

**Archiwum
Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji**

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

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

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

Redaktor naczelny

Wydawnictwa Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji:

dr hab. inż. Zdzisław Kurczyński
e-mail: kurczynski@wp.pl
tel. +22 2347690

Adres redakcji:

Instytut Fotogrametrii i Kartografii
Politechnika Warszawska
Pl. Politechniki 1
00-661 Warszawa
tel. +22 2347690
fax: +22 6299182

Polskie Towarzystwo Fotogrametrii i Teledetekcji,
Seksja Fotogrametrii i Teledetekcji Komitetu Geodezji PAN
Zarząd Główny Stowarzyszenia Geodetów Polskich
Zakład Teledetekcji i Kartografii Morskiej
Instytutu Nauk o Morzu, Uniwersytetu Szczecińskiego



**Archiwum
Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji**

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

Vol. 18b

ISBN 978-83-61576-08-2

Szczecin 2008

Artykuły zawarte w Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Vol. 18 zostały zakwalifikowane do publikacji na podstawie recenzji naukowych.

Recenzenci:

dr hab. inż. Andrzej Borkowski, prof.
prof. dr hab. inż. Aleksandra Bujakiewicz
dr inż. Ireneusz Ewiak
dr hab. Kazimierz Furmańczyk, prof. US
dr hab. inż. Beata Hejmanowska, prof. AGH
dr hab. inż. Zdzisław Kurczyński
dr hab. Zygmunt Paszotta, prof. UWM
dr inż. Ryszard Preuss
dr hab. inż. Krystian Pyka
dr inż. Piotr Sawicki

Redaktor zeszytu:

dr Joanna Dudzińska-Nowak
Zakład Teledetekcji Kartografii Morskiej,
Instytut Nauk o Morzu, Uniwersytet Szczeciński,
ul. Mickiewicza 18,
70-383 Szczecin,
email: jotde@univ.szczecin.pl
tel. +91 444 23 53, fax: +91 444 24 51

Sekretarz zeszytu:

mgr Andrzej Giza

Redakcja techniczna i opracowanie edytorskie:

mgr Andrzej Giza

Artykuły złożono z materiałów dostarczonych przez autorów.

Teksty poddano opracowaniu edytorskiemu.

Weryfikacja streszczeń w języku angielskim:

MAR ECOL CONSULTING,

ul. Rydla 45/41, 70-783 Szczecin

Druk:

Elpil – druk cyfrowy, ul. Artyleryjska 11, 08-110 Siedlce

Nakład: 175 szt.

ISBN 978-83-61576-08-2

© Copyright by Polskie Towarzystwo Fotogrametrii i Teledetekcji

SPIS TREŚCI

Vol. 18a

<i>Banaszek A., Banaszek S., Zarnowski A.</i> Oprogramowanie do zapisywania danych opisowych na mapie rastrowej (na przykładzie map turystycznych)	1
<i>Bernasik J., Mikrut S.</i> Wyznaczanie imperfekcji kształtu wysmukłych budowli w oparciu o znane elementy orientacji kątowej kamery	11
<i>Borkowski A., Józków G.</i> Aproksymacja powierzchni terenu na podstawie danych lotniczego skaningu laserowego z wykorzystaniem modelu aktywnych powierzchni	21
<i>Bujakiewicz A.</i> Fotogrametryczne widzenie komputerowe i analiza obrazu w świetle III Komisji XXI Kongresu ISPRS	31
<i>Bujakiewicz A., Zawieska D., Arcisz M.</i> Wykorzystanie różnoskalowych zdjęć do zasilania bazy danych 3D obiektów architektonicznych	39
<i>Cisło U.</i> Zarys koncepcji trójwymiarowej wielorozdzielczej bazy topograficznej	49
<i>Dąbrowska – Zielińska K.</i> Zastosowanie teledetekcji i zasady postępowania w świetle Komisji VIII XXI Kongresu ISPRS w Pekinie	59
<i>Dębski W., Walczykowski P., Orych A., Rosińska A.</i> Wykorzystanie zobrazowań hiperspektralnych i wskaźników wegetacyjnych do wyróżniania obiektów sztucznych z tła naturalnego	63
<i>Dębski W., Walczykowski P., Orych A.</i> Dobór materiałów do wytworzenia pasywnych celów kalibracyjnych oraz metodyka wyznaczania terenowej zdolności rozdzielczej kamer i skanerów termalnych.....	73
<i>Drzewiecki W., Mularz S., Twardy S., Kopacz M.</i> Próba kalibracji modelu RUSLE/SDR dla oceny ładunku zawiesiny wprowadzanego do Zbiornika Dobczyckiego ze zlewni bezpośredniej.....	83
<i>Dudzińska-Nowak J.</i> Określenie tendencji rozwojowych brzegu na podstawie badań teledetekcyjnych	99
<i>Ewiak I., Karwel A.K., Kraszewski B.</i> Aspekty dokładności generowania nmt na podstawie obrazów z cyfrowej kamery ADS40.....	111

<i>Głowienka E.</i> Porównanie metod korekcji atmosferycznej dla danych z sensorów hiperspektralnych	121
<i>Głowienka E.</i> Przetwarzanie wstępne danych z hiperspektralnego sensora satelitarnego HYPERION	131
<i>Gołuch P., Józków G.</i> Ocena dokładności nmt interpolowanego na podstawie danych pozyskanych metodami fotogrametryczną i GPS-RTK	141
<i>Hejmanowska B., Borowiec N., Badurska M.</i> Przetwarzanie lotniczych danych lidarowych dla potrzeb generowania NMT i NMPT	151
<i>Hejmanowska B., Drzewiecki W., Kulesza Ł.</i> Zagadnienie jakości numerycznych modeli terenu	163
<i>Hejmanowska B., Grabowska J.</i> Porównanie możliwości aktualizacji bazy danych GIS z wykorzystaniem ortofotomap i odbiorników GPS typu: Mobile Mapper	177
<i>Izdebski W.</i> Wykorzystanie internetu i nowych technologii geoinformatycznych w automatyzacji pracy Powiatowych Ośrodków Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej	189
<i>Jędryczka R.</i> Dane geoprzestrzenne a standardy grafiki trójwymiarowej w Internecie	199
<i>Kędzierski M., Walczykowski P., Fryškowska A.</i> Naziemny skanিং laserowy drogowych obiektów inżynierskich	211
<i>Kędzierski M., Walczykowski P., Fryškowska A.</i> Wybrane aspekty opracowania dokumentacji architektonicznej obiektów zabytkowych	221
<i>Kisilewicz T., Wróbel A., Wróbel A.</i> Inwentaryzacja rzeczywistych strat ciepła przez przegrody budynków z wykorzystaniem termografii	231
<i>Kolecka N.</i> Integracja gis i wirtualnej rzeczywistości do wizualizacji i eksploracji danych geograficznych	241
<i>Kolecki J., Badurska M.</i> Redukcja efektu plamkowania na obrazach radarowych z wykorzystaniem propagacyjno-separacyjnego algorytmu metody największej wiarygodności	251
<i>Kolecki J., Wróbel A.</i> Wykorzystanie adaptacyjnej metody redukcji szumów na obrazach cyfrowych do dektekcji krawędzi	263
<i>Kosiński K., Hoffmann-Niedek A.</i> Klasyfikacja obiektowa użytków zielonych z wykorzystaniem wieloletnich zmian NDVI i filtracji kierunkowych obrazu satelitarnego	273

<i>Kowalczyk M.</i> Zastosowanie schematów powiązań procedur technologicznych do poprawy efektywności pracy naukowo-dydaktycznej	283
<i>Koza P.J., Różycki S.</i> Ocena dokładności ortorektyfikacji obrazów SSC z satelity TerraSAR-X oraz weryfikacja geometrii przetworzonych obrazów dostarczanych przez dystrybutora.....	293
<i>Kraszewski B.</i> Opracowanie nieregularnego bloku wysokorozdzielczych zobrazowań satelitarnych QuickBird	305
<i>Kunz M.</i> Pokrycie terenu jako kryterium zróżnicowania struktury krajobrazu wybranych obszarów chronionych Pomorza	313
<i>Kupidura P., Marciniak J., Koza P., Kowalczyk M.</i> Wybrane przykłady wykorzystania morfologii matematycznej w przetwarzaniu obrazów w teledetekcji.....	323
<i>Kurczyński Z.</i> Pozyskiwanie danych obrazowych w świetle XXI Kongresu MTFIT w Pekinie – 2008r	333
<i>Kurczyński Z.</i> Metodyka oceny dokładności i scalania wieloźródłowych numerycznych modeli teren	343
<i>Lewiński S., Bochenek Z.</i> Zastosowanie metody parametrycznej w klasyfikacji obiektowej obrazu satelitarnego SPOT.....	355
<i>Linsenbarth A.</i> Rola geoinformacji obrazowej w badaniach geoprzestrzeni biblijnej.....	365
<i>Marmol U., Będkowski K.</i> Dokładność określenia wysokości drzew na podstawie numerycznego modelu koron drzew opracowanego z wykorzystaniem danych lotniczego skanowania laserowego	377

Vol. 18b

<i>Mialdun J.</i> Próba zrozumienia idei konstrukcji tablicy astronomicznej M. Kopernika na olsztyńskim zamku z pomocą pomiarów fotogrametrycznych.....	387
<i>Michałowska K., Hejmanowska B.</i> Możliwości wykorzystania wieloczasowych obrazów znormalizowanego indeksu wegetacji (NDVI) i archiwalnych orofotomap do badania zmienności wybranych elementów środowiska	397
<i>Mikrut S., Mikrut Z.</i> Wykorzystanie sieci neuronowych w procesach fotogrametrycznych.....	409

<i>Mróz M., Mleczko M.</i> Zdjęcia radarowe TerraSAR-X / Spotlight mode: komplementarność fotointerpretacyjna w stosunku do zdjęć IKONOS na obszarach zurbanizowanych	423
<i>Mularz S., Drzewiecki W., Głowienka E., Hejmanowska B.</i> Komisja VII – przegląd prac badawczych prezentowanych na XXI. Kongresie MTFIT w Pekinie.....	433
<i>Pachelski W., Parzyński Z., Zwirowicz A.</i> Dane referencyjne: opisywanie położenia obiektów w świetle norm ISO serii 19100	445
<i>Paszotta Z.</i> Generowanie ortofotomapy w aplikacji internetowej	457
<i>Paszotta Z.</i> Generowanie i wizualizacja w internecie anaglifowych obrazów przestrzennych z niemetrycznych aparatów cyfrowych.....	465
<i>Paszotta Z.</i> Komisja II ISPRS podstawy i koncepcje przetwarzania informacji i danych czasoprzestrzennych w latach 2004-2008	477
<i>Pawłowski R., Malinowski Z.</i> Przegląd nowoczesnych technik udostępniania danych przestrzennych w Internecie.....	483
<i>Perski Z., Krawczyk A., Marinkovic P.</i> Satelitarna interferometria radarowa (InSAR) wysokiej rozdzielczości z wykorzystaniem danych TerraSAR-X	499
<i>Perski Z., Mróz M.</i> Współczesna aktywność geodynamiczna wybrzeża Bałtyku w świetle wyników badań satelitarnej interferometrii radarowej InSAR i PSInSAR	509
<i>Preuss R.</i> Bazy danych przestrzennych i kartografia cyfrowa w świetle zagadnień IV Komisji XXI Kongresu ISPRS	519
<i>Przyborski M.</i> Badanie dyspersji małych obiektów dla potrzeb morskich systemów geoinformatycznych.....	529
<i>Pyka K.</i> Porównanie jakości radiometrycznej zdjęć lotniczych wykonanych kamerą analogową i cyfrową	537
<i>Sawicki P.</i> Działalność i badania Komisji V „Detekcja bliskiego zasięgu: Analizy i aplikacje” w świetle XXI Kongresu ISPRS	547
<i>Sawicki P.</i> Średnioformatowa lustrzanka cyfrowa Mamiya ZD (21.3 MP) – nowy sensor wizyjny do aplikacji bliskiego zasięgu.....	559

<i>Szzechowski B.</i> Wykorzystane bezzałogowych aparatów latających (mini śmigłowców) do wykonywania fotogrametrycznych zdjęć lotniczych z niskich pułapów	569
<i>Terefenko P., Furmańczyk K., Łapiński M.</i> Analiza rzeźby brzegu na podstawie numerycznego modelu terenu.....	581
<i>Tokarczyk R., Skoczek K.,</i> Fotogrametryczny pomiar elementów walcowanych	589
<i>Tokarczyk R., Szczygieł M.</i> Analiza topografii ciała ludzkiego w zastosowaniu do badania wad postawy	601
<i>Tokarczyk P., Frank A.U.</i> Systemy nawigacji dla pieszych: automatyzacja pozyskiwania danych	613
<i>Twardowski M.</i> Wykorzystanie przeglądarki VGLFL do pozyskiwania i opracowania danych ze źródeł heterogenicznych	625
<i>Uchański J., Falkowski P., Sörensen L.</i> Problematyka standaryzacji w dziedzinie inwentaryzacji obiektów architektonicznych technikami skaningu laserowego naziemnego	633
<i>Walczukowski P., Dębski W., Kędziński M.</i> Teksturowanie danych z naziemnego skaningu laserowego obrazami termalnymi	643
<i>Wężyk P., Borowiec N., Szombara S., Wańczyk R.</i> Generowanie numerycznych modeli powierzchni oraz terenu w Tatrach na podstawie chmury punktów z lotniczego skaningu laserowego (ALS).....	651
<i>Wężyk P., Solecki S.</i> Określanie wysokości drzewostanów Nadleśnictwa Chojna w oparciu o lotniczy skaningu laserowy (ALS).....	663
<i>Wężyk P., Wańczyk R.</i> Implementacja Dyrektywy INSPIRE na przykładzie internetowego serwisu „Mapa roślinności rzeczywistej Miasta Krakowa”	673
<i>Wężyk P.</i> Modelowanie chmury punktów ze skaningu laserowego w obszarze koron drzew	685
<i>Wojciechowski T., Perski Z.</i> Zastosowanie satelitarnej interferometrii radarowej do określenia aktywności osuwisk obrzeżenia Kotliny Sądeckiej.....	697
<i>Wróbel A., Greiner-Wrona E.</i> Badanie temperatury zabytkowych przedmiotów z wykorzystaniem termografii	707
<i>Zawieska D.</i> Rekonstrukcja detali 3D obiektów zabytkowych na podstawie zdjęć archiwalnych ..	717

CONTENTS

Vol. 18a

<i>Banaszek A., Banaszek S., Zarnowski A.</i>	
Programs for recording semantic data on a raster map (as exemplified by tourist maps)	1
<i>Bernasik J., Mikrut S.</i>	
Determination of shape imperfections of lofty structures based on know elements of angular orientation of the camera	11
<i>Borkowski A., Józków G.</i>	
Airborne laser scanning data-based approximation of terrain surface using the active surface model.....	21
<i>Bujakiewicz A.</i>	
Photogrammetric computer vision and image analysis in the light of Commission III of the 21 st ISPRS Congress.....	31
<i>Bujakiewicz A., Zawieska D., Arcisz M.</i>	
The use of multiscale images for supplementing data bases of 3D architectural objects	39
<i>Cisło U.</i>	
An outline of a concept for three-dimensional multiresolution topographic database.....	49
<i>Dąbrowska – Zielińska K.</i>	
Remote sensing application and policies in the light of Commission III of the XXI ISPRS Congress in Beijing.....	59
<i>Dębski W., Walczykowski P., Orych A., Rosińska A.</i>	
Recognition of artificial objects against a natural background with the use of hyperspectral imagery and vegetation indices	63
<i>Dębski W., Walczykowski P., Orych A.</i>	
Selection of materials for the development of passive calibration targets and the methodology used in determining the spatial resolution of thermal cameras and scanner	73
<i>Drzewiecki W., Mularz S., Twardy S., Kopacz M.</i>	
Calibration of RUSLE/SDR model for estimation of suspended matter load supplied to The Dobczyce Reservoir from its immediate catchment.....	83
<i>Dudzińska-Nowak J.</i>	
Trends in coast development as determined by remote sensing research	99
<i>Ewiak I., Karwel A.K., Kraszewski B.</i>	
Accuracy aspects of dem generation as elucidated by ADS40 aerial digital camera images.....	111

