z nich „Tscan BS” wykorzystywał wektorowe wzorce typów korony drzew: „Brzoza” oraz „Świerk” łącznie (przykład wyniku klasyfikacji na Rys. 2). Drugi „Tscan B” korzystał wyłącznie z typu „Brzoza”. Dla tego ostatniego wariantu spodziewano się osiągnąć lepsze rezultaty ze względu na charakter Plant (dominacja liściastych gatunków drzew). Parametry automatycznej detekcji drzew jakie zastosowano to: wysokość minimalna – 5 m, wysokość maksymalna – 50 m, zmienność szerokości korony 30% oraz wysokość wierzchołka: 0.4 m powyżej najwyższego punktu ALS w obrębie zwartej korony. W wyniku działania algorytmu powstały 2 pliki DGN (wariantu „Tscan BS” oraz „Tscan B”) opisujące zasięgi koron drzew (3D). Zaimportowano je do oprogramowania ArcMap ESRI i przekonwertowano do pliku SHAPE (2D), uzyskując wieloboki tworzące rzuty koron drzew wykrytych automatycznie. Posłużyły one od określenia stosunku sumy rzutów (po uprzedniej analizie „*Dissolve*” przenikających się koron) do powierzchni każdego z 14 fragmentów obszaru badań. Do analiz przestrzennych selekcjonowano drzewa o wysokości powyżej 15 m. Statystyczną ocenę dokładności obu automatycznych metod wykrywania drzew („Tscan BS” oraz „Tscan B”) przeprowadzono dla 14 fragmentów w oparciu o test parametryczny (t-Studenta) dla modelu o rozkładzie normalnym oraz nieparametryczny (Wilcoxon) dla modelu o rozkładzie różnym od normalnego.



Rys. 2. Efekt automatycznego wykrywania drzew algorytmem „Tscan BS” na profilu chmury punktów ALS.

W programie Statistica przetestowano hipotezę o braku istotnych różnic między zwarcie uzyskanym dla 14 fragmentów terenu badań na podstawie danych terenowych, oraz w oparciu o automatyczną detekcję metodami „Tscan BS” oraz „Tscan B”.

3.5. Metodyka określania zwarcia dla klasy „warstwa wegetacji”

Jako „warstwę wegetacji” rozumie się w niniejszej pracy roślinność przekraczającą 5 m wysokości. Wartość tą determinowało niemieckie oprogramowanie TreesVis uznające obiekt za drzewo od tej progowej wysokości. Parametr zwarcia dla klasy „warstwa wegetacji” obliczono na podstawie pomiarów terenowych oraz na drodze manualnej wektoryzacji ortofotomapy („ORTO”) i metod automatycznych wykorzystujących oprogramowanie TreesVis i Terrascan. Pomiaru terenowe posłużyły podobnie jak w przypadku klasy „drzew wysokich” jako warstwa referencyjna. Poligony otrzymane na drodze wektoryzacji ekranowej obszaru objętego ortofotomapą (7 fragmentów) po skontrolowaniu poprawności topologicznej przecięto z analizowanymi fragmentami i określono zwarcie „warstwy wegetacji”. Automatyczna metoda polegała na sumowaniu powierzchni koron drzew uzyskanych z wykorzystaniem programu TreesVis oraz skryptu do wyodrębniania koron, tzw. „delineacji” (ang. *delineation*), stworzonego przez Wang na Uniwersytecie Alberta Ludwika we Freiburgu (Niemcy). Skrypt ten bazował na oprogramowaniu Halcon (MVTec Software). Algorytm testowano na zNMPT (znormalizowany Numeryczny Model Powierzchni Terenu) o rozdzielczościach 0.25 m, 0.5 m, 1 m i 2 m, przy czym modele w rozdzielczościach 0.25÷1m dodatkowo wygładzono filtrami dolnoprzepustowymi Gaussa o macierzy 3x3, 5x5 i 7x7. Model zNMPT wygenerowano uprzednio w programie TreesVis na podstawie chmury punktów ALS. Uzyskane na tej drodze korony drzew poddano identycznym analizom GIS jak wyżej. Powierzchnię rzutu koron dla drzew wykrytych za pomocą programu Terrascan uzyskano przez „rozpuszczenie” granic między poligonami koron wykrytych, tak jak dla „drzew wysokich” („Tscan BS” oraz „Tscan B”). Dla uzyskanych zestawów danych przeprowadzono test parametryczny t-Studenta dla prób zależnych, gdyż rozkład zmiennej dla wszystkich metod nie różnił się istotnie od normalnego.

4. WYNIKI I DYSKUSJA

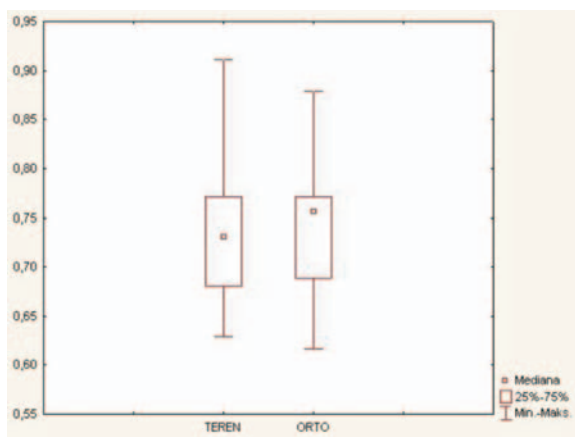
4.1. Wyniki określania zwarcia poziomego dla klasy „drzew wysokich”

Uzyskana automatyczną metodą „Tscan BS” i „Tscan B” suma powierzchni rzutów koron okazała się zawyżona w stosunku do danych referencyjnych. Błędy dla algorytmu „Tscan BS” wahały się w zakresie 0.25÷0.78 (średnia dla całego terenu +0.49). Jako zwarcie pełne rozumie się wartość 1.00. Drugi wariant „Tscan B” dawał już nieco mniejszy zakres 0.14÷0.59 (średnia 0.40). Wydaje się, że błędy wynikają z jednej strony z zawyżania powierzchni koron przez algorytm, a z drugiej z detekcji zbyt dużej liczby drzew. Szczególnie metoda „Tscan BS” obciążona była błędem polegającym na