<i>Głowienka E.</i> Comparison of atmospheric correction methods for hyperspectral sensor data	121
<i>Głowienka E.</i> Pre-processing of spaceborne hyperspectral HYPERION data.....	131
<i>Goluch P., Józków G.</i> Accuracy evaluation of dtm interpolated from data acquired with photogrammetric and GPS-RTK methods	141
<i>Hejmanowska B., Borowiec N., Badurska M.</i> Airborne lidar data processing for digital surface model and digital terrain model generation.....	151
<i>Hejmanowska B., Drzewiecki W., Kulesza Ł.</i> The quality of digital terrain models	163
<i>Hejmanowska B., Grabowska J.</i> Comparison of possibilities of GIS database update with an orthophotomap and GPS Mobile Mapper receivers	177
<i>Izdebski W.</i> The use of the internet and new geoinformation technology for automation of work at County-Level Centres of Geodetic and Cartography Documentation	189
<i>Jędryczka R.</i> Geospatial data and 3D graphics standards in the Internet.....	199
<i>Kędzierski M., Walczykowski P., Fryškowska A.</i> Terrestrial laser scanning of road infrastructure objects	211
<i>Kędzierski M., Walczykowski P., Fryškowska A.</i> Some aspects of architectural documentation of cultural heritage objects.....	221
<i>Kisilewicz T., Wróbel A., Wróbel A.</i> Assessment of the actual heat loss through building walls by means of thermal imaging	231
<i>Kolecka N.</i> Integration of gis and virtual reality for geographic data visualization and exploration.....	241
<i>Kolecki J., Badurska M.</i> Despeckling of synthetic aperture radar images using propagation-separation approach for local likelihood estimation	251
<i>Kolecki J., Wróbel A.</i> Edge detection using adaptive smoothing of digital images	263
<i>Kosiński K., Hoffmann-Niedek A.</i> Object grassland classification using multi-year NDVI changes and directional filtering of satellite image	273
<i>Kowalczyk M.</i> Application of schematic representation of links between technological procedures to improve effectiveness of research and teaching	283

<i>Koza P.J., Różycki S.</i> Accuracy assessment of TerraSAR-X orthorectification and geometry verification of geocoded images supplied by the distributor.....	293
<i>Kraszewski B.</i> Development of an irregular block of high resolution QuickBird satellite images	305
<i>Kunz M.</i> Land cover as the criterion of landscape structure diversity in selected protected areas of Pomerania	313
<i>Kupidura P., Marciniak J., Koza P., Kowalczyk M.</i> Selected examples of applying mathematical morphology to image processing in remote sensing	323
<i>Kurczyński Z.</i> Image data acquisition in the light of the 21 st ISPRS Congress in Beijing - 2008	333
<i>Kurczyński Z.</i> Methodology of accuracy assessment and merging of multisource digital terrain model	343
<i>Lewiński S., Bochenek Z.</i> Application of rule-based approach to object-oriented classification of SPOT satellite image	355
<i>Linsenbarth A.</i> The usefulness of satellite images in studies on the biblical geospace.....	365
<i>Marmol U., Będkowski K.</i> Accuracy of tree height estimation using lidar data-derived DEM	377

Vol. 18b

<i>Mialdun J.</i> An attempt at understanding the concept of Nicholas Copernicus' astronomical table, housed in the olsztyn castle, using photogrammetric measurements	387
<i>Michałowska K., Hejmanowska B.</i> A possibility of using temporal images of normalised difference vegetation index (NDVI) for detection of environmental changes.....	397
<i>Mikrut S., Mikrut Z.</i> Application of neural networks to photogrammetric processes	409
<i>Mróz M., Mleczko M.</i> TerraSAR-X / Spotlight mode radar images: photointerpretation complementarity with IKONOS images in urban areas.....	423
<i>Mularz S., Drzewiecki W., Głowienka E., Hejmanowska B.</i> Technical Commission VII – review of the research papers presented at the 21 st ISPRS Congress in Beijing.....	433

<i>Pachelski W., Parzyński Z., Zwirowicz A.</i> Reference data: describing position of the features according to the ISO series 19100 standards	445
<i>Paszotta Z.</i> Orthophoto generation in the web application	457
<i>Paszotta Z.</i> Generation and visualisation of anaglyphic spatial images from non-metric digital images via the internet	465
<i>Paszotta Z.</i> ISPRS technical Commission II theory and concepts of spatio-temporal data handling and information in 2004-2008.....	477
<i>Pawłowski R., Malinowski Z.</i> Overview of latest trends in spatial data presentation on the Internet.....	483
<i>Perski Z., Krawczyk A., Marinkovic P.</i> High resolution sar interferometry (InSAR) with TerraSAR-X data	499
<i>Perski Z., Mróz M.</i> Recent geodynamics of the Baltic Coast as measured with sar interferometry InsSAR and PSInSAR	509
<i>Preuss R.</i> Spatial information systems and digital mapping in the light of topics of Commission IV of the 21 st ISPRS Congress.....	519
<i>Przyborski M.</i> Examination of dispersion of small objects for the needs of marine geoinformatic systems	529
<i>Pyka K.</i> Comparison of radiometric quality of images taken with analogue and digital cameras	537
<i>Sawicki P.</i> Commission V "Close range sensing: analysis and applications"- activity and research in the light of the 21 st ISPRS Congress	547
<i>Sawicki P.</i> The Mamiya ZD (21.3 MP) medium format dslr camera – a new vision sensor for close range applications.....	559
<i>Szczechowski B.</i> The use of unmanned aerial vehicles (mini helicopters) in photogrammetry from low level	569
<i>Terefenko P., Furmańczyk K., Łapiński M.</i> Digital terrain model-based coast relief analysis	581
<i>Tokarczyk R., Skoczek K.,</i> Photogrammetric measurement of rolled elements	589

<i>Tokarczyk R., Szczygiel M.</i> Human body topography analysis in posture investigation	601
<i>Tokarczyk P., Frank A.U.</i> Automatization of data acquisition and processing for pedestrian navigation system purposes	613
<i>Twardowski M.</i> VGLFL viewer for acquiring and developing data from heterogeneous sources.....	625
<i>Uchański J., Falkowski P., Sörensen L.</i> The problem of standardization of terrestrial laser scanning techniques for architecture inventory purposes.....	633
<i>Walczykowski P., Dębski W., Kędzierski M.</i> Texture mapping of terrestrial laser scanning data using thermal images.....	643
<i>Wężyk P., Borowiec N., Szombara S., Wańczyk R.</i> Generation of digital surface and terrain models of the Tatras Mountains based on airborne laser scanning (ALS) point cloud	651
<i>Wężyk P., Solecki K.</i> Airborne laser scanning (ALS)-based determination of the chojna forest disrtict tree stand heights.....	663
<i>Wężyk P., Wańczyk R.</i> Implementation of the INSPIRE Directive, as exemplified by the “Vegetation map of Cracow” webgis service.....	673
<i>Wężyk P.</i> The lidar point cloud data-based forest canopy modelling	685
<i>Wojciechowski T., Perski Z.</i> Application of sar interferometry to the assessment of landsliding activity on the edge of The Nowy Sącz Basin	697
<i>Wróbel A., Greiner-Wrona E.</i> Measuring temperature of historical objects by means of thermography	707
<i>Zawieska D.</i> Reconstruction of details of 3D historical monuments on the basis of archival photos	717

**PRÓBA ZROZUMIENIA IDEI KONSTRUKCJI TABLICY
ASTRONOMICZNEJ M. KOPERNIKA NA OLSZTYŃSKIM ZAMKU
Z POMOCĄ POMIARÓW FOTOGRAMETRYCZNYCH**

**AN ATTEMPT AT UNDERSTANDING THE CONCEPT OF NICHOLAS
COPERNICUS' ASTRONOMICAL TABLE, HOUSED IN THE OLSZTYN
CASTLE, USING PHOTOGRAMMETRIC MEASUREMENTS**

Jerzy Mialdun

Zakład Fotogrametrii i Teledetekcji, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

SŁOWA KLUCZOWE: Kopernik, tablica astronomiczna, fotogrametria, równonoc, zegar słoneczny refleksyjny

STRESZCZENIE: Na wewnętrznej ścianie krużganka olsztyńskiego zamku znajduje się niezwykła pamiątka po Mikołaju Koperniku. Jest to tablica o szerokości 7.2 m i wysokości 1.45 m uznawana za jedyny zachowany instrument badawczy, wykonany przez samego astronoma. W ciągu wieków znaczne fragmenty tablicy zostały zniszczone podczas robót budowlanych. W XIX w. podjęto nieprofesjonalną próbę odtworzenia brakujących fragmentów. Pod koniec lat 50 ub. wieku zespół konserwatorów z warszawskich Pracowni Konserwacji Zabytków usunął wszystkie przemalowania i uzupełnienia, które nie miały szesnastowiecznej metryki. Po przeszło 50 latach od tamtej pory nagromadziło się wiele pytań o funkcję jaką miała pełnić ta tablica na zamku. Czy na pewno był to instrument astronomiczny? Powołany jesienią 2006 r. zespół badawczy miał za zadanie wykonanie dokładnej inwentaryzacji fotogrametrycznej i konserwatorskiej oraz wstępnej interpretacji uzyskanych danych. W pierwszej kolejności wykonano barwny fotoplan tablicy. Pomiaru oparto o punkty GPS zastabilizowane na dziedzińcu zamku. Zadanie to wykonali pracownicy Katedry Geodezji Satelitarnej i Nawigacji UWM. Współrzędne tych punktów oraz punktów na tablicy przeliczono do sferycznego układu współrzędnych geograficznych. Następnie wyznaczono azymut płaszczyzny tablicy względem południka miejscowego (przechodzącego przez środek tablicy). Wg badaczy zajmujących się w przeszłości tą tablicą, rysunek na jej powierzchni jest swoistym słonecznym zegarem refleksyjnym. Snując swe przypuszczenia nie określali precyzyjnie położenia zwierciadła względem tablicy. Rozwiązanie tego problemu znajduje się w tej pracy. Mimo nikłych i niepewnych danych wyznaczono położenie zwierciadła z dość dobrą dokładnością. Potwierdzeniem słuszności przyjętego toku badań, jest trwający ciągle eksperyment pomiarowy prowadzony na replce tablicy. Badania konserwatorskie wsparte były wykonaniem i interpretacją zdjęć w podczerwieni oraz luminescencji w ultrafiolecie. Potwierdziły one istnienie wielu przemalowań i zniszczeń na powierzchni tablicy. Analizy barwników, podłoża i tynku potwierdziły, że najstarsze warstwy pochodzą z XVI wieku. Wynikiem precyzyjnych pomiarów fotogrametrycznych rysunku na tablicy jest zbudowanie jej matematycznego modelu. Model ten niestety dość poważnie odstaje w niektórych partiach od rzeczywistości. Oparty jest on na obliczeniach astronomicznych. Żadne XVI-wieczne źródła pisane nie wspominają o tablicy i sam Kopernik nie pisze o niej ani słowem. Stąd wykreowany model jest tylko prawdopodobnym obrazem pierwotnego stanu przyrządu. Czy rzeczywiście był to instrument pomiarowy astronoma? W świetle dotychczasowych badań był to raczej kalendarz astronomiczny i jednocześnie zegar słoneczny i mógł być wykonany przez Kopernika.

1. WSTĘP

Mikołaj Kopernik po studiach w Krakowie i we Włoszech osiadł na stałe na Warmii i spędził na niej blisko 40 lat życia. Od 1516 r. do 1521 r. sprawował urząd administratora dóbr wspólnych kapituły warmińskiej z siedzibą na olsztyńskim zamku. Obowiązki te jednak nie oderwały go od astronomii. Właśnie na olsztyńskim zamku spisał pierwszą księgę *De revolutionibus*... Tu także zachował się widomy i jedyny w swoim rodzaju ślad pobytu Kopernika w Olsztynie – tablica doświadczalna wykonana w 1517 r.

Kopernik zaraz po przyjeździe przystąpił do budowy tablicy (Sikorski, 1993). Badania konserwatorskie wykazały, że sporządzono ją na dwóch warstwach tynku. Należy rozumieć, że warstwą pierwszą był tynk krużganek, a warstwa druga została położona specjalnie na życzenie Kopernika. Prace nad rysunkiem tablicy Kopernik rozpoczął już 25 stycznia 1517 r. obserwując drogę odbicia Słońca na ścianie.

Badania T. Przypkowskiego ustaliły ponad wszelką wątpliwość, że wykres powstał przez rzutowanie na ścianę światła słonecznego odbitego w zwierciadle. Zwierciadło było umieszczone na murku wypełniającym arkady, czyli na parapecie – jak wyraża się Przypkowski. Nie wskazał on nie tylko miejsca, ale nawet konkretnej arkady, w której byłoby ono umieszczone. W badaniach prowadzonych w 1955 r. brał również udział poznański astronom prof. F. Koebeke. Niestety w późniejszych publikacjach nie zamieszczono żadnych wyników pomiarów, obliczeń lub analiz.

Krużganek, w którym znajduje się tablica był wielokrotnie przebudowywany. Użytkownicy zamku obchodzili się z tablicą w sposób bezceremonialny, lecz nie zdołali jej zniszczyć bez reszty (Sikorski, 1993). Zamalowano ją wapnem oraz rozczłonkowano ustawionymi poprzecznie ściankami działowymi. Odsłonięcie i utrwalenie tego, co pozostało zawdzięczamy umiejętnościom konserwatorów dzieł sztuki pod kierownictwem prof. B. Marconiego, którzy w latach 1956-1957 podjęli się badań ratunkowych tablicy.

Jesienią 2006 r. z inspiracji Dyrektora Muzeum Warmii i Mazur w Olsztynie stworzono wielodyscyplinarną grupę badawczą. Celem przyświecającym badaniom jest inwentaryzacja i ocena stanu zachowania tego zabytku oraz rozstrzygnięcie tego, jaką funkcję pełniła ta tablica w instrumentarium Kopernika.

2. OSNOWA, ZDJĘCIA POMIAROWE I BARWNY FOTOPLAN

Olsztyńska geodezyjna osnowa pomiarowa jest niespójną osnową lokalną. Do planowanych w badaniach obliczeń z wykorzystaniem współrzędnych geograficznych sferycznych taki układ jest nieprzydatny. Aby zagwarantować wystarczającą dokładność założono dwa punkty na dziedzińcu zamku w układzie WGS 84. Pomiar i obliczenia wykonali pracownicy Katedry Geodezji Satelitarnej i Nawigacji UWM w Olsztynie. W nawiązaniu do nich pomierzono z dwóch stanowisk tachimetrem bezlustrowym sieć fotopunktów naklejonych na ścianę z tablicą. Po wyrównaniu uzyskano błąd położenia fotopunktów nie większy niż ± 2 mm. Współrzędne fotopunktów przeliczono do układów (Jędrzycka, 2007) PUWG2000 i geograficznego.

Zdjęcia pomiarowe wykonano aparatem cyfrowym OLYMPUS E-510 z obiektywem ZUIKO DIGITAL 14÷58 mm. Matryca z pikselami o wielkości 5.4 μm zagwarantowała wymiar terenowy piksela 1.1 mm. Zdjęcia zaprojektowano tak, aby można było zageścić osnowę fotogrametryczną metodą terratriangulacji.

Powierzchnia tablicy jest prawie płaska. Grubość pozostałości tynku nie przekracza 20 mm. Można zatem wykorzystać do geometryzacji zdjęć transformację metodą rzutową. Zdjęcia przetworzono w programie IRAS C uzyskując błędy wpasowania nie większe niż ± 3 mm.

Łączenie przetworzonych fotogramów i końcową redakcję fotoplanu wykonano w programie Photoshop.



Rys. 1. Barwny (w oryginale) fotoplan tablicy astronomicznej M. Kopernika w krużganku olsztyńskiego zamku

Dla celów badań konserwatorskich wykonano serie zdjęć luminescencji wywołanej promieniami UV oraz w podczerwieni cz-b. Ujawniły one szereg przemalowań oraz miejsca, z których usunięto pierwotny rysunek. Nie znaleziono żadnego śladu grafitu lub rylca, którym, jak przypuszczano, nanoszono szkic przebiegu linii. Pobrane próbki farb i tynku przesłano do laboratorium gdzie określono ich metrykę na XVI w. Wybrane zdjęcia przetworzono metodą „*image to image*” i wklejono do nowej warstwy fotoplanu.