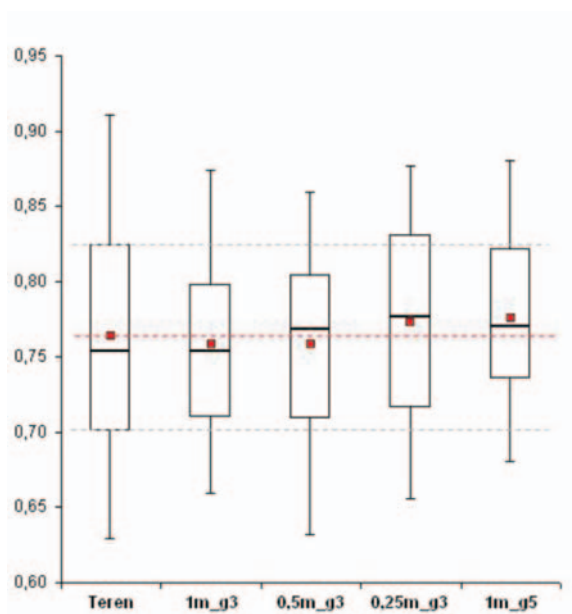
rozpoznawaniu wierzchołków drzew liściastych jako dodatkowych „Świerków” w centrum korony tych drzew, co wynikać może z faktu iż w większości przypadków stan zdrowotny tych osobników pozostawia dużo do życzenia (duża liczba podkoron). Dokładność tej metody obniżał również fakt, iż w programie Terrascan każdemu wykrytemu drzewu przyporządkowywany jest ten sam model kształtu korony (dla „Świerka” w rzucie pięciokąt, dla „Brzozy” – ośmiokąt), o wielkości zależnej od wielkości wykrytego drzewa. Program nie uwzględnia zatem indywidualnego przebiegu krawędzi korony. Wyniki nie potwierdziły także przypuszczenia, że metoda automatyczna sprawdzi się w sytuacjach silnego zwarcia przekraczającego wartość 1.0 (przenikanie się koron). Algorytm „Tscan BS” dla fragmentu nr 13 o zwarciu 1.32 wykazał różnicę 0.25, natomiast dla fragmentu nr 3 (rzeczywiste zwarcie 0.64) różnicę sięgającą aż 0.44. W badaniach Lim *et al.*, (2003) zwarcie poziome obliczano na podstawie równania regresji dla dwóch zmiennych, a następnie porównywano z pomiarami terenowymi. Obie zmienne były parametrami uzyskanymi z chmury punktów ALS dla poszczególnych powierzchni próbnych. Pierwszą zmienną stanowiła średnia wysokość chmury punktów ALS, a drugą średnia wysokość dla punktów odfiltrowanych na podstawie określonego progu intensywności odbicia. Na podstawie stworzonego równania stwierdzono wprawdzie, że stopień wyjaśnienia wariancji zwarcia poziomego przez obie zmienne wynosi aż 89%, jednak brak normalności rozkładu reszt sprawia, że uzyskane równanie nie jest istotne. Trudno więc odnieść się do tego wyniku. W każdym razie dokładność metod określania zwarcia poziomego metodami „Tscan B” i „Tscan BS” okazała się być niezadowolająca. Udoskonalenie algorytmu wykrywania drzew w programie Terrascan poprzez wzbogacenie o wektorowe wzorce typów korony większej liczby drzew jak i dopasowanie wstawianych modeli 3D drzew do indywidualnych cech osobników mogłoby poprawić jego dokładność.

4.2. Wyniki określania zwarcia dla klasy „warstwa wegetacji”

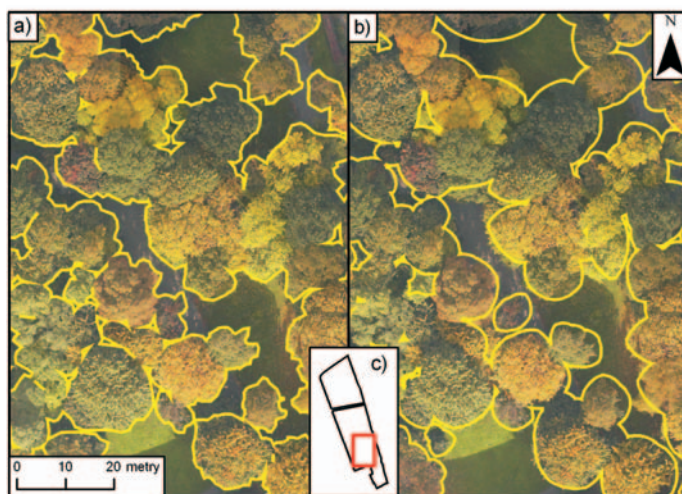
Porównanie rozkładu zmiennych uzyskanych metodą manualną „ORTO” i metodami automatycznymi w poszczególnych fragmentach terenu badań z danymi referencyjnymi, a także wyniki testów statystycznych pozwoliły stwierdzić, najwyższą dokładność metod: „ORTO”, „1m_g3”, „05m_g3”, „025m_g3” oraz „1m_g5” (gdzie np. g3 oznacza zastosowanie filtru Gaussa w oknie 3x3 piksele). Zakresy zmienności zwarcia dla klasy „warstwa wegetacji” uzyskane metodą „ORTO” w największym stopniu pokrywają się z danymi referencyjnymi (Rys. 3). Nieco gorzej, choć również zadowolająco, wypadły metody „1m_g3”, „05m_g3”, „025m_g3” oraz „1m_g5” (Rys. 4). Metoda „ORTO” generowała nieduże błędy (0.00 ± 0.03), a przy porównaniu poligonów otrzymanych na podstawie pomiarów terenowych z wynikiem wektoryzacji ortofotografii nasuwa się wręcz wątpliwość, czy rzeczywiście dane pozyskiwane tradycyjnymi metodami powinny być traktowane jako referencja (Rys. 5). Wektoryzacja koron na ortofotomapie jest dokładniejszym sposobem pozyskiwania informacji o zwarcu warstwy wegetacji, niż czasochłonne pomiary rzutów koron w 8 kierunkach. Należy jednak pamiętać, że zastosowanie tej metody w ocenie zwarcia poziomego jest ograniczone, m.in. z uwagi na to, że jest ono określane dla poszczególnych pięter, których nie da się wyznaczyć wyłącznie



Rys. 3. Rozkład zmiennej zwarcie dla klasy „warstwa wegetacji” określonej na podstawie pomiarów terenowych („TEREN”) oraz metody wektoryzacji ekranowej „ORTO”.



Rys. 4. Rozkład parametru zwarcie określonego dla klasy „warstwa wegetacji” automatycznymi metodami bazujących na zNMPT o różnej rozdzielczościach i zastosowanych filtrach wygładzających. Czerwona przerywana linia oznacza wartość średnią dla danych referencyjnych (teren), a liniami przerywanymi zaznaczono pierwszy i trzeci kwartył.



Rys. 5. Obrys koron drzew o wysokości powyżej 5 m wykonany metodą ekranowej wektoryzacji ortofotomapy (a - z lewej) oraz na podstawie pomiarów terenowych rzutów koron w 8 kierunkach (b - z prawej) dla fragmentu terenu badań (c).

na podstawie ortofotomapy. Problem pojawia się również w przypadku przenikania się koron drzew, które uniemożliwiają ich dokładną wektoryzację. W takim jednak przypadku można posiłkować się przekrojami przez chmurę punktów ALS jeśli tego typu dane są dostępne.

Na podstawie wyników uzyskanych dla metod automatycznych można wnieść wniosek, że uzasadniona jest filtracja otrzymanych w programie TreesVis modeli (NMPT), przy czym filtr Gaussa o macierzy 3x3 piksele wydaje się być wystarczający. Żaden z zastosowanych modeli, który nie został poddany filtracji nie okazał się być dostatecznie dokładny. Można przypuszczać, że wygładzanie koron dokonane w oprogramowaniu TreesVis (głównie dedykowane drzewom iglastym), w przypadku gatunków liściastych okazało się niewystarczające. Wyniki uzyskane metodami „ORTO” (błąd $0.01 \div 0.03$) „1m_g3” ($0.01 \div 0.07$), „05m_g3” ($0.01 \div 0.06$), „025m_g3” ($0.01 \div 0.1$) oraz „1m_g5” ($0.01 \div 0.09$) są satysfakcjonujące i kwalifikują omawiane metody do praktycznego stosowania (Rys. 3). Szczegółowa analiza wyników metod bazujących na zNMPT wykazała, iż im mniejszy był piksel modelu (0.25 m oraz 0.5 m) tym dokładniej oddawał on kształt korony. Zdarzało się jednak, że wykazywano nie istniejące w rzeczywistości luki przez fakt zbyt dużego uszczegółowienia modelu. Być może lepszy wynik można by uzyskać dokonując delineacji koron na wysokorozdzielczym zNMPT, a następnie zastosować algorytm wypełniający luki o niewielkiej powierzchni.

5. WNIOSKI

Dokładność określania parametru zwarcia poziomego dla klasy „drzew wysokich” oraz „warstwy wegetacji” automatycznymi metodami „Tscan B” oraz „Tscan BS” jest niezadowolająca. Przyczyna tego tkwi w zawyżaniu liczby drzew przez automatyczny algorytm „*detect trees*”, jak również w braku precyzji odwzorowania kształtu korony poszczególnych analizowanych drzew. Błędy tej metody można by ograniczyć poprzez wykorzystanie większej liczby wzorców typów koron (różne biblioteki gatunków) oraz indywidualne modelowanie koron drzew. Nie wydaje się jednak by programiści Terrasolid byli zainteresowani udoskonalaniem algorytmu, który z założenia ma działać schematycznie, wspomagając wizualizację 3D miast, w oparciu o gotowe biblioteki wektorowych drzew.

Przeprowadzone badania dowiodły wysokiej dokładności w określaniu parametru zwarcia dla klasy „warstwa wegetacji” w oparciu o metody:

- manualne bazujące na wektoryzacji ortofotografii lotniczej („ORTO”),
- automatyczne wykorzystujące segmentację zNMPT wygenerowanego w różnej rozdzielczości i oznaczonych jako: „1m_g3”, „05m_g3”, „025m_g3” oraz „1m_g5”.

Metody te z całą pewnością można wykorzystać w praktyce wspomagając tym samym prace inwentaryzacyjne prowadzone dla zieleni miejskiej. Jednocześnie nasuwa się bardzo ważne pytanie, czy tradycyjne pomiary rzutów koron drzew przeprowadzane w 8 kierunkach, nie powinny być zastąpione wektoryzacją ekranową ortofotomapy lub automatycznym przetwarzaniem chmury punktów ALS.

Zastosowanie filtra dolnoprzepustowego w dalszym przetwarzaniu zNMPT poprawia wyniki detekcji koron drzew. Uzasadnione jest zatem wygładzenie modeli przy użyciu tego rodzaju filtrów. Wydaje się też, iż jeszcze lepsze wyniki można będzie uzyskać w sytuacji udoskonalenia metody wypełniając luki o niewielkiej powierzchni powstające na wysokorozdzielczym modelu.

Lotniczy skaningu laserowy ALS dostarcza danych, które świetnie nadają się do wykorzystania w precyzyjnym określaniu zwarcia warstwy wegetacji (wysokiej zieleni miejskiej) w sposób automatyczny. Jednoczesne wykonywanie zdjęć cyfrowych kamerami lotniczymi gwarantuje wzajemne uzupełnianie się tych metod. Zastosowanie ALS oraz cyfrowych lotniczych ortofotografii w inwentaryzacji zieleni miejskiej prowadzonej na dużą skalę jest w pełni uzasadnione i przynosi poza oszczędnością czasu i środków finansowych przede wszystkim obiektywizm.

6. LITERATURA

Czerwieniec M., Lewińska J., 1996. *Zieleń w mieście*. Instytut Gospodarki Przestrzennej i Komunalnej. Warszawa.

Imai Y., Setojima M., Yamagischi Y., Fujiwara N., 2004. Tree-height Measuring Characteristics of Urban Forests by Lidar Data Different In Resolution. *Geo-Imagery Bridging Continents*. XXth ISPRS Congress Istanbul, Turkey 12-23.07.04, s. 513-516.

Lim K., Treitz P., Baldwin K., Morrison I., Green J., 2003. Lidar remote sensing of biophysical properties of tolerant northern hardwood forests. *Canadian Journal of Remote Sensing*, Vol. 29 (5), s. 658-678.

McPherson E. G., Nowak D. J., Rowntree R. A., 1994. Atmospheric Carbon Dioxide Reduction by Chicago's Urban Forest. *Chicago's Urban Forest Ecosystem: Results of the Chicago Urban Forest Climate Project*. Gen. Tech Rep. NE-186. Radnor, PA: USDA Forest Service, NEFES.

Meinel G., Hecht R., Socher W., 2006. Städtisches Grünvolumen – neuer Basisindikator für die Stadtökologie? Bestimmungsmethodik und Ergebnisbewertung. *Sustainable Solutions for the Information Society - 11th International Conference on Urban Planning and Spatial Development for the Information Society Competence Center of Urban and Regional Planning*, Vienna.

Miller R. W., 1997. *Urban Forestry: Planning and Managing Urban Greenspaces-2nd Edition*. Upper Saddle River NJ: Prentice Hall, Inc.

Weidner U., 2006. Analysis and comparison of different high-resolution data sets for urban applications. *Remote Sensing: From Pixels to Processes*. ISPRS Commission VII Mid-term Symposium. Enschede. 8-11.05.06.

Wężyk P., 2006. Wprowadzenie do technologii skaningu laserowego w leśnictwie. *Roczniki Geomatyki*, Vol. IV (4), s. 119-132.