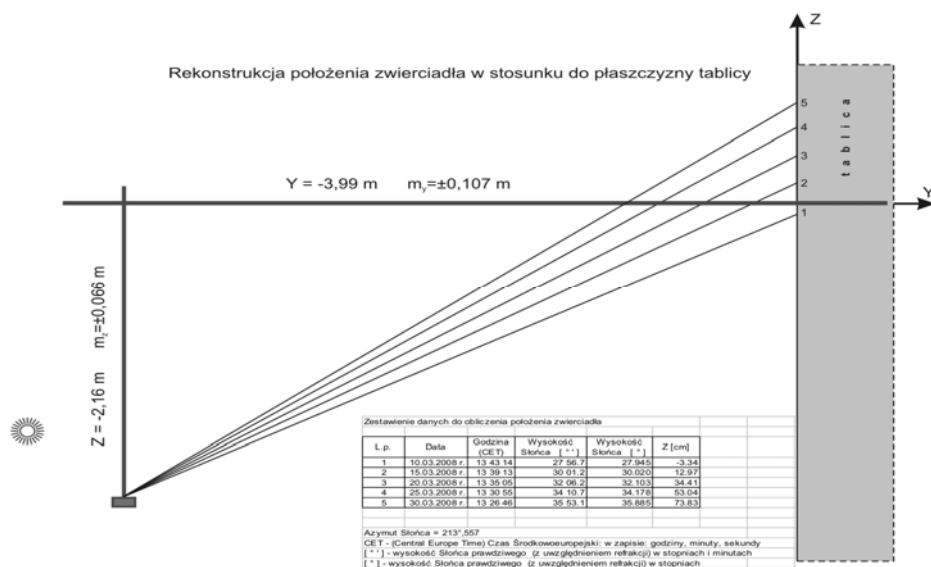
Rys. 2. Fragment fotogramu luminescencji wywołanej promieniowaniem UV

3. MATEMATYCZNY MODEL TABLICY

Aby zrozumieć funkcje, jakie pełniła tablica trzeba odtworzyć proces jej powstawania. Głównym problemem, jaki pojawił się na wstępie było określenie położenia zwierciadła względem tablicy. Dokładne badania konserwatorskie ujawniły walcowaty, głęboki otwór w ścianie sugerujący umieszczenie w nim grubego pręta podtrzymującego jakieś urządzenie. Postawiono tezę, że urządzeniem tym było zwierciadło. Należy tu wspomnieć, że powinno ono być poziome. Idąc za podpowiedzią badaczy (Przyrkowski, 1960) mogło to być naczynie z rtęcią, a nawet czerwone wino.

Przyjęto również (Przyrkowski, 1960), że czerwone linie biegnące od lewa w prawo skośnie w dół, to rysunki śladu odbitych promieni słonecznych w odstępach pięciodniowych. Linia oznaczona na oryginalnej tablicy literami A, I, T, niegdyś koloru niebieskiego, to ślad Słońca w dniu równonocy. Litery te interpretowane są przez badaczy, jako pozostałość po napisie *AEQUINOCTIUM*, gdzie litery A i E są połączone w jedną (Przyrkowski, 1960). Linia ta jest linią prostą pozostałe powinny być zniekształconymi fragmentami hiperbol. Zniekształcenie to wynika z tego, że ściana nie jest prostopadła do południka miejscowego. Azymut wyliczony ze współrzędnych fotopunktów wynosi 123.557° .

W celu wyznaczenia położenia zwierciadła w układzie tablicy posłużono się następującą konstrukcją geometryczną:



Rys. 3. Słońce przechodząc przez płaszczyznę pionową i prostopadłą do tablicy odbija się w zwierciadle rzucając ślad na krawędzi tych płaszczyzn. Wartości Z w ostatniej kolumnie tabeli są odległościami przecięcia się krawędzi płaszczyzn z liniami dziennymi od otworu w tablicy

Poprowadzono płaszczyznę jednocześnie pionową i prostopadłą do płaszczyzny tablicy przez wspomniany wyżej otwór. Na fotopłanie zmierzono odległości punktów przecięcia się krawędzi tych płaszczyzn z liniami na tablicy od otworu. Posługując się programem autorstwa R. Tomasika *Astronomiczny Kalendarz*, wyznaczono wysokość Słońca w momencie przejścia przez płaszczyznę prostopadłą w 4 odstępach pięciodniowych, 1 przed i 3 po równonocy wiosennej. W 1517 r. dzień ten wypadł 11 marca wg kalendarza juliańskiego. Znając kierunek promieni padających na tablicę i położenie punktów przebiecia jej przez te promienie można napisać układ liniowych równań poprawek.

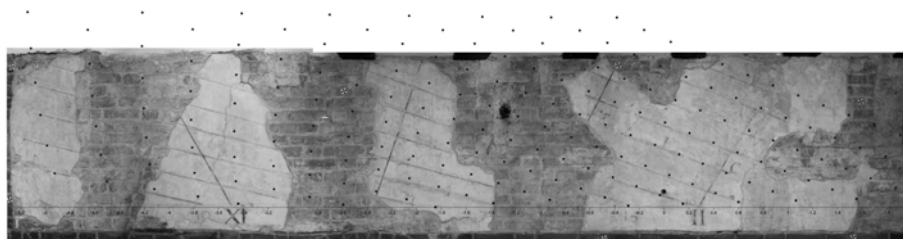
$$\mathbf{A} \times \mathbf{X} + \mathbf{Z} = \mathbf{V} \quad (1)$$

gdzie:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0.53048 & -1 \\ 0.57782 & -1 \\ 0.62737 & -1 \\ 0.67904 & -1 \\ 0.72348 & -1 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{X} = \begin{bmatrix} y \\ z \end{bmatrix}, \quad \mathbf{Z} = \begin{bmatrix} -3.34 \\ 12.97 \\ 34.41 \\ 53.04 \\ 73.83 \end{bmatrix}$$

Wyniki rozwiązywania układu równań (1) przedstawione są na rysunku 3.

Wykorzystując te dane i program *Astronomiczny Kalendarz* obliczono położenia śladów Słońca na tablicy w odstępach pięciodniowych, co 10 minut między godziną 10 a 16 CET (*Central European Time*). Po nałożeniu wektorowej prezentacji tych wyników na fotopłan można zaobserwować rozbieżności między wygenerowanym modelem i tym, co pozostało po oryginalnym rysunku na ścianie.



Rys. 4. Fotopłan z nałożoną warstwą prezentującą położenia śladów Słońca wg wygenerowanego modelu

Czarne kropki reprezentujące położenia śladów Słońca na tablicy układają się w linie dwojakiego rodzaju:

- związane z wędrówką Słońca po nieboskłonie w ciągu dnia (linie dzienne),
- związane z wędrówką Słońca po nieboskłonie w ciągu kolejnych dni o tej samej godzinie (linie godzinne).

Linie opadające w dół z lewa na prawo (dzienne, co 5 dni) w dużej części pokrywają się z rysunkiem na tablicy. Linia równonocy jest prosta i pokrywa się z oryginałem, inne nieco odbiegają od oryginału. Powodów może być kilka. Może być to

na skutek zniszczeń i przemalowań. Linie na ścianie są proste a na modelu hiperboloidalne.

Linie godzinne są w okolicy napisu XI prawie pionowe, są to linie godzin około południa. Reprezentują one równe godziny i minuty w odstępach 10 minutowych. Na zegarach słonecznych wykorzystywanych w XVI w. są to linie proste. W modelu wykorzystano do obliczeń czas CET, więc linie są nieco zakrzywione, bo są fragmentami analemy. Rysunek na tablicy w postaci czarnych linii opisanych czarnymi liczbami rzymskimi sugeruje intuicyjnie, że mógłby być to refleksyjny zegar słoneczny. Porównanie tej konstrukcji z modelem jednak nie potwierdza tego. Gdzie należy szukać przyczyny tej niezgodności? Badacze sugerują (Sikorski, 1993), że namalowane zostały później, niezgodnie z zasadami sztuki gnomonicznej.

4. EKSPERYMENT SPRAWDZAJĄCY

Przestrzegając zasady, że nie wolno eksperymentować na zabytkach postanowiono zbudować replikę tablicy ze zwierciadłem. Wybrano południową ścianę zamku, ponieważ jest równoległa do tej, na której znajduje się oryginał oraz dobrze oświetlona przez cały dzień. Równoległość ścian jest zdumiewająca. Na długości 8 m wybranego fragmentu ściany odchyłka wyniosła tylko 58 mm.

Na stalowej ramie umocowano płytę z tekstolitu, na którą naklejono fototapetę z fotoplanem oryginału tablicy w skali 1:1. W miejscu gdzie znajduje się otwór w ścianie (naoryginale) wstawiono prostopadle do tablicy rurę o przekroju prostokątnym. Na tym ramieniu zawieszono na dwóch prętach zwierciadło. Położenie zwierciadła można regulować dzięki przesuwным tulejom. W pierwszej wersji zwierciadło naklejone na warstwę korka miało pływać w zbiorniczku na powierzchni oleju. Miał to być sposób na automatyczne poziomowanie lustra. Użycie rtęci ze względów bezpieczeństwa było wykluczone. Pierwsze próby pokazały, że silne przeciągi między ścianą i murem obronnym powodowały kołysanie się lustra. Obraz odbitych promieni słonecznych na tablicy był w ciągłym ruchu, co uniemożliwiało znalezienie stabilnego, możliwego do zarejestrowania położenia „zajęczka” (Sikorski, 1993). Lepszym rozwiązaniem okazało się umieszczenie lustra o średnicy 50 mm na spodarce teodolitu.

Pierwsze próby rejestracji położenia „zajęczka” na replice tablicy rozpoczęto na początku marca 2008 r. Pomierzono położenie obrazów fotopunktów sygnalizowanych na oryginalnej tablicy. Średni błąd ich wzajemnego położenia nie przekroczył ± 10 mm. Rejestracji dokonywano aparatem cyfrowym OLYMPUS E 510 sterowanym z komputera. Firmowe oprogramowanie pozwala na wykonywanie zdjęć o zadanej porze i w zadanych odstępach czasu. Zegar komputera i aparatu zsynchronizowany był przez odbiornik GPS z czasem UTC (*Coordinated Universal Time*). Zdjęcia wykonywane były, co 10 minut i zapisywane w formacie RAW na dysku komputera. Czas wykonania zdjęcia i inne parametry zapisywane są w tym formacie w osobnym pliku Exif (*Exchangeable Image File Format*).



Rys. 5. Replika tablicy astronomicznej z widocznym na niej „zajączkiem”

Posiadając takie dane można obliczyć położenie śladu tarczy słonecznej na oryginale tablicy. Można wygenerować film pokazujący ruch tego śladu. Łącząc zarejestrowane ślady można stworzyć wirtualną tablicę doświadczalną.

W czasie eksperymentu wiosennego rozpoczętego 20 dni przed dniem równonocy wiosennej przypadającej w tym roku na 22 marca napotkano wiele trudności. W większości były to problemy związane z pogodą. Bezchmurne dni w tym okresie były tylko 2 i kilka częściowo bezchmurnych. Wystąpiły problemy techniczne. Powierzchnia fototapety jest gładka i przy niekorzystnym położeniu Słońca lśniła. Zadaszenie mające dawać namiastkę zacienienia w krążanku było niekiedy nieskuteczne. Silne porywy wiatru destabilizowały konstrukcję. Reakcje zwiedzających zamek czasami były bardzo uciążliwe.

Po pierwszych obserwacjach i przemyśleniach eksperyment jest kontynuowany. Kolejna kampania rozpoczęła się 7 września na 15 dni przed dniem równonocy jesiennej.

5. WNIOSKI

Badania i eksperyment potwierdziły znaną opinię, że metody fotogrametrii i teledetekcji znakomicie nadają się do inwentaryzacji i rejestracji zmian stanu zabytków. Dostarczyły one danych, które przybliżają badaczy do zrozumienia idei powstania tego dzieła. Podsumowując dotychczasowe badania można stwierdzić, że:

- Linie dziennej wędrówki Słońca są mało precyzyjne, aby mogły służyć do pomiarów. Może to tylko skutek zniszczeń i przemalowań. Z drugiej strony (Sikorski, 1993) Kopernik wykonał tę tablicę wiosną 1517 r. Czy miał tyle czasu i pogodnych dni, aby zrobić to na podstawie obserwacji? Może obserwacje były fragmentaryczne a obraz linii powstał w drodze ekstrapolacji;
- Wyróżniona na niebiesko linia równonocy wg badaczy miała szczególne znaczenie. Mogła służyć do obliczenia daty Świąt Wielkanocnych. Dzień równonocy wiązał się w tym czasie ze zdarzeniami ekonomicznymi, np. daty poboru podatków? Wreszcie wieloletnie obserwacje mogły pokazać niezgodność długości roku wg kalendarza juliańskiego z rokiem słonecznym. M. Kopernik

od 1513 r. brał udział w pracach nad reformą kalendarza (Sikorski, 1993). I choć oficjalnie zakończył je w 1516 r. mógł dalej zajmować się tym problemem;

- Czarne ukośne linie przypominające linie godzinne na zegarach słonecznych nie pasują do opracowanego modelu matematycznego. Szczególnie linia opisana rzymską liczbą XI mocno odstaje od modelu. Gdyby te linie pasowały do modelu można by zaryzykować tezę, że Kopernik prowadził badania związane z równaniem czasu;
- Wobec wielu wątpliwości autor skłania się do opinii, że był to swoisty, służący lokalnej społeczności, kalendarz. Miał on swój początek wczesną wiosną i przy założeniu, że miał swoją kontynuację na suficie, kończył się późną jesienią. Wątpliwym jest by czarne linie były tarczą zegara słonecznego.

6. LITERATURA

Boroń A., Wróbel A., 2006. Metoda wytwarzania barwnych fotoplanów rozwinięć malowideł na powierzchniach kolebkowych z zastosowaniem kamery fotogrametrycznej i aparatów cyfrowych, *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, vol. 16, *Stare Jabłonki*.

Cacoń S., Hlibowicki R., Krzeszowski M., 1971. *Elementy geodezji wyższej i astronomii geodezyjnej*. Skrypty Wyższej Szkoły Rolniczej we Wrocławiu, Wrocław.

Cygański J., 2006. Astronomiczna tablica Mikołaja Kopernika. *Spotkania z Zabytkami*, 11, s.17-18.

Jędrzycka R., 2007. Transformacja współrzędnych punktów Tablicy Astronomicznej Mikołaja Kopernika między różnymi układami. *Sprawozdanie z wykonania zadania*, Muzeum Warmii i Mazur w Olsztynie.

Przytkowski T., 1960. Astronomiczne zabytki Olsztyna, *Rocznik Olsztyński*, t. 2, s. 138-160.

Sikorski J., 1993. Z zagadnień organizacji pracy badawczej i warsztatu naukowego Mikołaja Kopernika. *Komunikaty Warmińsko-Mazurskie*, 2(200), s. 131-166.

Tomasik R., Astronomiczny Kalendarz, <http://tgv.neostrada.pl/astro/>

AN ATTEMPT AT UNDERSTANDING THE CONCEPT OF NICHOLAS COPERNICUS' ASTRONOMICAL TABLE, HOUSED IN THE OLSZTYN CASTLE, USING PHOTOGRAMMETRIC MEASUREMENTS

KEY WORDS: Copernicus, astronomical table, photogrammetry, equinox, reflective sundial

Summary

On the inner wall of the gallery in the Olsztyn Castle, there is an unusual memento, left there by Nicholas Copernicus. It is a table, 7.2 m wide and 1.45 m high, regarded as the only research instrument built by the astronomer himself. Over the centuries, fragments of the table have been damaged during construction works. In the 19th century, amateur restorers made an attempt to reconstruct the missing fragments. In the 1960s, a team of restorers from the Warsaw Monument Conservation Workshop removed all the paint coats and fillings added on past the 16th century. Now, forty years later, numerous questions persist as to the function the table was to fulfill in the castle. Was it really an astronomical instrument?