Wężyk P., 2008. Modelowanie chmury punktów ze skaningu laserowego w obszarze koron drzew. Geoinformacja obrazowa w świetle aktualnych potrzeb. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*. Vol. 18, s. 685-695.

DESCRIBING CANOPY CLOSURE IN KRAKOW'S PLANTY PARK USING AIRBORNE LASER SCANNING

KEY WORDS: airborne laser scanning (ALS), urban green, crown closure

SUMMARY: Urban green areas play a significant role in built-up areas as they have important microclimatic functions (oxygen production, shading), as well as aesthetic or protective functions (reducing noise pollution and also gas and dust imissions). The horizontal and vertical structure of trees and bushes, considered as the basic element of urban green, determines these functions. Getting the best from urban space, in relation to green areas, involves gathering particular parameters for large surfaces using remote sensing technologies, i.e. Airborne Laser Scanning (ALS). The article presents a trial of a method for automatic determination of crown closure for "high trees" (above 15 m high) and manual and automatic determination of closure of the whole vegetation layer (above 5 m height) using ALS point clouds and airborne orthophotographs. The test area (3.47 ha.) was situated in Krakow's Planty Park. ALS data were collected in 2004 from a helicopter with a TopEye scanner and a medium format digital airborne camera. Analyses of crown closure

for “high trees” were conducted directly on the ALS point cloud (Terrasolid Ltd.). In order to determine the vegetation layer’s closure, digitalization of the airborne orthophotomap and analyses of DSM using TreesVis Software (LAU, Freiburg) were carried out. The results of the estimation of the „high trees” crown closure were not satisfactory. In contrast, the accuracy of determining the closure of the vegetation layer proved to be very high. The range of differences between the results from the digitalization method compared to the reference data, was 0-3%. Satisfactory results, which means results differing in the 1-10% range, were also reached by automatic methods based on DSM of diverse resolutions: 1.0 m, 0.5 m or 0.25 m (with Gauss filter of 3x3 pixel) and 1.0 m (with Gauss filter of 5x5 pixel). The work proved the great utility of ALS technology combined with digital photogrammetry for determining the closure of the vegetation layer in an automatic and objective way.

dr inż. Piotr Wężyk
rlwezyk@cyf-kr.edu.pl
tel.: +48 12 6625082
fax: +48 12 6625082

Elżbieta Wawrzeczko
elawawrzeczko@gmail.com
tel.: +48 12 6625082
fax: +48 12 6625082

METODA REDUKCJI PLAMKOWANIA NA OBRAZACH RADAROWYCH ZA POMOCĄ DWUSTOPNIOWEGO FILTRU WARUNKOWEGO

A METHOD FOR SPECKLE REDUCTION ON RADAR DATA USING A TWO-LEVEL CONDITIONAL FILTER

Dariusz Ziółkowski, Edyta Woźniak

Katedra Geoinformatyki i Teledetekcji, WGiSR, Uniwersytet Warszawski

SŁOWA KLUCZOWE: SAR, obrazy radarowe, redukcja plamkowania, filtracja

STRESZCZENIE: Niniejszy artykuł przedstawia wstępne wyniki prac nad opracowaniem dwustopniowego filtra warunkowego służącego do redukcji plamkowania na obrazach radarowych, który efektywnie usuwałby szum przy jednoczesnym zachowaniu krawędzi i tekstury obiektów. Filtr ten w pierwszym etapie pracy analizuje obraz pod względem jego zmienności przestrzennej, bada homogeniczność i wielkość obszarów i wykrywa krawędzie między poligonami. W dalszej kolejności, w zależności od zaistniałej sytuacji, podejmuje decyzję o zastosowaniu okna filtrującego o określonej wielkości i kształcie. Jest ono zmienne w różnych częściach sceny i zależy od obliczonych parametrów obrazu w danym punkcie. Porównanie wyników pracy filtra warunkowego z innymi filtrami adaptacyjnymi wykazuje, że zdecydowanie lepiej zachowuje on krawędzie między obszarami oraz teksturę obrazu. Dzięki temu stosunek ilości usuniętego z obrazu szumu do ilości informacji utraconej w tym procesie wydaje się być zdecydowanie korzystniejszy w przypadku zaprezentowanego filtra warunkowego niż w przypadku innych filtrów.

1. WSTĘP

Jednym z głównych etapów wstępnego przetwarzania obrazów radarowych jest redukcja plamkowania. Opracowano do tej pory wiele metod filtracji tych obrazów: filtry adaptacyjne (Lee, 1986; Lee *et al.*, 1994; North, Wu, 2001; Xiao *et al.*, 2003; Qiu *et al.*, 2004; Huang *et al.*, 2009) filtracje z zastosowaniem transformacji fourierowskich, transformacji falkowych (Gnanadurai, Sadasivam, 2005; Gupta, Gupta, 2007), czy też metody wykorzystujące analizę częstotliwości dopplerowskiej (ang. *Multi-look processing*). W obrębie każdej z tych metod opracowano wiele różnych algorytmów. Jednakże bez

względem na zastosowaną metodę, proces filtracji wiąże się zawsze z utratą rozdzielczości obrazu a tym samym z redukcją nie tylko szumu, ale również wartościowej informacji. Im silniejszy filtr zostanie zastosowany tym większa redukcja szumów, ale też większa utrata informacji. W przypadku filtrów adaptacyjnych siła filtracji jest zależna w dużej mierze od wielkości okna filtrującego. Dobór wielkości tego okna jest uzależniony od parametrów filtrowanego obrazu a przede wszystkim od stopnia zmienności przestrzennej zarejestrowanego na obrazie obszaru. Obrazy obejmujące obszary o dużym zróżnicowaniu pokrycia i ukształtowania terenu wymagają mniejszego okna filtrującego ze względu na mniejszą powierzchnię pól jednorodnych. W przypadku jednorodnych obszarów o większej powierzchni możliwe jest zastosowanie większego okna filtrującego. Jednakże prowadzi to często do niepożądanych efektów na granicach tych obszarów, gdzie dochodzi do rozmycia krawędzi. Wynika to z tego, że piksele graniczne są filtrowane zazwyczaj przez sąsiednie piksele należące do różnych obszarów.

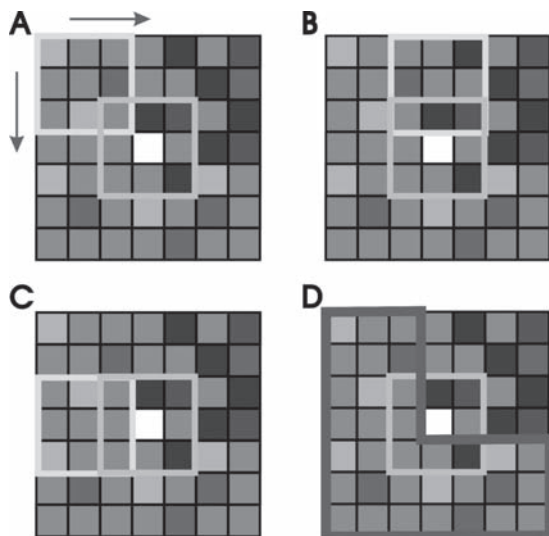
Stosowane obecnie filtry adaptacyjne wykorzystywane do redukcji plamkowania obrazów radarowych dają wręcz nieograniczone możliwości doboru wielkości okna filtrującego, zaczynając od najmniejszego o wielkości 3x3 piksele. Jednakże każdy z tych filtrów ma jedną zasadniczą wadę. Raz zdefiniowana wielkość okna filtrującego jest niezmienna dla całego filtrowanego obrazu. Stwarza to szczególnie duże problemy w przypadku bardzo zróżnicowanych obrazów, na których obok dużych obszarów jednorodnych zarejestrowane są również tereny charakteryzujące się dużą zmiennością przestrzenną.

Wydaje się, że w takiej sytuacji najlepszym rozwiązaniem byłoby zastosowanie takiego algorytmu filtrującego, który potrafiłby analizować obraz pod względem jego zmienności przestrzennej (określać wielkość pól jednorodnych, wykrywać granice obszarów itp.) oraz dopasowywać wielkość i kształt okna filtrującego do zaistniałej na obrazie sytuacji. Jest to główna idea, którą kierowali się autorzy przy konstrukcji prezentowanego w tym artykule filtra. Założono, że proponowany algorytm powinien: używać większego okna filtrującego w obrębie dużych obszarów jednorodnych; mniejszego okna filtrującego w przypadku obszarów heterogenicznych, charakteryzujących się dużą zmiennością jasności pikseli; na granicach dwóch obszarów powinien podejmować decyzję, do którego obszaru zakwalifikować piksel graniczny oraz filtrować ten piksel wykorzystując wyłącznie wartości pikseli z tego jednego obszaru.

2. METODA

W celu uzyskania zamierzonego efektu zastosowano dwuetapowy model filtra, który określono mianem dwustopniowego filtra warunkowego. Kod źródłowy algorytmu filtrującego został napisany w języku Visual Basic przy użyciu oprogramowania Visual Basic Express Edition. W pierwszym etapie w algorytmie zastosowano szereg różnej wielkości okien przeszukujących, które w otoczeniu filtrowanego piksela dokonują analizy homogeniczności obrazu w celu znalezienia obszarów jednorodnych pod względem zmienności częstotliwości przestrzennej. W prezentowanej w niniejszym artykule wersji filtra zastosowano dla każdego filtrowanego piksela duże okno przeszukujące o wymia-

7x7 pikseli oraz dziewięć małych okien przeszukujących o wymiarach 3x3 piksele rozmieszczonych wewnątrz dużego okna o wymiarach 7x7 pikseli (Rys. 1). Wielkość tych okien przy niewielkiej zmianie parametrów algorytmu może oczywiście ulec zmianie.



Rys. 1. Zasada działania filtru. A, B, C – kolejne okna przeszukujące, D – okno użyte do filtracji piksela środkowego. Małe okno centralne jest oknem referencyjnym, do którego porównywane są parametry statystyczne liczone w pozostałych małych oknach przeszukujących.

W obrębie wszystkich wymienionych wyżej okien obliczane są dwa proste parametry statystyczne: odchylenie standardowe oraz wartość średnia. Głównym zadaniem tych parametrów w tym przypadku jest określenie homogeniczności obszaru, sprawdzenie, czy filtrowany piksel centralny oraz całe duże okno przeszukujące znajduje się wewnątrz obszaru jednorodnego, czy na granicy dwóch różnych obszarów.

Przyjęto założenie, że im mniejsze odchylenie standardowe w obrębie okien przeszukujących, tym obszar jest bardziej jednorodny. Zwiększenie wartości odchylenia standardowego może być spowodowane albo zwiększeniem heterogeniczności obszaru, lub też położeniem okna przeszukującego na granicy dwóch różnych obszarów charakteryzujących się odmiennym współczynnikiem wstecznego rozproszenia. W tych dwóch ostatnich przypadkach przefiltrowanie obrazu za pomocą dużego okna filtrującego mogłoby się przyczynić nie tylko do redukcji szumów na obrazie, ale także do utraty lub zafałszowania dużej części informacji, ponieważ do filtracji wykorzystywane byłyby również te piksele obrazu, które w rzeczywistości reprezentują inną formę pokrycia terenu (lub inną cechę środowiska widoczną na obrazie radarowym) niż piksel centralny. Dlatego też w przedstawianym algorytmie przyjęto założenie, że jeżeli wartość odchylenia standardowego

w centralnym małym oknie przeszukującym odbiega od odchylenia standardowego w innych oknach przeszukujących o większą niż zadana przez użytkownika wartość, to piksel centralny może być filtrowany wyłącznie za pomocą wartości znajdujących się w małym oknie centralnym. Jeśli zaś istnieją okna, dla których nie zostaje przekroczona wartość progowa odchylenia standardowego, to piksel centralny filtrowany jest przy użyciu pikseli znajdujących się w oknie centralnym i oknach spełniających powyższy warunek.

Drugim parametrem wykorzystywanym w filtrze jest wartość średnia, która jest obliczana dla wszystkich małych okien przeszukujących. Do filtracji piksela centralnego posłużą tylko i wyłącznie te piksele dużego okna przeszukującego, które znajdują się w obrębie małych okien przeszukujących, których wartość średnia nie odbiega od wartości średniej małego okna centralnego o więcej niż określona przez użytkownika wartość progowa. Wyrażona jest ona w wartościach procentowych odchylenia od wartości średniej, by uniezależnić zaproponowany algorytm od wartości współczynnika wstecznego rozproszenia.

W ten sposób na podstawie wymienionych wyżej dwóch parametrów statystycznych powstają dwa zestawy okien przeszukujących. Ostatecznie do filtracji piksela centralnego brane są tylko i wyłącznie piksele z tych okien przeszukujących, które stanowią część wspólną obu tych zestawów.