In autumn 2006, a research team was charged with the task of preparing a complete photogrammetric and conservation stocktaking and preliminary interpretation of the data. First, a precise colour orthophotomap of the table was made. The measurements were based on GPS points, stabilised on the castle courtyard. The task was performed by the personnel of the Department of Satellite Geodesy and Navigation of the University of Warmia and Mazury. The coordinates of those points and of the points on the table were recalculated into a spherical system of geographical coordinates. The azimuth of the table plane was then determined in relation to the local meridian (running through the table centre).

According to the scholars who studied the table in the past, the drawing on its surface is a kind of reflective sundial. Those researchers did not determine the mirror's position against the table with any precision. The problem has been solved in this study. Despite scarce and uncertain data, the mirror's position has been determined with considerable precision. The working hypothesis has been confirmed by an ongoing experiment involving a replica of the table.

The restoration study has been aided by infrared photographs and UV luminescence. Analysis and interpretation of the results have confirmed the table to have been covered by numerous coats of paint and to have damaged fragments. Analyses of dyes, base, and plaster showed the oldest layers to derive from the 16th century.

The precise photogrammetric measurements of the table's drawing allowed to develop its mathematical model. However, in some parts, the model significantly deviates from the original and is based on astronomical calculations. None of the 16th century sources mentioned the table and Copernicus himself did not write a word about it. Hence, the model developed is only a putative image of the original condition of the instrument.

Was it really the astronomer's measurement instrument?

In the light of the research conducted so far, it appears that it was an astronomical calendar, and that it may have indeed been made by Copernicus.

dr inż. Jerzy Miałdun
e-mail: jerzy.mialdun@uwm.edu.pl
www.morska.com/mialdun
telefon: 0 89 523 49 92

**MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA WIELOCZASOWYCH OBRAZÓW
ZNORMALIZOWANEGO INDEKSU WEGETACJI (NDVI)
I ARCHIWALNYCH ORTOFOTOMAP DO BADANIA ZMIENNOŚCI
WYBRANYCH ELEMENTÓW ŚRODOWISKA**

**A POSSIBILITY OF USING TEMPORAL IMAGES OF NORMALISED
DIFFERENCE VEGETATION INDEX (NDVI) FOR DETECTION OF
ENVIRONMENTAL CHANGES**

Krystyna Michałowska, Beata Hejmanowska

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

SŁOWA KLUCZOWE: Słowiński Park Narodowy (SPN), NDVI, ortofotomapy lotnicze, GIS, zmiany pokrycia terenu.

STRESZCZENIE: W artykule przedstawiono badania mające na celu ocenę możliwości wykorzystania wieloczasowych indeksów wegetacji NDVI (*Normalised Difference Vegetation Index*) w badaniu zmienności wybranych elementów środowiska na przykładzie analizy zmian strefy brzegowej jezior SPN oraz przemieszczania się wydmy. Jeziora w Słowińskim Parku Narodowym, obok wydmy nadmorskich, stanowią jeden z podstawowych elementów krajobrazu i zajmują blisko 30% powierzchni całkowitej Parku. Największe z nich, Łebsko jest trzecim, co do wielkości jeziorem w Polsce. Na przestrzeni lat obserwuje się proces sukcesywnego zmniejszania powierzchni zbiorników jeziornych w wyniku ciągłego wypłycania i zarastania przez roślinność. W badaniach, bazę danych stanowiły obrazy satelitarne oraz znormalizowany indeks wegetacji NDVI z lat 1979 i 2000, wieloczasowe ortofotomapy ze zdjęć lotniczych oraz wektorowa mapa zasobów wodnych. Wygenerowana różnicowa mapa NDVI dała możliwość zlokalizowania obszarów, na których zaszły diametralne zmiany pokrycia terenu i określenia charakteru procesów powodujących te przekształcenia. Ortofotomapy lotnicze odzwierciedlające stan w pięciu kolejnych dekadach od 1964 do 2004 roku, umożliwiły wyznaczenie linii brzegowych jezior, a następnie określenie tempa i stopnia przekształceń powierzchni badanych zbiorników oraz pozwoliły na śledzenie przemieszczania się wydmy. Ponadto, ortofotomapy z okresu 1975 i 2004 i uzyskane na ich podstawie mapy wektorowe linii brzegowej jezior, pozwoliły zweryfikować wyniki analizy mapy różnicowej NDVI.

1. WPROWADZENIE

Opracowanie dotyczy terenów Słowińskiego Parku Narodowego, którego jeziora stanowią około 30 % jego powierzchni. Szczególnym elementem krajobrazu Parku jest Mierzeja Łebska z wydmy, oddzielająca od morza wszystkie przybrzeżne jeziora tj. Łebsko, Gardno, Dołgie Wielkie i Dołgie Małe. Największe z nich, Łebsko jest trzecim, co do wielkości jeziorem w Polsce i zajmuje powierzchnię 7142 ha (długość 16,4 km, szerokość 7,6 km a maksymalna głębokość to 6,3 m). Przez Łebsko przepływa rzeka Łeba, natomiast przez Gardno rzeka Łupawa, które uchodzą do Bałtyku. Podobnie jak

jezioro Gardno jest zbiornikiem słonawowodnym. Obydwa jeziora połączone są z Morzem Bałtyckim za pomocą krótkich odcinków ujściowych Łeby i Łupawy. W czasie silnych sztormowych wiatrów wiejących od strony Bałtyku wody morskie mieszają się z wodami jezior. To okresowe zjawisko cofki, czyli wlewów słonawej wody morskiej przez koryta rzek wywołuje podniesienie lustra wody oraz niewielkie, zmienne zasolenie wód jeziornych. Miejscami zasolenie osiąga wartość nawet 10 promili (Matuszewska, 2001), co ma istotny wpływ na zmiany warunków życia organizmów żyjących w tych zbiornikach. Wysoki stopień eutrofizacji jezior wywołany jest dopływem materiału organicznego wnoszonego przez wpływające rzeki, odprowadzeniem rowów melioracyjnych oraz na drodze spływu powierzchniowego. Powierzchnia jezior Łebsko i Gardno ulega stopniowemu zmniejszaniu na skutek rozwoju szuwarów trzcinowych rosnących w przybrzeżnych płycznach i na podmokłych brzegach oraz osadzania się piasku na północnych brzegach Łebska, nawiewanego z przesuwających się w kierunku południowo-wschodnim wydmy Mierzei Łebskiej (Piotrowska, 1997). Wydmy „wsypujące się” bezpośrednio do jeziora oraz ekspansja szuwarów przyczyniają się do ograniczania powierzchni lustra wody, od 0,3 do 3 m/rok (Miszalski, 1973). Z danych Schechtla wynika, iż jezioro Łebsko od 1884 do 1920 roku (36 lat) zmniejszyło się wskutek zarastania o 104 ha (Shechtel, 1984), a od roku 1941 o około 382 ha (Matuszewska, 2001). Proces wypłacania zbiornika obserwowany jest stale i na całym jego obszarze.

W artykule przedstawiono badania strefy brzegowej jezior SPN prowadzone w aspekcie możliwości wykorzystania wieloczasowych obrazów znormalizowanego indeksu wegetacji (NDVI) i archiwalnych ortofotomap lotniczych do określenia stopnia przekształcenia linii brzegowej zbiorników wodnych.

2. CHARAKTERYSTYKA MATERIAŁÓW i METOD BADAWCZYCH

2.1. Dane i oprogramowanie

W projekcie wykorzystano materiały wchodzące w skład bazy danych utworzonej w ramach wcześniejszych prac badawczych (Michałowska, Głowienka, 2007):

- ortofotomapy uzyskane na podstawie zdjęć lotniczych z lat 1964, 1975, 1984, 1995/97 i 2004 (średni błąd kwadratowy określenia położenia punktu: poniżej 0,5 m) (Michałowska *et al.* 2007),
- ortofotomapy satelitarne z systemu LANDSAT MSS z roku 1979 oraz LANDSAT +ETM z roku 2000 (Tabela 1),
- obrazy indeksu wegetacji NDVI utworzone na podstawie ortofotomap satelitarnych,
- wektorowa mapa zasobów wodnych (rzeki, kanały, jeziora na terenie Parku) pozyskana z zasobów SPN.

Tabela 1. Charakterystyka sensorów Landsat MSS i ETM+

sensor	Zakres spektralny	Ilość kanałów	Rozdzielczość przestrzenna	Data rejestracji
LANDSAT MSS	0.50 – 1.10	4	79	31.05.1979
LANDSAT ETM+	0.45 – 2.35	6	30	13.06.2000

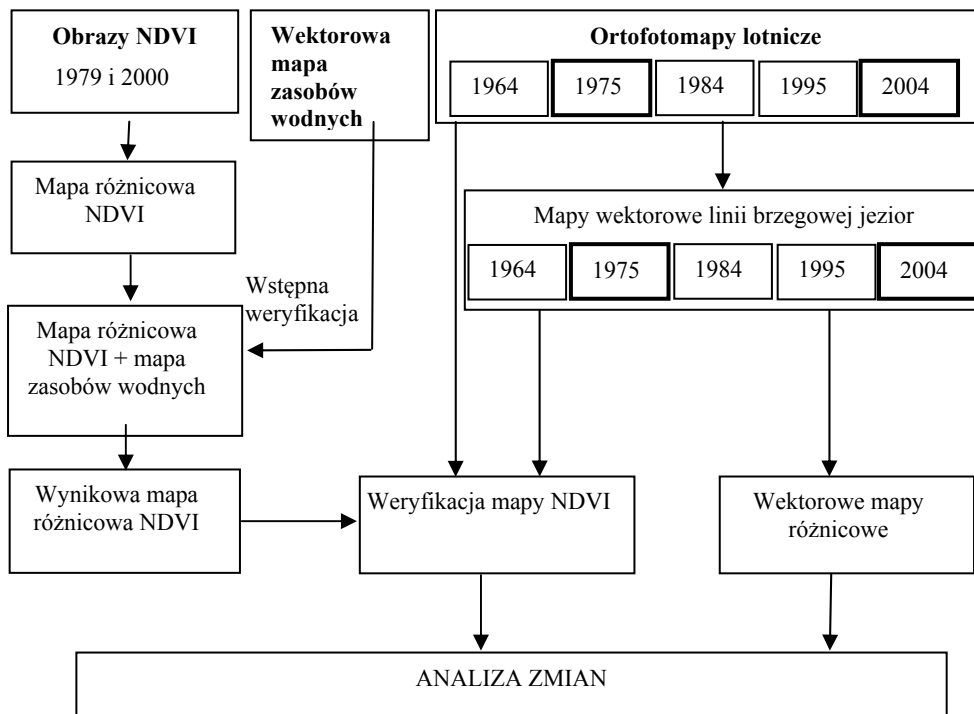
Wszystkie dane zgromadzone zostały w środowisku GIS. Do wektoryzacji nowych obiektów wykorzystywano oprogramowanie firmy INTERGRAPH, GeoMedia v.6.0 (GM). Analizy przestrzenne na danych wektorowych, rastrowych oraz ortofotomapach lotniczych wykonano w GM. Natomiast przetwarzanie obrazów satelitarnych wykonano w programie ENVI v. 4.3 firmy RSİ.

2.2. Metodyka

Celem badań była ocena możliwości wykorzystania wieloczasowych indeksów wegetacji NDVI w badaniu zmian linii brzegowej zbiorników wodnych. Na podstawie wstępnie przetworzonych i ujednoliconych danych satelitarnych (Michałowska, Głowienka, 2007) wygenerowano różnicową mapę znormalizowanego indeksu wegetacji poprzez odjęcie od wartości NDVI z 2000 roku wartości NDVI z roku 1979. W następnej kolejności wartości różnic grupowano w celu określenia obszarów charakteryzujących się wzrostem wegetacji, jej zanikiem lub pozostających bez zmian. Przedziały wartości różnic ustalano weryfikując wynik przyjętej kategoryzacji z danymi zawartymi na wektorowej mapie zasobów wodnych SPN.

W dalszym etapie, na podstawie ortofotomap lotniczych, zwektoryzowano linię brzegową wszystkich czterech jezior znajdujących się na terenie SPN. Ze względu na charakter badań, mających na celu analizę stopnia i tempa zmian powierzchni wody jezior, zwektoryzowano linie na styku wody i brzegu lub wody i roślinności sukcesywnie zarastającej zbiornik. Nowe obiekty odzwierciedlały więc aktualną (dla każdego z pięciu roczników) powierzchnię lustra wody badanych jezior. Wykorzystując funkcje GM utworzono cztery wektorowe mapy różnicowe (Michałowska, 2007) przedstawiające wielkość przesunięcia linii brzegowej w poszczególnych dekadach. Tego rodzaju mapy mogą być podstawą do określania tempa zmian strefy brzegowej poprzez pomiar przesunięcia konturów poszczególnych odcinków brzegowych.

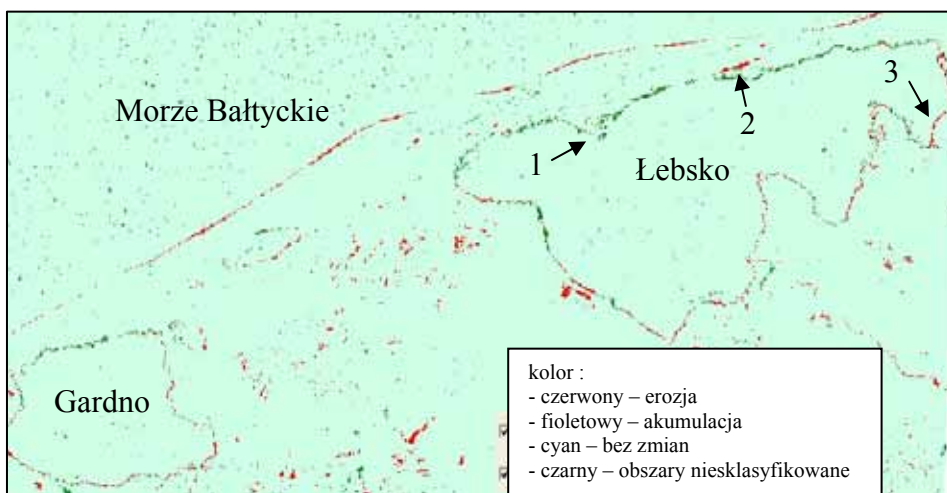
Weryfikację rastrowej mapy różnicowej NDVI przeprowadzono metodą wizualną porównując uzyskane kategorie z wektorową mapą różnicową i z ortofotomapą lotniczą. Mapa różnicowa NDVI posłużyła również do określania tempa zmian strefy brzegowej jezior.



Rys. 1. Etapy przetwarzania danych

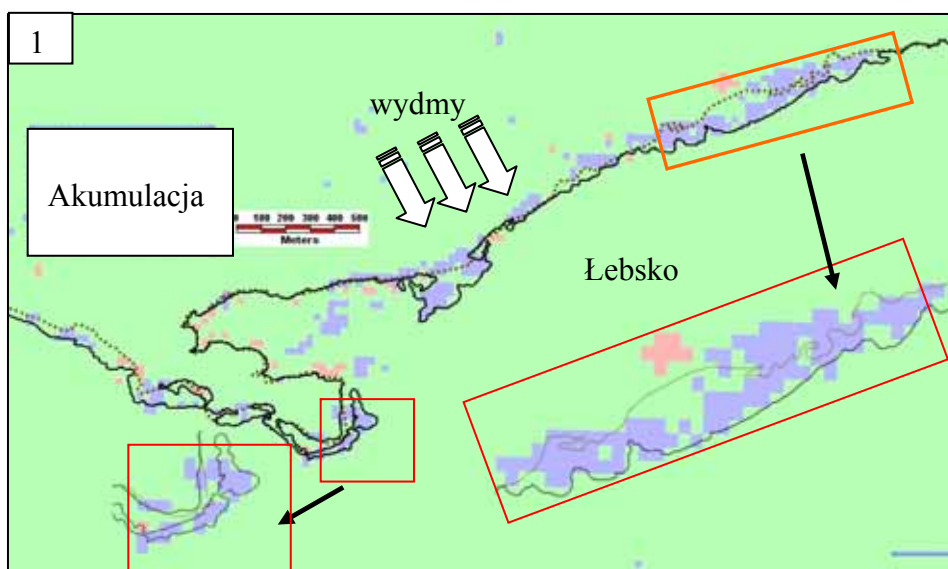
3. WYNIKI

Wynikową mapę różnicową NDVI wyświetlono w czterostopniowej skali barwnej (Rys. 2). Przyjęto, iż przedział wartości NDVI od -0,41 do 0,41 oznacza brak intensywnych zmian wegetacji na danym terenie (kolor cyan). Dwa przedziały (-0,81 do -0,41) oraz (0,41 do 1,0) odnoszą się do obszarów, na których zaszły diametralne zmiany pokrycia terenu. Pierwszy z nich wskazuje miejsca, gdzie nastąpił całkowity zanik wegetacji (kolor czerwony). Drugi przedział, z wartościami dodatnimi (kolor fioletowy), dotyczy obszarów o bardzo intensywnym wzroście wegetacji. Wartości NDVI poniżej -0,81 odnoszą do obszarów niesklasyfikowanych (kolor czarny). W celu weryfikacji przyjętej kategoryzacji zmian, wynikową mapę różnicową wyświetlono w połączeniu z wektorową mapą zasobów wodnych SPN, co pozwoliło na wstępne sprawdzenie zgodności pokrycia się konturów brzegowych jezior z konturami widocznymi na użytym obrazie. Odpowiednio zdefiniowane przedziały wartości pozwoliły na uzyskanie mapy najbardziej intensywnych zmian pokrycia terenu na badanym obszarze.

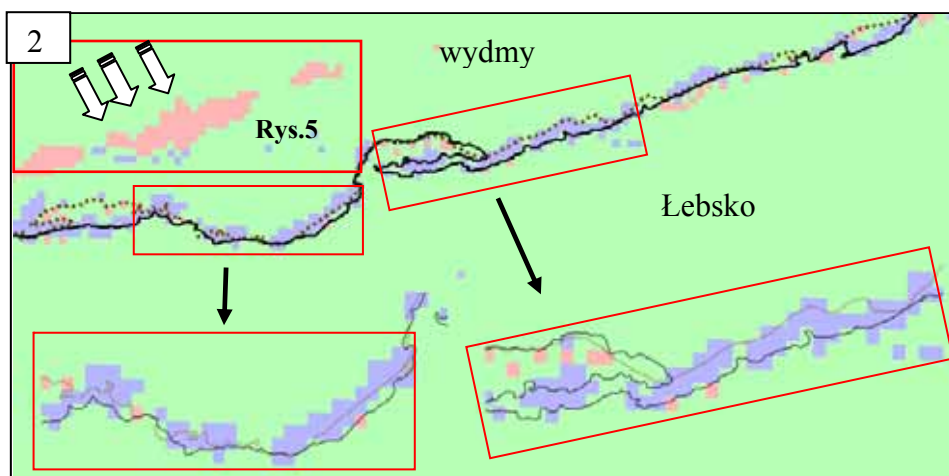


Rys. 2. Różnicowa mapa znormalizowanego indeksu roślinności (NDVI z roku 2000 NDVI z roku 1979) przedstawiająca najbardziej radykalne zmiany roślinności w badanym okresie; cyframi: 1, 2 i 3 oznaczono obszary przedstawione w powiększeniu na rysunkach: Rys. 3, Rys. 4, Rys. 5 i Rys. 6

Wynikowy obraz różnicowego NDVI odczytano w programie GM równocześnie z wektorowymi mapami powierzchni jezior utworzonymi na podstawie ortofotomap lotniczych. Przy czym, weryfikacji konturów na obrazie różnicowego indeksu roślinności dokonano na podstawie map wektorowych z lat 1975 i 2004. Mapy z tych właśnie roczników wybrano ze względu na porównywalny interwał czasowy różnicowej mapy NDVI (1979 i 2000). Na rysunkach (Rys. 2, Rys. 3) przedstawiono fragmenty mapy NDVI z nałożoną warstwą wektorową powierzchni jeziora Łebsko z lat 1975 (linia przerywana) i 2004 (linia ciągła), gdzie widać, iż wektorowe kontury linii brzegowej pokrywają się z konturami rastrowymi NDVI (kolor fioletowy). Wyraźne przesunięcie linii brzegowej od 1975 do 2004 roku w głąb jeziora świadczy o akumulacyjnym charakterze zmian, co potwierdzają także dodatnie wartości NDVI (kolor fioletowy) na danym odcinku brzegu.



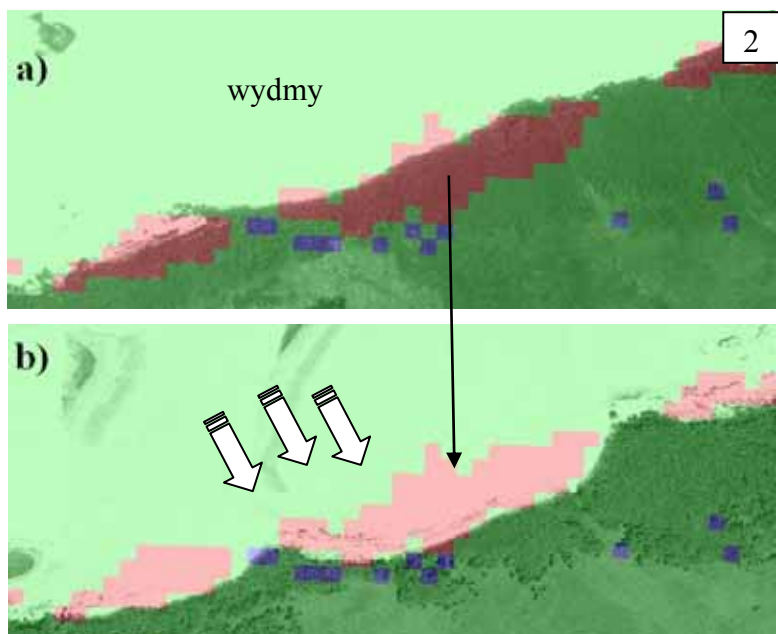
Rys. 3. Mapa różnicowa NDVI z nałożoną warstwą wektorową linii brzegowej z roku 1975 (linia przerywana) i 2004 (linia ciągła) jeziora Łebsko (dodatknie wartości wskazujące na wzrost wegetacji oznaczono kolorem fioletowym – akumulacja)



Rys. 4. Mapa różnicowa NDVI z nałożoną warstwą wektorową odcinka linii brzegowej jeziora Łebsko z roku 1975 (linia przerywana) i 2004 (linia ciągła), (dodatknie wartości wskazujące na wzrost wegetacji oznaczone kolorem fioletowym – akumulacja, zanik wegetacji – kolor czerwony, powiększenie na 0)

Kolejnym krokiem było nałożenie różnicowej mapy NDVI na ortofotomapy z lat 1975 i 2004, co umożliwiło dodatkową kontrolę poprawnej interpretacji obszarów o intensywnym wzroście lub zaniku wegetacji. Przedstawiony na rysunku (Rys. 5a) obszar, początkowo porośnięty lasem, został następnie zasypany przez ruchomą wydmę, co jest wyraźnie widoczne na ortofotomapie z 2004 roku (Rys. 5b). O intensywnych

zmianach pokrycia terenu w tym miejscu świadczą również ujemne wartości na mapie NDVI (czerwony kolor).



Rys. 5. Całkowity zanik wegetacji widoczny na fragmencie różnicowej mapy NDVI nałożonej na ortofotomapy z podobnego okresu - tereny porośnięte przez las (a), zasypane następnie przez wydmy (b)

4. ANALIZA ZMIAN I DYSKUSJA WYNIKÓW

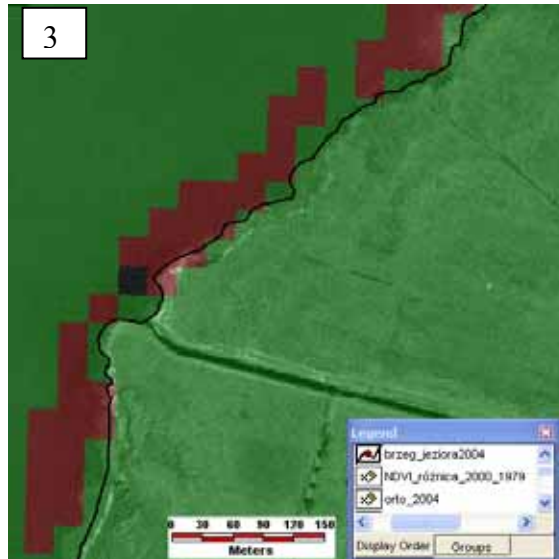
Ilościową analizę zmian położenia linii brzegowej jeziora Łebsko przeprowadzono dwoma metodami wykorzystując rastrową mapę różnicową NDVI uzyskaną z ortofotomap satelitarnych i wektorową mapę różnicową z ortofotomap lotniczych.

4.1. Rastrowa mapa różnicowa NDVI

Jak wynika z analizy różnicowej mapy NDVI (Rys. 2) wzdłuż pasa brzegowego jezior oraz brzegu morskiego (nie analizowanego tak szczegółowo, jak jezior, w niniejszej publikacji) zaszły intensywne zmiany pokrycia terenu. Wielkość tych przekształceń oraz ich charakter (erozyjny bądź akumulacyjny) był różny w zależności od miejsca występowania. Wysokie dodatnie wartości NDVI na północnych brzegach jezior SPN wskazują na dynamiczny wzrost wegetacji, który może być spowodowany procesem osadzania się piasku przesypanych z wydm i intensywnego rozwoju szuwarów trzcinowych na przybrzeżnych płycznach oraz podmokłych brzegach. Pomierzone wielkości przesunięć linii brzegowej wskazują na cofanie się lustra wody w tempie od 1÷3 m/rok. Analizując różnicowy NDVI, można zaobserwować wyraźną tendencję akumulacji wzdłuż północnych brzegów jezior SPN. Obszary południowej strefy brzegowej jezior charakteryzują się w większości ujemnymi wartościami

różnicowego NDVI (0). Kierując się wartościami różnicowego NDVI można łatwo określić obszary, gdzie nastąpiły istotne zmiany pokrycia terenu. Zgodność konturów brzegowych

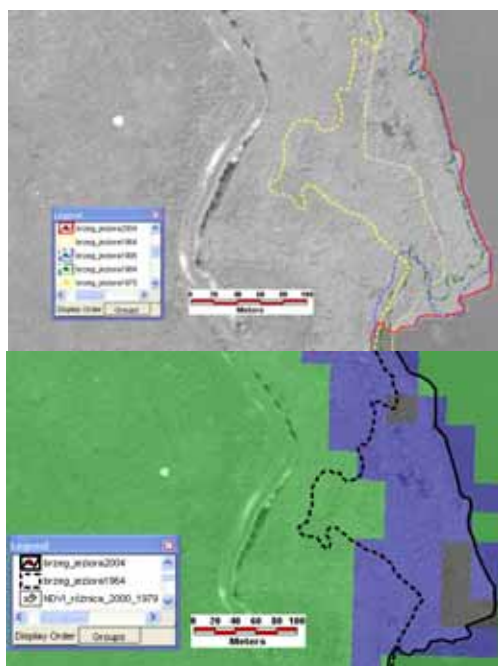
na mapie NDVI z danymi wektorowymi pozyskanymi na podstawie ortofotomap lotniczych, o większej rozdzielczości przestrzennej niż obrazy satelitarne LANDSAT, z których pochodzą mapy różnicowe NDVI wskazuje, iż zastosowana metoda obliczenia różnicy wieloczasowego indeksu wegetacji jest poprawna.



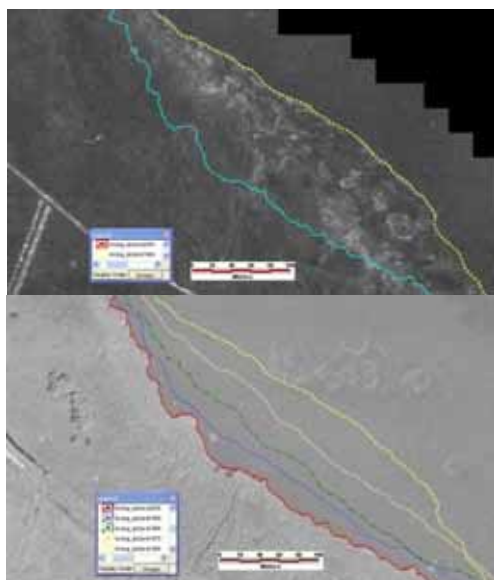
Rys. 6. Ujemne wartości NDVI na mapie różnicowej nałożonej na ortofotomapy z 2004 roku wskazujące na proces erozji wybranego odcinka brzegowego jeziora Łebsko

4.2. Ortofotomapy lotnicze i utworzone na ich podstawie mapy wektorowe

Z punktu widzenia możliwości interpretacji wizualnej, ortofotomapy lotnicze stanowią materiał jakościowo lepszy niż mapy NDVI. Linie brzożowe jezior i granice wydm można z łatwością zinterpretować i z dużą dokładnością przestrzenną zwektoryzować. W związku z tym wektorowe mapy powierzchni jeziora Łebsko posłużyły do analizy zmian jego linii brzożowej, głównie w aspekcie zmniejszenia się powierzchni lustra wody na przestrzeni 40 lat od roku 1964 do 2004. Z analizy wynika, iż wzdłuż północnego brzożu zbiornika przeważa proces akumulacyjny (Rys. 7). Pomierzone średnie wielkości przesunięć linii brzożowej wskazują na tempo zmniejszania się lustra wody o 0,9 -1 m/rok, a miejscami nawet 2÷3,8 m/rok. Proces wypłykania i zarastania zbiornika na brzożu południowym jest mniej dynamiczny i wynosi 0,3÷0,8 m/rok, choć zdarzają się odcinki gdzie lustro wody cofa się aż o 2,5 m/rok. Erozja w południowej części jeziora średnio wynosi 0,8 m/rok, a miejscami sięga nawet 2÷2,5 m. (Rys. 8).



Rys. 7. Akumulacja brzegowa widoczna na ortofotomapach z lat a) 1964 (kolor żółty – linia brzegowa a roku 1964, kolor czerwony – z roku 2004) i b) 2004 (linia przerywana – 1964, linia ciągła – 2004)



Rys. 8. Erozja brzegowa widoczna na ortofotomapach z lat: a) ortofotomapa z 1964 roku (kolor żółty linii brzegowej – 1964, kolor niebieski - 2004) i b) na ortofotomapie z roku 2004 (kolor żółty linii brzegowej – 1964, kolor czerwony – 2004)

5. PODSUMOWANIE

W podsumowaniu można przedstawić dwa aspekty prac badawczych. Jeden dotyczy analizy zmian wybranych elementów środowiska, w tym przypadku linii brzegowej jeziora Łebsko oraz wydym na północ od jeziora. Drugi jest związany z technologią, którą możemy wykorzystać w monitoringu zmian pokrycia terenu.

Jeśli chodzi o monitoring zmian to, w przypadku dość jednak prostych elementów jak: woda, piasek, roślinność, wykorzystanie zdjęć lotniczych wydaje się oczywiste. W wyniku przeprowadzonych badań tak też się okazało, tzn. archiwalne zdjęcia lotnicze stanowiły nieocenione źródło danych w tym przypadku. Można nawet uznać tego rodzaju informacje jako wzorcowe.

Z badawczego punktu widzenia interesujące wydaje się wykorzystanie mapy różnicowej NDVI, ze względu na potencjalną możliwość wykorzystania obrazów satelitarnych w analizie zmian przedmiotowych typów pokrycia terenu. Należy zatem zwrócić uwagę na bardzo dobrą zgodność pomiędzy wynikami uzyskanymi w oparciu o obrazy satelitarne i lotnicze. Zgodność konturów brzegowych na mapie NDVI z danymi wektorowymi pozyskanymi na podstawie ortofotomap lotniczych wskazuje, iż zastosowana metoda obliczenia różnicy wieloczasowego indeksu wegetacji jest poprawna i może być wykorzystywana do określenia stopnia przekształcenia linii brzegowej zbiorników wodnych, a także zmian na obszarach wydymowych. Porównując wizualnie obie mapy różnicowe można zauważyć zgodność poszczególnych kategorii na mapie NDVI z rzeczywistymi zmianami linii brzegowej jeziora Łebsko i zmianami granicy wydym na północy od jeziora (określonymi w oparciu o ortofotomapy lotnicze). Analiza ilościowa (po mimo niewielkiej rozdzielczości przestrzennej NDVI) również wykazała zgodność pomiędzy położeniem linii brzegowej wyznaczonej w oparciu o oba rodzaje danych jak wyżej.