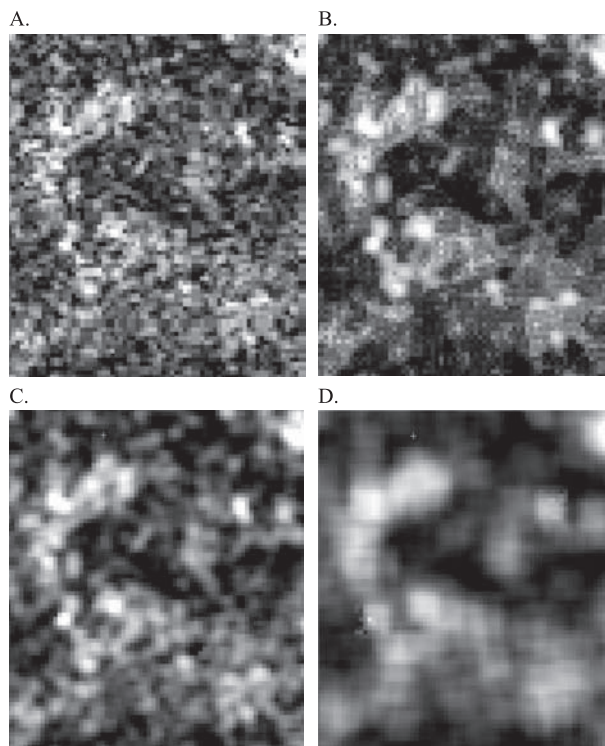
Przedstawiona powyżej zasada działania algorytmu odnosi się tylko i wyłącznie do pierwszego etapu pracy filtra. Jest to etap, w którym na podstawie analiz wartości średniej oraz odchylenia standardowego poszczególnych okien przeszukujących dokonywany jest wybór tych pikseli, na podstawie których zostanie dokonana filtracja piksela centralnego. Przy zastosowanej przez autorów w tym przypadku wielkości dużego okna filtrującego o wymiarach 7x7 pikseli, liczba pikseli użytych do filtracji może wahać się w zależności od homogeniczności danego fragmentu sceny radarowej w granicach od 9 pikseli dla obszarów heterogenicznych do 49 pikseli dla obszarów homogenicznych. W dalszej kolejności następuje proces filtracji. W tym przypadku autorzy zastosowali zwykły filtr oparty o wartość średnią obliczoną na podstawie pikseli wyselekcjonowanych w pierwszym etapie działania filtra.

3. ANALIZA WYNIKÓW

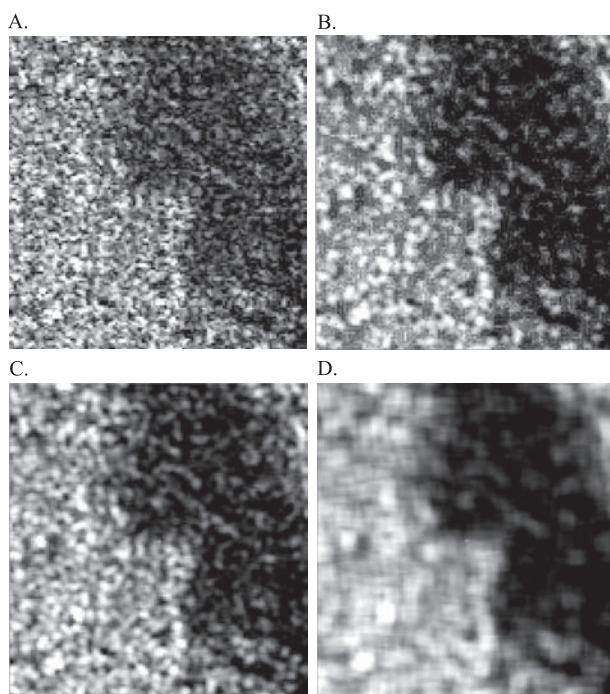
Doprzetestowania działania zaproponowanego algorytmu filtrującego użyto fragment sceny radarowej z satelity ERS-2 (pasma C) zarejestrowanej dnia 26 sierpnia 1997 roku o rozmiarze ok. 20x20 km. Wykorzystano do tego celu obraz typu PRI o wielkości piksela 12.5x12.5 w oryginalnej reprezentacji amplitudowej. Zdecydowano się nie przeprowadzać kalibracji obrazu, żeby uniknąć ingerencji w wartości pikseli przed procesem redukcji plamkowania. Głównym powodem wyboru tego fragmentu sceny była duża różnorodność zarejestrowanego na niej obszaru. Występują tutaj zarówno duże jednorodne obszary o różnej szorstkości (łąki, lasy), jak również mocno heterogeniczne obszary gruntów ornych oraz obszarów rolniczych z dużym udziałem roślinności naturalnej, charakte-

ryzujących się dużą zmiennością pokrycia terenu na małym obszarze. Wykorzystany do testów fragment sceny radarowej został najpierw poddany procesowi geometryzacji.

Filtracja została przeprowadzona za pomocą trzech filtrów: dwustopniowego filtra warunkowego o rozmiarze 7×7 pikseli oraz w celach referencyjnych filtra Enhanced Lee o rozmiarze 3×3 piksele oraz 7×7 pikseli. Do porównania wyników został wybrany filtr Enhanced Lee, ponieważ według autorów, dla fragmentu obrazu radarowego wybranego do badań, dawał on najlepsze wyniki spośród wszystkich filtrów adaptacyjnych do redukcji plamkowania dostępnych autorom. Filtracji obrazu za pomocą filtra Enhanced Lee dokonano w oprogramowaniu ENVI 4.3. Wielkości okien filtra Enhanced Lee: 3×3 oraz 7×7 pikseli odpowiadają najmniejszej i największej wielkości okna filtrującego, jaka została użyta w dwustopniowym filtrze warunkowym. Wyniki filtracji przedstawiono na ilustracjach: na rysunku 2 – dla obszarów o dużym rozczłonkowaniu pokrycia terenu i na rysunku 3 – dla obszarów o małym rozczłonkowaniu. Przedstawiają one fragmenty oryginalnego obrazu radarowego przed filtracją (Rys. 2, 3a) oraz te same fragmenty sceny przefiltrowane za pomocą dwustopniowego filtra warunkowego (Rys. 2,3b) oraz filtra Enhanced Lee w oknie 3×3 oraz 7×7 pikseli (Rys. 2, 3cd). Widać wyraźnie, że filtr wa-



Rys. 2. Wyniki działania filtra warunkowego na fragmencie obrazu charakteryzującym się dużym rozczłonkowaniem form pokrycia terenu: a – obraz przed filtracją, b – filtr warunkowy, c – filtr Enhanced Lee 3×3 , d - filtr Enhanced Lee 7×7 .



Rys. 3. Wyniki działania filtra warunkowego na fragmencie obrazu charakteryzującym się małą rozczłonkowaniem form pokrycia terenu: a – obraz przed filtracją, b – filtr warunkowy, c – filtr Enhanced Lee 3x3, d - filtr Enhanced Lee 7x7.

runkowy zachowuje się zdecydowanie lepiej niż pozostałe dwa filtry. Przede wszystkim zdecydowanie lepiej zachowuje granice pomiędzy dwoma różnymi obszarami. Są one nawet bardziej wyraźne i zdecydowanie ostrzejsze niż w filtrze Enhanced Lee w oknie 3x3 piksele, które jest najmniejszym oknem filtrującym dla każdego standardowego filtra. Jest to spowodowane tym, że zastosowany algorytm na granicy obszaru filtruje piksel graniczny tylko i wyłącznie otaczającymi go pikselami z jednego obszaru, tego, do którego sam został zaklasyfikowany przez okna przeszukujące.