Można zatem sformułować wniosek ogólny, że kierując się wartościami różnicowego NDVI można łatwo określić obszary, gdzie nastąpiły istotne zmiany pokrycia terenu.

„Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2006-2008 jako projekt badawczy Nr N304 077 31/3060

6. LITERATURA

Matuszewska D., 2002. Słowiński Park Narodowy - *Spotkania z przyrodą, przewodnik kieszonkowy*. MULTICO, Warszawa.

Michałowska K. 2007. Analizy przestrzenno-czasowe zmian morfologicznych na terenie Słowińskiego Parku Narodowego latach 1964-2004. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, vol. 17.

Michałowska K., Głowienka E., 2007. Integracja i przetwarzanie danych wieloczasowych w środowisku GIS. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, vol. 17.

Michałowska K., Glowienka E., Mikrut S., 2007. Opracowanie technologii przetwarzania archiwalnych materiałów fotogrametrycznych do badań zmienności krajobrazu na przykładzie Słowińskiego Parku Narodowego. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, vol. 17.

Miszalski J., 1973. Współczesne procesy wydymotwórcze na Pobrzeżu Słowińskim - studium fotointerpretacyjne. Dok. Geogr. IG PAN.

Piotrowska H., 1997. *Przyroda Słowińskiego Parku Narodowego*. Red. H. Piotrowska. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań.

Schechtel A., 1984. Plan Urządzenia Gospodarstwa Leśnego na okres 1.1.1983 do 31.12.1992. Słowiński Park Narodowy. I: część ogólna planu. Mscr., BULiGL, oddz. w Szczecinku.

A POSSIBILITY OF USING TEMPORAL IMAGES OF NORMALISED DIFFERENCE VEGETATION INDEX (NDVI) FOR DETECTION OF ENVIRONMENTAL CHANGES

Summary

The paper describes research aimed at assessing possibilities of utilising multi-temporal vegetation indices (NDVI) for investigating variability of certain selected environmental factors. Changes in coastal zones of lakes in the Slowinski National Park (Poland) were used to test the approach. In addition to the shore dunes, the lakes are the basic landscape components of the Park and occupy ca. 30% of the Park's total area. The largest of those lakes, the Łebsko, is the third largest lake in Poland. Over the years, the surface areas of the lakes has been changing distinctly and gradually reduced as a result of continuous shallowing and overgrowing by vegetation. The study database included satellite images and Normalized Difference Vegetation Index from 1979 and 2000 as well as multi-temporal orthophotomaps derived from aerial images and a vector map of water resources. The differential NDVI map which was generated provided an opportunity for identifying those areas subjected to drastic changes in land coverage, and for determining the nature of the causative processes. The orthophotomaps which reflect the state of the water bodies in five consecutive decades (1964-2004) made it possible to mark out shorelines of the lakes and then to determine the rate and extent of surface transformations of the lakes. In addition, the 1975 and 2004 orthophotomaps as well as the vector maps of the lake shorelines developed from them allowed to verify the results of analysing the NDVI differential map.

mgr inż. Krystyna Michałowska
e-mail: kmichalo@poczta.fm
tel. 696044460

dr hab. inż. Beata Hejmanowska
e-mail: galia@agh.edu.pl
tel. (012) 6172272
fax: (012) 633 17 91

WYKORZYSTANIE SIECI NEURONOWYCH W PROCESACH FOTOGRAMETRYCZNYCH

APPLICATION OF NEURAL NETWORKS TO PHOTOGRAMMETRIC PROCESSES

Sławomir Mikrut¹, Zbigniew Mikrut²

¹ Katedra Geoinformacji, Fotogrametrii i Teledetekcji Środowiska, AGH w Krakowie

² Katedra Automatyki, AGH w Krakowie

SŁOWA KLUCZOWE: sztuczne sieci neuronowe, spasowanie obrazów, fotogrametria cyfrowa

STRESZCZENIE: W niniejszym artykule poruszono problem wykorzystania sztucznych sieci neuronowych (SSN) w geoinformatyce obrazowej, ze szczególnym uwzględnieniem procesów fotogrametrycznych. Przedstawiono wyniki przeglądu literatury światowej oraz zaprezentowano rezultaty badań prowadzonych w ramach projektu dotyczącego użycia sieci do spasowania fotogrametrycznych zdjęć lotniczych. W oparciu o literaturę, przeanalizowano wyniki prac wykorzystujących sieci neuronowe do: klasyfikacji obrazów wielospektralnych, wydobywania cech, kalibracji kamer oraz spasowania obrazów. Zaprezentowano również wyniki własnych eksperymentów, bazujących na idei wykorzystania sieci opierającej się na wyborze specjalnej reprezentacji, która następnie jest wykorzystywana do spasowania obrazów fotogrametrycznych dla dwóch wybranych typów terenu. W badaniach wykorzystano sieci impulsujące ICM (*Intersecting Cortical Model*), będące jedną z wersji sieci PCNN (*Pulse Coupled Neural Network*), przy pomocy których wygenerowano tzw. podpisy obrazów (*signatures*), czyli kilkudziesięcioelementowe wektory, opisujące strukturę fragmentu obrazu. Wyniki badań częściowo potwierdzają słuszność przyjętych założeń, mimo występujących problemów związanych ze specyfiką obrazów fotogrametrycznych.

1. WSTĘP

Rozwój sztucznych sieci neuronowych (SSN) został zapoczątkowany w latach czterdziestych badaniami nad matematycznym opisem komórki nerwowej oraz powiązaniem go z przetwarzaniem informacji przez komórkę. Za początek przyjmuje się rok 1943 związany z opracowaniem matematycznego modelu sztucznego neuronu przez McCullocha i Pittsa (Korbicz *et al*, 1994). Jednak intensywne badania nad SSN przypadły na lata osiemdziesiąte z racji rozpowszechniania się komputerów i ułatwienia procesów obliczeniowych, towarzyszących sieciom. Istotnym osiągnięciem było opracowanie przez Hopfielda w 1982 r. sieci ze sprzężeniem zwrotnym, którą wykorzystano do rozwiązywania zadań optymalizacyjnych (np. problem komiwojażera) oraz odtwarzania obrazów z ich fragmentów.

SSN nie ominęły również zastosowań w geoinformatyce obrazowej. Koniec lat osiemdziesiątych i początek dziewięćdziesiątych to pierwsze zastosowania sieci neuronowych w tej dziedzinie nauk. W niniejszym opracowaniu autorzy skupili się na

przykładach wykorzystania sieci w geoinformatyce obrazowej (rozdział 2), ze szczególnym uwzględnieniem zastosowań fotogrametrycznych. W rozdziałach 3 i 4 zaprezentowano dokonania autorów w temacie pasowania obrazów zdjęć lotniczych przy pomocy sygnatur.

2. SIECI NEURONOWE W FOTOGRAMETRII – HISTORIA I DZIEŃ DZISIEJSZY

Zarys technik sieci neuronowych można znaleźć w literaturze (Tadeusiewicz, 1993; Tadeusiewicz *et al.*, 2007). Autorzy niniejszego artykułu również dokonali pewnych analiz w poprzednich publikacjach (Mikrut *et al.*, 2007; Mikrut, 2007).

Przykłady wykorzystania sztucznych sieci neuronowych w zadaniach związanych z geoinformatyką obrazową mają już prawie dwudziestoletnią historię. Pierwszymi zastosowaniami SSN było wykorzystanie ich do klasyfikacji obrazów wielospektralnych. Pierwsze wzmianki o próbach klasyfikowania obrazów pochodzą z początku lat 90-tych, kiedy to zaczęto klasyfikować zobrażenia satelity LANDSAT TM (Bishop *et al.*, 1992), następnie SPOT (Dreyer, 1993). Sieci wykorzystano również do opracowania danych radarowych (Hara, 1994). Badania te potwierdziły możliwości skutecznego działania SSN jako jednej z metod klasyfikacji obrazów. Kolejne zastosowania to wydobywanie cech (ang. *feature extraction*), kalibracja kamer, spasowanie obrazów (ang. *matching*).

2.1. Pojawienie się sieci neuronowych w tematyce kongresów ISPRS

Analizując historię kongresów Międzynarodowego Towarzystwa Fotogrametrii i Teledetekcji (ISPRS) można zauważyć wzrost liczby publikacji obejmujących tę tematykę. Ilość artykułów, zawierających słowa „*neural network*” w tytule, wzrastała z kongresu na kongres. Tematyka ta przedstawiona była już w ośmiu artykułach w 1996 w Wiedniu, tyle samo było prezentowanych w Amsterdamie (2000 r.), jedenaście w Istambule (2004 r.) oraz osiemnaście w Pekinie (2008 r.). Wiele było również artykułów dotyczących problematyki wykorzystania sieci neuronowych, nie zawartych jednak w tytule. Jak wspomniano wcześniej, początki to zastosowanie SSN do klasyfikacji obrazów wielospektralnych. Miało to odzwierciedlenie również w publikacjach kongresowych. Przykładowe opracowania można znaleźć w literaturze (Barsi, 1996; Bock, 1996; Chen *et al.*, 1996; Barsi, 2000; Kamiya, 2000; Aria *et al.*, 2004; Cetin *et al.*, 2004; Zhou *et al.*, 2008).

2.2. Sztuczne sieci neuronowe w zagadnieniach fotogrametrycznych

SSN zaczęto również stosować do rozwiązywania typowych problemów fotogrametrycznych. Poniżej dokonano próby tematycznego ich usystematyzowania. Badania literaturowe podkreśliły potrzebę dokonania takiej analizy, z racji coraz powszechniejszego ich wykorzystania, a także skuteczności działania.

2.2.1. Wykorzystanie SSN do identyfikacji wybranych obiektów

Wykorzystanie sieci typu FFN (*feed-forward network*) zastosowano do operacji na ogół wykonywanej manualnie przez operatora stacji fotogrametrycznej tj. do identyfikacji punktów sygnalizowanych (Kepuska *et al.*, 1991). W tym celu zastosowano sieć typu FFN-BP (*back-propagation*) do rozpoznawania obiektów na zeskanowanych zdjęciach lotniczych. Dane przygotowane zostały w postaci obrazów o różnej orientacji, tle, skali i z wprowadzonymi pewnymi zniekształceniami geometrycznymi. Aby wyeliminować nadmiarowość i zminimalizować rozmiar danych testowych przygotowano odpowiedni schemat treningowy. Po dwóch iteracjach treningu uzyskano zadowalające rezultaty: model FFN-BP uzyskał rozpoznanie na poziomie 85% punktów, znajdujących się na 34 obrazach. Zważywszy na rok przeprowadzonych testów (lata 90-te, początki stosowania sieci), należy podkreślić osiągnięcie stosunkowo dobrych rezultatów.

2.2.2. SSN a wydobywanie cech z obrazu (*feature extraction*)

SSN zaczęto również wykorzystywać do wydobywania cech (*feature extraction*). W badaniach dokonano porównania metod wydobywania cech pomiędzy transformacją Karhunen-Löwe (K-L) a SOM (*Self Organizing Maps*) Kohonena (Törma, 96). Uzyskane w trakcie badań różnice pomiędzy metodami były bardzo małe. W niektórych przypadkach błędy metody K-L były mniejsze, jednak proces działający przy użyciu SOM był szybszy. Różnice pomiędzy metodami powstawały wówczas, gdy liczba próbek na klasę była mała, co jest typowe dla sieci, tzn. przy zbyt małej liczbie próbek sieci wykazują małą skuteczność.

Również przy pomocy SSN opracowano ekstrakcję węzłów drogowych z obrazów cyfrowych (Barsi *et al.*, 2002). Neuronowy operator, oparty o sieć typu *feed-forward*, przeszukuje oknem czarno-białe obrazy w średniej rozdzielczości decydując czy skrzyżowanie zawiera 3 czy 4 odnogi. Najlepsze rezultaty otrzymano dla sieci trójwarstwowej. Do uczenia wykorzystano warstwę wektorową dróg.

Kilka innych przykładów użycia SSN do wydobywania cech z obrazu zaprezentowano na kongresie ISPRS w Pekinie (Ahadzadeh *et al.*, 2008; Mokhtarzade *et al.*, 2008).

2.2.3. Kalibracja kamer przy pomocy SSN

Procedurę kalibracji kamer przy wykorzystaniu sieci *back-propagation* (BP) opisano w publikacji (Mendonca *et al.*, 2002). Dzięki jej zastosowaniu nie musimy posiadać danych takich jak stała kamery czy dystorsja. Sieci są skuteczne w rozwiązywaniu nieliniowych zagadnień i mogą „nauczyć” się odpowiednich relacji pomiędzy współrzędnymi obrazowymi a współrzędnymi przedmiotowymi (obiektu), bez potrzeby określania konkretnego modelu matematycznego. W opisaney przez autora metodyce dokonano porównania wyznaczonych współrzędnych pola testowego (520 punktów) metodą najmniejszych kwadratów oraz SSN. Dokładności uzyskane przy pomocy obu metod były porównywalne. Według autora zaletami metody neuronowej są: 1) niekonieczna znajomość modelu matematycznego, 2) nie wymagana jest również znajomość przybliżonych (wejściowych) parametrów kalibracji, 3) metodyka może być wykorzystana dla różnego typu kamer, 4) może być użyta dla kilku kamer o różnych

elementach orientacji, 5) SSN mogą rozpoznać specyficzne ułożenia kamer, co ma znaczenie przy dynamicznych systemach pracujących w czasie rzeczywistym.

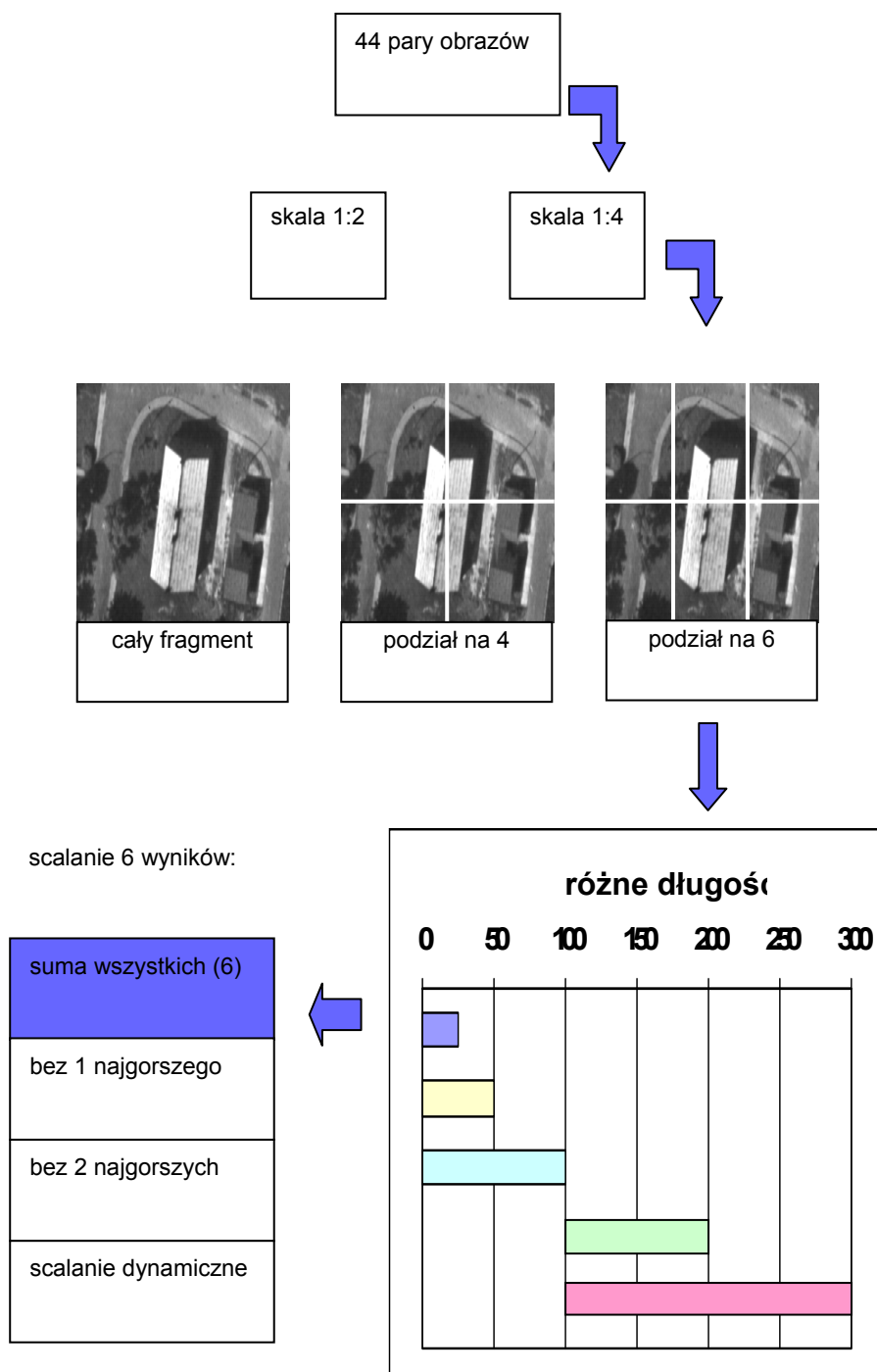
2.2.4. Spasowanie obrazów (*matching*)

SSN znalazły zastosowanie w spasowaniu obrazów w systemach stereowizyjnych (Wang *et al.*, 1999). Wykorzystano je do określania pozycji dowolnego punktu w przestrzeni 3D w oparciu o zdjęcia naziemne wykonane z dwóch kamer. Użyto dwóch typów sieci: VC (*vitality conservation*) oraz BP (*back-propagation*). Pierwsza sieć, jako wektora uczącego, używa wybranych parametrów (jasność, zmienność, orientację, x , y) dla każdego piksela oraz dzieli obraz wejściowy na kilka klastrów, a rezultaty są wykorzystane przez drugą sieć (BP), celem osiągnięcia dokładnego dopasowania. Po treningu sieć BP jest wykorzystana do generowania tzw. mapy dysparycji. W procesie dopasowania, aby zredukować ewentualne błędy oraz ograniczenia obszaru przeszukiwania, korzysta się z dodatkowych informacji takich jak linie epipolarne, uporządkowanie, geometria i ciągłość.

Przykładem podobnego zastosowania SSN, ale z innym rozwiązaniem (model sieci) jest stereowizyjny system zbudowany przez zespół laboratorium węgiersko-japońskiego (Resko *et al.*, 2003). Stereowizja jest realizowana poprzez biologicznie zainspirowaną, pięciowarstwową, sztuczną sieć neuronową, o prostych komponentach. Zadaniem sieci jest porównywanie symbolicznych cech (*symbolic feature*) w obrębie obydwu obrazów, celem wyznaczenia kierunków obu kamer (określenia ich orientacji). System funkcjonujący w oparciu o ten model działa w czasie rzeczywistym.

Wykorzystanie sieci neuronowych oraz zależności fotogrametrycznych (komplanarność, współczynnik korelacji) do spasowania wieloobrazowego (*multi-image matching*) zostało zaprezentowane podczas kongresu ISPRS w Pekinie w roku 2008 (Elaksher, 2008). Autor zaprezentował metodykę użycia sieci w odniesieniu do zdjęć naziemnych przedstawiających ratusz w Zurichu, udostępnianych przez ISPRS jako materiał testowy. Wykorzystując dowolną liczbę zdjęć, proces startuje od orientacji wzajemnej na podstawie warunku komplanarności pomiędzy wszystkim parami zdjęć. Dla każdej pary otoczeń punktów liczony jest współczynnik korelacji dla lokalnych jasności obrazu. Do określania prawidłowego dopasowania użyto sieć typu *feed-forward*. Uzyskano bardzo zadowalające rezultaty. Współczynnik detekcji (ang. *detection rate*) na poziomie 95% - 98% oraz współczynnik niedopasowania (ang. *false alarm rate*) od 4% do 7%.

Przedstawione pozycje literaturowe odnoszące się do spasowania obrazów obejmują badania prowadzone na obrazach zdjęć naziemnych. Jest to zagadnienie o tyle nieskomplikowane, że obrazy z kamer naziemnych charakteryzują stosunkowo dużym podobieństwem (z reguły robione są z krótkiej bazy). Problem staje się bardziej złożony w sytuacji, gdy mamy do czynienia ze zdjęciami lotniczymi. Rozdrobnienie informacji oraz duża paralaksa na przykład w przypadku wysokich budynków znacznie komplikuje zagadnienie. Autorzy niniejszego artykułu dokonali próby rozwinięcia zagadnienia w oparciu o własne doświadczenia prezentowane w publikacji (Mikrut *et al.*, 2007).



Rys. 1. Dopasowywanie fragmentów obrazów przy użyciu sygnatur.
Kolorem niebieskim oznaczono ciąg przekształceń prowadzący do najlepszego wyniku

3. EKSPERYMENTY Z WYKORZYSTANIEM SSN W ODNIESIENIU DO SPASOWANIA ZDJĘĆ LOTNICZYCH

Koncepcję badań nad wykorzystaniem SSN do spasowania zdjęć lotniczych można znaleźć w publikacji (Mikrut *et al.*, 2007). Autorzy kontynuowali badania nad wykorzystaniem sygnatur generowanych przez impulsującą sieć neuronową (Mikrut, 2007). Korzystano z bazy danych opisanej we wspomnianej publikacji. Z bazy wybrano podzbiór 44 obrazów w stopniach szarości (składowe R, G i B zostały scalone). Na kolejnym zdjęciu lotniczym manualnie zlokalizowano te obszary i po odpowiednim obramowaniu zapisano je w celu przeprowadzenia testów spasowania. Należy podkreślić, że w omawianych badaniach sprawdzano możliwości dopasowywania reprezentacji podobrazów, czyli obliczano *sygnatury* podobrazu ze zdjęcia chronologicznie pierwszego, następnie obliczano sygnatury wszystkich podobrazów wchodzących w skład fragmentu drugiego (kolejnego) zdjęcia lotniczego i te wektory porównywano. Samo porównywanie wektorów realizowano przy użyciu sumy modułów różnic poszczególnych elementów (patrz Dodatek). Schemat eksperymentów przedstawiono na rysunku 1.

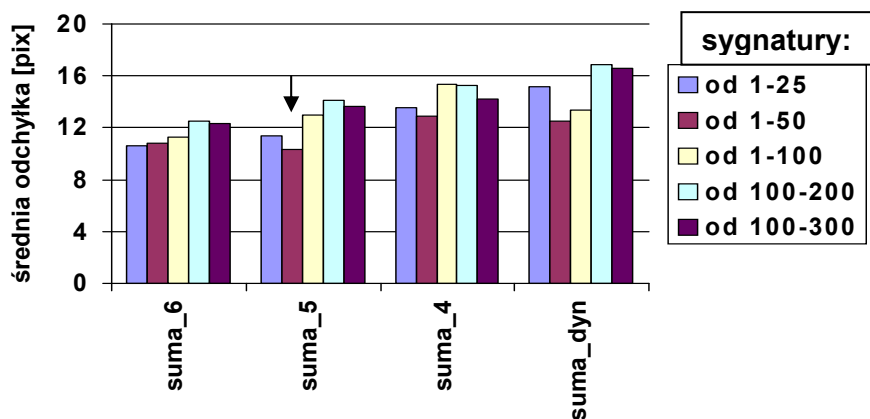
Pary obrazów, na które składały się: fragment obrazu o rozmiarach 240x160 pikseli i odpowiadający mu obszar z kolejnego zdjęcia, obramowany dookoła pasem o szerokości 150 pikseli, zmniejszano dwu i czterokrotnie. Następnie, przy pomocy sieci impulsującej ICM, generowano 300. elementowe sygnatury dla całego fragmentu obrazu oraz dla jego czterech lub sześciu podobrazów, dla każdego podobrazu osobno. Po drugim zdjęciu przesuwano okno odpowiadające rozmiarom fragmentu poprzedniego obrazu. Po każdym jednopikselowym przesunięciu obliczano sygnatury w wariantach podziału na podobrazy, opisanych wyżej. Cały ten proces schematycznie przedstawiono na rysunku 1 w górnych trzech rzędach. Formalny opis algorytmu zamieszczono w Dodatku. W celu zachowania przejrzystości rysunku nie umieszczono na nim strzałek pokazujących zrealizowane kombinacje przetwarzania. Strzałki powinny obrazować połączenia „każdy z każdym”, idące od bloków górnych do dolnych.

Wstępna analiza rezultatów dopasowań pozwoliła na wyznaczenie sekwencji przekształceń, prowadzących do najlepszych wyników. Kolejność ta została zaznaczona na rysunku 1 strzałkami blokowymi. Przekształcenia prowadzące do najlepszych wyników, to operowanie na obrazach czterokrotnie zmniejszonych, dla których dopasowywano fragmenty powstałe z podziału obrazu na 6 części. Na tej podstawie zrealizowano kolejny etap badań, przedstawiony na rysunku 1 w dolnym (ostatnim) rzędzie.

Fakt posiadania 300 elementowych sygnatur wykorzystano do porównywania wektorów sygnatur o różnych długościach i różnych położeniach. Jak pokazano na rysunku 1, do porównań używano sygnatur 25, 50 i 100 elementowych pobieranych od umownego momentu startu oraz fragmentów sygnatur od pozycji 100 do 200 oraz od pozycji 100 do 300. Podział dopasowywanego fragmentu obrazu na 4 lub 6 podobrazów był zainspirowany dwoma czynnikami. Pierwszym z nich był fakt uzyskiwania lepszych wyników dopasowywania sygnatur dla mniejszych wycinków obrazu. Drugim czynnikiem była potrzeba ewentualnego uwzględnienia występowania na obrazie obiektów, które na obrazie „późniejszym” nieco zmieniłyby położenie względem poziomu gruntu, a być może także kształt. Przykład występowania takich obiektów pokazano na rysunku 1. W przypadku gorszego dopasowania niektórych podobrazów istnieje możliwość ich pominięcia podczas procesu scalania cząstkowych

wyników dopasowywania. Podczas analizy wyników uwzględniono 4 możliwości scalania, pokazane na rysunku 1. Były to: sumowanie wszystkich sześciu wyników cząstkowych, sumowanie pięciu i czterech najlepszych oraz dynamiczne odrzucanie gorszych wyników. Ta ostatnia metoda polegała na badaniu różnic pomiędzy uporządkowanymi rosnąco wynikami i odrzucaniu tych, które przekroczyły zadany próg. W każdym z wymienionych przypadków suma wyników cząstkowych była normalizowana: dzielono ją przez liczbę wziętych pod uwagę składników (por. wzory D.3 i D.4). Na rysunku 2 porównano średnie odchyłki pasowania (por. wzór D.6), obliczone dla wyżej zdefiniowanych sygnatur i czterech metod scalania wyników cząstkowych.

Dla metody sumowania wszystkich 6 wyników cząstkowych (na rysunku 2 oznaczenie *suma_6*) średnie odchyłki są najbardziej skupione i niskie. Minimum wystąpiło dla metody z odrzuceniem jednej wartości (*suma_5*) dla sygnatury 50 elementowej (por. czarna strzałka na rysunku 2). Dla sygnatury o tej długości średnie odchyłki w następnych procesach scalania (*suma_4* i *suma_dyn*) także osiągają minimalne wartości. W związku z wysokimi średnimi odchyłkami obserwowanymi dla sygnatur 100 i 200 elementowych porównywanych od setnego elementu w dalszej analizie sygnatury te zostaną pominięte. Oprócz wartości średnich, które charakteryzują jakość dopasowania w sposób ogólny, przyjęto kilka progów odchyłek dopasowań (δ - por. wzór D.5) i obliczono procentowo, ile odchyłek lokuje się poniżej. Rezultaty uzupełniono – dla porównania – wartościami średnimi i zestawiono w tabeli 1. W każdej kolumnie, odpowiadającej różnym progom odchyłek, zaznaczono wartość maksymalną. Większość maksimów jest zlokalizowana w wierszach odpowiadających sygnaturom 1-25 i 1-50, przy czym w obu przypadkach wyniki końcowe dopasowania obliczano sumując wszystkie 6 wyników cząstkowych (bez odrzuceń – por. ostatnią kolumnę tabeli 1). Ta metoda prezentacji wyników ma za zadanie zorientowanie się w precyzji pasowania, uzyskiwanej przy użyciu różnych sygnatur. Wartości uzyskane dla sygnatur krótkich (od 1-25 i od 1-50) metodą sumowania wszystkich 6 elementów są do siebie zbliżone.

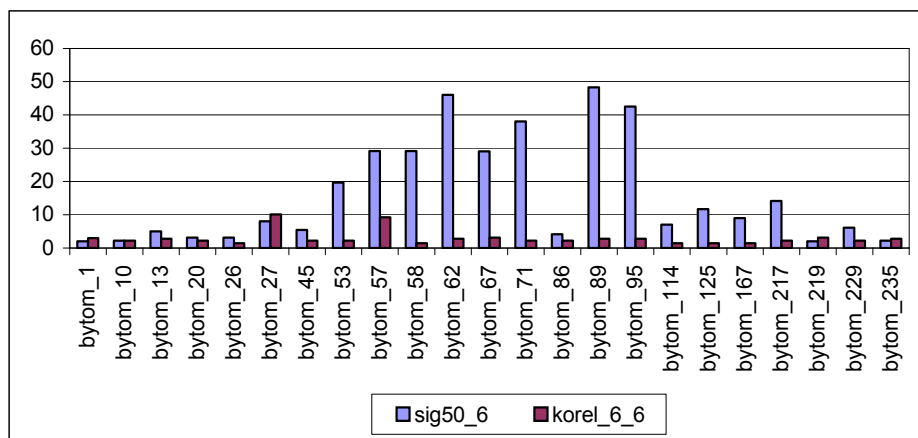


Rys. 2. Porównanie średnich błędów pasowania dla kilku długości sygnatur i czterech metod scalania wyników. Strzałką zaznaczono wartość minimalną

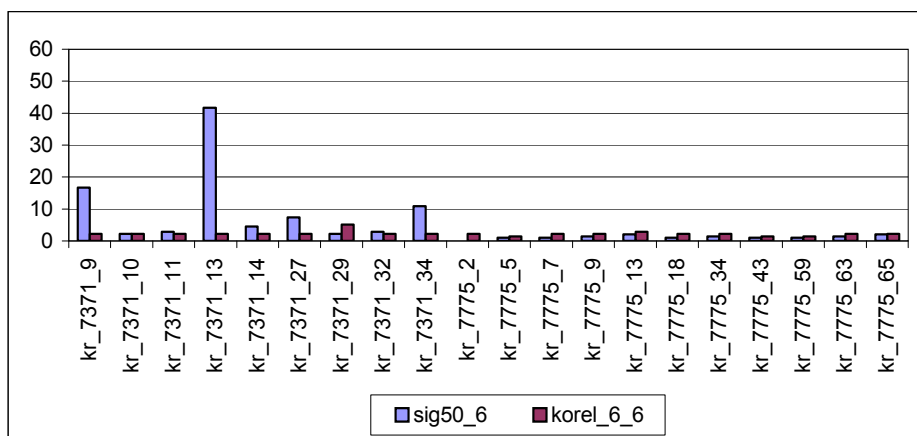
Tabela 1. Procentowe dopasowania dla kilku dopuszczalnych odchyłek δ

sygnatura	średnia odchyłka [piksele]	$\delta < 3$	$\delta < 5$	$\delta < 10$	$\delta < 30$	liczba odrzuceń
od 1 – 25	10,59	47,73%	54,55%	70,45%	86,36%	0
od 1 – 50	10,77	45,45%	56,82%	70,45%	88,64%	0
od 1 – 100	11,28	34,09%	54,55%	65,91%	88,64%	0
od 1 – 25	11,38	34,09%	47,73%	65,91%	88,64%	1
od 1 – 50	10,31	34,09%	43,18%	68,18%	90,91%	1
od 1 – 100	12,99	31,82%	45,45%	59,09%	84,09%	1

Dla sygnatury o najniższej średniej odchyłce (od 1-50, sumowanie 5 elementów – patrz przedostatni wiersz tabeli 1) precyzja dopasowania dla małych odchyłek jest o wiele niższa. Spasowanie przy pomocy tej metody wykonano również dla dwóch różnych typów obrazów „Bytom” i „Kraków”. Wyniki zaprezentowano na rysunkach 3 i 4, na których porównano odchyłki pasowania uzyskane przy pomocy sygnatur (sig50_6) z metodą klasyczną (kor_6_6). Jak widać metoda sygnatur jest bardzo czuła na rodzaj obrazu wejściowego. W przypadku „Bytomia” mamy do czynienia ze zdjęciami z centrum miasta, a więc o dużej liczbie bloków mieszkalnych, z występującymi tu znacznymi przesunięciami radialnym pomiędzy obrazami. Obrazy z „Krakowa” charakteryzują się większym podobieństwem z racji lokalizacji poza miastem, o nieodróżnianej rzeźbie terenu. Zauważalne na rysunku 3 znaczne różnice pomiędzy odchyłkami wynikają głównie z faktu występowania wysokich bloków na obrazie. Klasyczna korelacja stosunkowo dobrze sobie „radzi” z tym problemem. Sieci, z racji swojej specyfiki działania są wrażliwe zarówno na przesunięcia radialne jak i na zmiany oświetlenia, stąd dokładność spasowania spada (obrazy Bytom_53 do Bytom_95). Podobnie jest w przypadku obrazów kr_7371_9 i kr_7371_13.