Jeżeli przyjrzymy się działaniu filtra wewnątrz obszarów, tu też zdecydowanie widać przewagę filtra warunkowego. Zachowuje on zdecydowanie lepiej teksturę obrazu, często z dokładnością do pojedynczych pikseli, przez co pozornie obraz ten wydaje się słabiej przefiltrowany niż obraz po zastosowaniu filtra Enhanced Lee w oknie 3x3 piksele. Nie jest to jednakże prawda. Przeczą temu statystyki obrazu, które zostały przedstawione w tabeli 1. Widać wyraźnie, że wartości odchylenia standardowego dla obu tych obrazów są porównywalne, natomiast wartość maksymalna jest zdecydowanie niższa w przypadku filtra warunkowego. Tak więc, to filtr warunkowy zadziałał mocniej przy jednocześnie lepszym zachowaniu granic obszarów i tekstury obrazu.

Tab. 1. Podstawowe parametry statystyczne obrazu przed i po filtracji.

	Średnia	Moda	Mediana	Minimum	Maksimum	Odchylenie standardowe
Oryginal	324.722	279	309	14	4583	120.973
Filtr warunkowy	300.108	252	285	79	928	93.597
Enhanced Lee 3x3	334.319	313	325	39	3485	90.72
Enhanced Lee 7x7	339.012	333	336	76	4055	71.356

Dla porównania przedstawiono również wyniki filtracji za pomocą filtra Enhanced Lee w oknie 7x7 pikseli, czyli maksymalnym, jakie zostało zastosowane w filtrze warunkowym. W tym przypadku widać zdecydowanie mocniejsze działanie filtra Enhanced Lee (zdecydowanie mniejsze odchylenie standardowe dla całego obrazu jak i poszczególnych obszarów). Jest to w pełni zrozumiałe i wynika z przefiltrowania całego obrazu w oknie 7x7 pikseli, podczas gdy w przypadku filtra warunkowego wartość ta jest zmienna i w wielu przypadkach mniejsza. Jeśli porównamy jednak oba obrazy ze sobą wizualnie, widać wyraźnie, że w przypadku filtra Enhanced Lee mocniejsza filtracja wiąże się ze zdecydowanie większą utratą wartościowych informacji, niewspółmierną do osiągniętych wyników filtracji.

4. WNIOSKI

Przedstawione powyżej wyniki działania dwustopniowego filtra warunkowego wyraźnie pokazują, że sprawdza się on zdecydowanie lepiej niż standardowo stosowane w programach teledetekcyjnych inne filtry adaptacyjne służące do redukcji efektu plamkowania. Stwierdzono, że zdecydowanie lepiej zachowuje on granice między różnymi obszarami oraz teksturę obrazu przy jednocześnie zdecydowanie silniejszej redukcji wartości skrajnych. Dzięki temu stosunek ilości usuniętego z obrazu szumu do ilości informacji utraconej w tym procesie wydaje się być zdecydowanie korzystniejszy w przypadku zaprezentowanego filtra warunkowego niż w przypadku innych filtrów. W niniejszym artykule zaprezentowano wstępne wyniki prowadzonych w tym zakresie prac badawczych dla danych radarowych pochodzących z tylko jednego sensora (ERS w formacie PRI). W najbliższym czasie planuje się prowadzenie dalszych badań mających na celu udoskonalenie działania filtra, przetestowanie go na większej ilości obrazów radarowych pochodzących z różnych sensorów, a także zastosowanie zaproponowanego algorytmu do segmentacji obrazów radarowych oraz do klasyfikacji wykorzystującej oprócz wartości współczynnika wstecznego rozproszenia także teksturę obrazu radarowego.

5. LITERATURA

- Gnanadurai D., Sadasivam V., 2005. Undecimated wavelet based speckle reduction for SAR images. *Pattern Recognition Letters*, 26(6), s. 793-800.
- Gupta K.K., Gupta R., 2007. Despeckle and geographical feature extraction in SAR images by wavelet transform. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 62(6), s. 473-484.
- Huang S., Liu D., Gao G., Guo X., 2009. A novel method for speckle noise reduction and ship target detection in SAR images. *Pattern Recognition*, 42(7), s. 1533-1542.
- Lee J.S., 1986. Speckle Suppression and Analysis for Synthetic Aperture Radar Images. *Optical Engineering*, 25(5), s. 636-643.
- Lee J.S., Jurkevich I., Dewaele P., Wambacq P., Oosterlinck A., 1994. Speckle Filtering of Synthetic Aperture Radar Images: A Review. *Remote Sensing Review*, 8, s. 313-340.
- North H. C., Wu Q. X., 2001. An Edge Preserving Filter for Imagery Corrupted with Multiplicative Noise. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 67(1), s. 57-64.
- Qiu F., Berglund J., Jensen J.R., Thakkar P., Ren D., 2004. Speckle Noise Reduction in SAR Imagery Using a Local Adaptive Median Filter. *GIScience and Remote Sensing*, 41(3), s. 244-266.
- Xiao J., Li J., Moody A., 2003. A Detail-Preserving and Flexible Adaptive Filter for Speckle Suppression in SAR Imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 24(12), s. 2451-2465.

A METHOD FOR SPECKLE REDUCTION ON RADAR DATA USING A TWO-LEVEL CONDITIONAL FILTER

KEY WORDS: SAR images, speckle reduction, filtering.

SUMMARY: This paper presents the preliminary results of research on developing a two-level conditional speckle filter which effectively removes noise while simultaneously preserving the edges and texture of objects. In the first step, the filter analyses the SAR image in respect of its spatial variability; determines the homogeneity and extent of the object and interprets its edges. Then the shape and dimension of the filter window is chosen on the basis of the previous analysis. The filter window changes along the scene depending on the parameters counted for each pixel. The comparison of the proposed filter with other adaptive filters shows that the filter developed maintains better edges and texture of objects and more effectively reduces extreme values. The relationship between speckle reduction and information loss in the case of this filter design is also better than in the case of other adaptive filters.

dr Dariusz Ziółkowski
dziolkow@uw.edu.pl
telefon: +48 22 552065
fax: +48 22 5521521

mgr Edyta Woźniak
edytawozniak@student.uw.edu.pl
telefon: +48 22 5520654
fax: +48 22 5521521

NAJNOWSZE PUBLIKACJE W WYDAWNICTWACH GRUPY GEOINFORMATYCZNEJ

„GEOINFORMATICA POLONICA”

W roku 2010 ukazał się tom 10 czasopisma „Geoinformatica Polonica” wydawanego przez Komisję Geoinformatyki Polskiej Akademii Umiejętności oraz Akademię Górniczo-Hutniczą w Krakowie. Zamieszczono w nim następujące artykuły:

Accuracy of the existing geo-information sources related to point data used in digital cartographic models (J. Bac-Bronowicz)

Monitoring of tidewater glaciers on Svalbard using ASTER images (M. Błaszczyk)

The analysis of the effectiveness of the multiples attenuation by means of Karhunen-Loeve (K-L) transform - model study (Z. Kasina)

Possibilities of using Terra Aster satellite image for drawing up maps of soil fertility of fallow farmlands (J. Piekarczyk, S. Królewicz, C. Kaźmierowski)

An analysis of geographical data accuracy on maps (R. Dorożyński)

An interdisciplinary approach to the environmental and spatial information system built for coastal waters - Vistula Lagoon case study (M. Kruk, M. Mróz, D. Durand, A. Rychter, J. Kosakowski, M. Szumidło, M. Mleczko)

Describing the canopy closure of forest stands using the method based on the Airborne Laser Scanning at the example of Chojna Forest District (P. Wężyk, A. Sieczka)

Pełne teksty artykułów publikowane są też w internecie: <http://www.geoinformatica.agh.edu.pl>

„TELEDETEKCJA ŚRODOWISKA”

W roku 2009 ukazały się dwa tomy (41 i 42) czasopisma *TELEDETEKCJA ŚRODOWISKA*, wydawanego przez Klub Teledetekcji Środowiska – Oddział Polskiego Towarzystwa Geograficznego. Zamieszczono w nich następujące artykuły:

Początki teledetekcji środowiska w Polsce (J.R. Olędzki)

Potencjał informacyjny nowych misji satelitarnych w zakresie badań środowiska (D. Dukaczewski, E. Bielecka)

Wykorzystanie zdjęć LANDSAT w badaniu struktury sieci osadniczej w wybranych krajach pozaeuropejskich (A. Grzegorzczak)

Zmienność wilgotności w dolinie górnej Narwi w okresie 20 lat na podstawie transformacji Tasseled Cap i wskaźników wilgotności (A. Jarocińska, S. Nasiłowska)

Zdjęcia lotnicze jako źródło informacji o dynamice zmian zagospodarowania terenu w strefie autostrady A-2 w granicach miasta Poznania (A. Kijowski, P. Bogdan)

Próba zastosowania lotniczych termowizyjnych obrazów wideo do wykrywania miejsc nielegalnego składowania odpadów zwierzęcych (A. Kijowski, W. Mania)

Hiperspektralna metoda badania i kartowania roślinności wysokogórskiej (M. Sobczak)

Wpływ wybranych elementów środowiska przyrodniczego na zróżnicowanie emisyjności promieniowania termalnego Doliny Gąsienicowej (J. Metrycka, B. Zagajewski)

Biblioteka spektralna gatunków zielnych Ogrodu Botanicznego Uniwersytetu Warszawskiego (B. Zagajewski, Z. Sędzikowski)

Andrzej Ciołkosz - lata pracy w Uniwersytecie Warszawskim (J.R. Olędzki)

Mapy podstawowych form pokrycia i użytkowania terenu zlewni Raby powyżej Zbiornika Dobczyckiego - porównanie dokładności klasyfikacji pikselowej i obiektowej obrazów LANDSAT TM (M. Badurska, W. Drzewiecki, P. Tokarczyk)

Czytelność budowy geologicznej na zdjęciach lotniczych na przykładzie zachodniej części Beskidu Wyspowego (M. Firlńska)

Znaczenie pola powierzchni i długości obiektów w półautomatycznej klasyfikacji obiektowej użytków zielonych na zdjęciach satelitów serii LANDSAT (K. Kosiński)

Przeglądowa Mapa Geomorfologiczna Podlasia, w skali 1:300 000 (J. Krzemiński)

Możliwości teledetekcyjnego monitorowania zawartości chlorofilu-a w wodach śródlądowych (K. Osińska-Skotak)

Zmiany użytkowania ziemi w Polsce w ostatnich dwóch stuleciach (Z.F. Poławski)

Porównanie wartości NDVI odczytanych z obrazów satelitarnych NOAA AVHRR, SPOT-VEGETATION i TERRA MODIS (K. Turlej)

Do tomu 41 dołączona jest płyta CD z mapą roślinności Doliny Gąsienicowej w Tatrach, a do tomu 42 płyta z przeglądową mapą geomorfologiczną Podlasia. Pełne teksty artykułów dostępne są też w internecie: http://telegeo.wgsr.uw.edu.pl/Teledetekcja_Srodowiska

“ROCNIKI GEOMATYKI - ANNALS OF GEOMATICS”

Czasopismo wydawane jest przez Polskie Towarzystwo Informacji Przestrzennej. W roku 2010 ukazały się dwa zeszyty tomu VIII tego wydawnictwa.

Zeszyt nr 1 obejmuje 14 recenzowanych artykułów zamieszczonych w kolejności alfabetycznej autorów. Artykuły te prezentowane były podczas XIX Konferencji Polskiego Towarzystwa Informacji Przestrzennej (Warszawa, 5-7 października 2009) na temat MODERNIZACJA POLSKICH ZASOBÓW GEOINFORMACYJNYCH W RAMACH INSPIRE, w następujących sesjach tematycznych: kształcenie w dziedzinie geoinformacji, geoportale w infrastrukturze informacji przestrzennej, technologie interoperacyjne, kataster w infrastrukturze informacji przestrzennej, pozyskiwanie i przedstawianie danych przestrzennych, zasoby danych przestrzennych, stosowanie informacji przestrzennej.

Pełny spis treści znajduje się w internecie: <http://ptip.org.pl/download/files/RG2010z1-spis.pdf>

Zeszyt nr 2 to anglojęzyczny zeszyt specjalny Annals of Geomatics pt. SPATIAL INFORMATION INFRASTRUCTURE IN POLAND, wydany z okazji IV Konferencji INSPIRE nt. „INSPIRE as a framework for cooperation”, zorganizowanej przez Komisję Europejską przy współdziałaniu Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii (Kraków, 22-25.06.2010 r.). Zeszyt zawiera artykuł Głównego Geodety Kraju, Jolanty Orlińskiej (*Beneficial Impact of INSPIRE Directive on National Legislation: The Case of Poland*), artykuł prof. Jerzego Gaździckiego (*View points on INSPIRE architecture*) oraz tekst polskiej ustawy o infrastrukturze informacji przestrzennej (*ACT of 4 March 2010 on spatial information infrastructure*).