Rys. 3. Wyniki spasowania dla obrazu „Bytom”



Rys. 4. Wyniki spasowania dla obrazu „Kraków”

4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

W artykule dokonano przeglądu literatury dotyczącej wykorzystania sztucznych sieci neuronowych (SSN) w geoinformatyce obrazowej, ze szczególnym uwzględnieniem procesów fotogrametrycznych. Autorzy dokonali podsumowania zastosowań SSN w fotogrametrii, udowadniając tym samym coraz powszechniejsze ich wykorzystanie, poczynając od wydobywania cech z obrazu, przez kalibrację kamer, a na spasowaniu obrazów kończąc. Te ostatnie obejmowały głównie prace związane ze stereowizją. Brak w literaturze eksperymentów związanych z pasowaniem zdjęć lotniczych, z racji złożoności zagadnienia, doprowadził do podjęcia przez autorów prób badawczych w tym kierunku. W punkcie 3 artykułu przedstawiono kolejny etap badań - serie eksperymentów związanych z pasowaniem reprezentacji fragmentu obrazu w postaci sygnatur, generowanych przez impulsującą sieć neuronową ICM. Wyniki nie są w pełni zadowalające, aczkolwiek w blisko 1/3 przypadków efekty uzyskane przy pomocy sygnatur są takie same lub lepsze od rezultatów, otrzymanych po zastosowaniu klasycznej korelacji (por. rys. 3 i 4). Autorzy widzą sens kontynuowania badań w dwóch kierunkach:

1. pogłębionej analizy sytuacji (podobrazów) powodujących duże różnice odchyłek dopasowania obu porównywanych metod i wprowadzenia ewentualnych korekt na etapie wstępnego przetwarzania obrazu,
2. zastosowania sieci impulsujących do wykrywania obiektów, które następnie posłużą do generowania sygnatur i pasowania.

Pracę zrealizowano w ramach badań własnych AGH nr 10.10.120.783 oraz badań statutowych AGH nr 11.11.150.949/08.

5. LITERATURA

- Ahadzadeh S., Valadanouzj M., Sadeghian S., Ahmadi S., 2008. Detection of Damaged Buildings after an Earthquake Using Artificial Neural Network Algorithm. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Beijing, China, Vol. XXI, Part B8, s. 369-372.
- Aria E.H., Saradjian M.R., Amini J., Lucas C., 2004. Generalized cooccurrence matrix to classify IRS-1D images using neural network. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Istambul, Turkey, Vol. XX, Part B7., s. 114-116.
- Barsi A., 1996. Thematic classification of Landsat image using neural network. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vienna, Austria, Vol. XVIII, Part B3, s.48-52.
- Barsi A., 2000. The impact of data compression and neighborhood information on the classification accuracy of artificial neural networks. *Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Amsterdam, Holland, Vol. XIX, Part B7, s. 140-147.
- Barsi A., Heipke C., Willrich F., 2002. Junction extraction by artificial neural network system – JEANS, *IntArchPhRS XXXIV/3b*, Graz , s.18-21
- Bischof H., Schneider W., Pinz A., 1992. Multispectral classification of Landsat images using neural network, *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 30, No 3, s. 482-490.
- Bock S., 1996. A region-based approach to land-use classification of remotely –sensed image data using artificial neural network. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vienna, Austria, Vol. XVIII, Part B7, s.71-76.
- Cetin M., Kavzoglu T., Musaoglu N., 2004. Classification of multi-spectral, multi-temporal and multi-sensor images using principal components analysis and artificial neural networks: beykoz case. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Istambul, Turkey, Vol. XX, Part B4, s. 951-956.
- Chen C., Chen S., Shyn S., 1996. Classification of remote sensing imagery using an unsupervised neural network. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vienna, Austria, Vol. XVIII, Part B7, s. 112-117.
- Dreyer P., 1993. Classification of land cover using optimized neural nets on SPOT data, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 59, No. 5, s. 617-621.
- Elaksher A., 2008. Multi-image matching using neural networks and photogrammetric conditions. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Beijing, China, Vol. XXI, Part B3, s. 39-44.
- Hara Y., Atkins R., Yueh S., Shin R., Kong J., 1994. Application of neural networks to radar image classification, *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 32, No. 1, s. 100-109.

- Kamiya I., 2000. Image classification by spatial shift invariant neural network. *Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Amsterdam, Holland, Vol. XIX, Part B7, s. 636-639.
- Kepuska V., Mason, S., 1991. Automatic signalized point recognition with feed-forward neural network, *IEEE Conference Publication, 2-nd International Conference on Artificial Neural Networks*, London, Nr 349, s. 359-363.
- Korbicz J., Obuchowicz A., Uciński D., 1994. *Sztuczne sieci neuronowe. Podstawy i zastosowania*. Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ, Warszawa.
- Lindblad T., Kinser J.M., 2005: *Image Processing Using Pulse-Coupled Neural Networks*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg
- Mendonca M., da Silva I., Castanho J., 2002. Camera calibration using neural networks. *Journal of WSCG - poster abstract at 10-th Int. Conf. Central Europe on Computer Graphics, Visualization and ComputerVision (WSCG 2002)*, Vol. 10, nr 1-3.
- Mikrut S., Mikrut Z., 2007. Sieci neuronowe w procesach automatycznej korelacji zdjęć lotniczych. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol 17b, s. 505-515.
- Mikrut Z., 2007. Tworzenie reprezentacji obszarów zdjęć lotniczych za pomocą sieci neuronowych klasy PCNN. *Uczelniane Wydawnictwo Naukowo-Dydaktyczne Kraków – Półrocznik Automatyka*, Tom 11, s. 355 – 364.
- Mokhtarzade M., Valadan Zoej M., Ebadi H., 2008. Automatic Road Extraction from High Resolution Satellite Images Using Neural Networks, Texture Analysis, Fuzzy Clustering and Genetic Algorithms. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Beijing, China, Vol. XXI, Part B3b, s. 549-556.
- Resko B., Baranyi P., Hashimoto H., 2003. Camera Control with Disparity Matching in Stereo Vision by Artificial Neural Networks. *In Workshop on Intelligent Solutions in Embedded Systems*, Vienna, Austria.
- Tadeusiewicz R., 1993. *Sieci neuronowe*. AOW Warszawa.
- Tadeusiewicz R., Gąciarz T., Borowik B., Leper B., 2007. *Odkrywanie właściwości sieci neuronowych przy użyciu programów w języku C\#*. Polska Akademia Umiejętności. Międzywydziałowa Komisja Nauk Technicznych, Kraków.
- Törma M., 1996, Self-organizing Neural Network in Feature Extraction. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vienna, Austria, Vol. XVIII, Part B2, s.374-379.
- Wang J., Hsiao C., 1999. On Disparity Matching in Stereo Vision via a Neural Network Framework, *Proc. Natl. Sci. Counc. ROC(A)*, Vol. 23, No. 5, s. 665-678.
- Zhou L., Yang X., 2008. Use of Neural Networks for Land Cover Classification from Remotely Sensed Imagery. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Beijing, China, Vol. XXI, Part B7, s. 575-578.

DODATEK: FORMALNY OPIS ALGORYTMU DOPASOWYWANIA SYGNATUR

Sieci impulsujące ICM (*Intersecting Cortical Model*) generują – na podstawie obrazu w stopniach szarości - sekwencje obrazów *binarnych*, na których w kolejnych krokach obliczeniowych uwypuklane są różne fragmenty obrazu wejściowego. W oparciu o tę własność sieci w 1994 roku Johnson wprowadził pojęcie sygnatury (Lindblad *et al.*, 2005). Podstawą obliczania sygnatur jest funkcja czasowa $G(i)$, otrzymywana w wyniku sumowania wyjść neuronów („białych pikseli”) w każdym kroku obliczeniowym:

$$G(i) = \sum_{g,h} B_{gh}(i) \quad (D.1)$$

przy czym $B_{gh} \in [0,1]$ oznacza piksel binarnego obrazu o współrzędnych (g,h) , $i=1...N$.

W celu sprawdzenia efektywności dopasowywania fragmentów obrazów na podstawie ich sygnatur wybrano $K=44$ fragmenty obrazów ze zdjęcia lotniczego a następnie zlokalizowano ich odpowiedniki na zdjęciu następnym. Z tego ostatniego zdjęcia wycięto większe fragmenty, które zawierały zlokalizowane uprzednio podobrazy otoczone dość dużym marginesem. Współrzędne lewego górnego rogu zlokalizowanego podobrazu oznaczono wartościami $(0, 0)$. Po fragmencie obrazu przesuwano ramkę o wielkości równej szukanemu pobobrazowi. Ramkę dzielono na $J=4$ lub $J=6$ równych części, i dla każdej z nich wyznaczano sygnatury, które następnie porównywano z sygnaturami, otrzymanymi w analogiczny sposób dla podobrazu poprzedniego zdjęcia (poszukiwanego wzorca). Dla każdej pary odpowiadających sobie sygnatur obliczano wskaźnik:

$$q_{xyj} = \sum_{i=M}^{i=O} |G_j(i) - G_{xyj}(i)| \quad (D.2)$$

gdzie M i O określają początek i koniec sygnatury ($O-M < N$), (x, y) oznacza przesunięcie analizowanej ramki względem lokalizacji prawidłowej $(0,0)$, a $j=1...J$ jest numerem części,

na które został podzielony podobraz (por. rys. 1).

Sumaryczny wskaźnik dopasowania sygnatur dla całej ramki wynosił:

$$Q_{xy}^0 = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^{j=J} q_{xyj} \quad (D.3)$$

przy uwzględnieniu wszystkich J części (indeks 0 oznacza brak – czyli zero - części nieuwzględnionych). W przypadku odrzucenia jednego najgorszego wskaźnika:

$$Q_{xy}^1 = \frac{1}{J-1} \left(Q_{xy}^0 - \max_j (q_{xyj}) \right) \quad (D.4)$$

Po osiągnięciu granic zmienności przesunięć ramki (x, y) oblicza się, w którym miejscu dopasowanie całych ramek było najlepsze, czyli wyznacza się współrzędne:

(X^0, Y^0) takie, że $D(X^0, Y^0) = \min_{x,y} Q_{xy}^0$ w przypadku sumowania wszystkich J części, lub

(X^l, Y^l) takie, że $D(X^l, Y^l) = \min_{x,y} Q_{xy}^l$ w przypadku sumowania z odrzuceniem najgorszego wskaźnika.

Miarą dopasowania dla k -tej pary fragmentów obrazów z bazy danych jest odchyłka lokalizacji lewego górnego narożnika podobrazu od punktu $(0,0)$, czyli:

$$\delta_k^z = \sqrt{(X^z)^2 + (Y^z)^2} \quad (\text{D.5})$$

przy czym $z \in [0,1]$ jest indeksem odpowiadającym liczbie odrzuconych wyników cząstkowych.

Dla całej bazy danych średnia odchyłka lokalizacji jest średnią z odchylek cząstkowych:

$$\bar{\delta}^z = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^{k=K} \delta_k^z \quad (\text{D.6})$$

APPLICATION OF NEURAL NETWORKS TO PHOTOGRAMMETRIC PROCESSES

KEY WORDS: artificial neural network, image matching, digital photogrammetry

Summary

The paper discusses the use of artificial neural networks in geoinformatics, particularly in photogrammetric image analysis. It reviews the relevant international publications (including the ISPRS congress proceedings) and discusses the outcome of research on the use of networks for matching photogrammetric images. The paper shows also results of tests, described in the literature, in which neural networks were applied to perform tasks such as feature extraction, multispectral image classification, camera calibration and matching.

The idea of using neural networks is based on the selection of special representations. The essence of the neural networks-based methodology consists of preparing suitable representations of image fragments and of using them to classify various types of neural networks. One of the methods adopted was based on the distribution and direction of image gradient module value.

The research was conducted on forty four sub-images, taken from aerial photographs of two Polish cities: Bytom and Cracow. The areas shown in those images differed in their terrain cover. The images were divided into three categories: full sub-images, sub-images divided into 4 parts, and sub-images divided into 6 small parts.

The research involved the Intersecting Cortical Model (ICM), a version of the Pulse Coupled Neural Network (PCNN), with which the so-called image signatures, i.e., a few dozen-element vectors that describe the image structure were generated. The preliminary results partially confirm the correctness of the approach adopted, despite problems resulting from the complex nature of photogrammetric images.

dr inż. Sławomir Mikrut
e-mail: smikrut@agh.edu.pl
tel. (12) 617 23 02

dr inż. Zbigniew Mikrut
e-mail: zibi@agh.edu.pl
tel. (12) 617 38 53

**ZDJĘCIA RADAROWE TERRASAR-X / SPOTLIGHT MODE:
KOMPLEMENTARNOŚĆ FOTOINTERPRETACYJNA W STOSUNKU DO
ZDJĘĆ IKONOS NA OBSZARACH ZURBANIZOWANYCH**

**TERRASAR-X / SPOTLIGHT MODE RADAR IMAGES:
PHOTOINTERPRETATION COMPLEMENTARITY WITH IKONOS IMAGES
IN URBAN AREAS**

Marek Mróz¹, Magdalena Mleczko²

¹ Zakład Fotogrametrii i Teledetekcji, Uniwersytet Warmińsko – Mazurski w Olsztynie

² Wydział Geodezji i Gospodarki Przestrzennej UWM – studentka V roku

SŁOWA KLUCZOWE: TerraSAR-X, „Spotlight mode”, fotointerpretacja, obszary zurbanizowane, komplementarność informacyjna, IKONOS

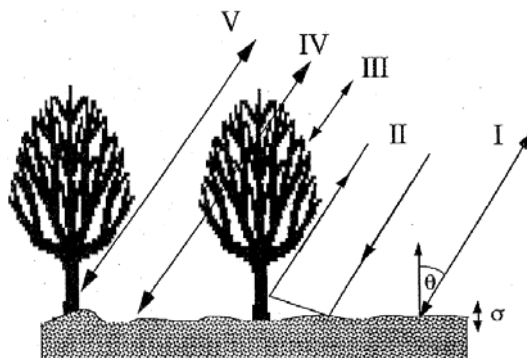
STRESZCZENIE: Zdjęcia radarowe systemu TerraSAR-X (mikrofalowe pasmo X – ok. 3cm) są dostępne w Polsce od kilku miesięcy w ramach promocyjnej kampanii firmy Infoterra GmbH oraz w ramach projektów badawczych wspieranych przez niemiecką agencję kosmiczną DLR. W pracy przedstawiono zdjęcia zarejestrowane 11-10-2007r, w trybie „Spotlight”, w rozdzielczości geometrycznej ok. 3m, o podwójnej polaryzacji: VV oraz HH, dla obszaru miasta Olsztyna i okolic. Dla tego samego obszaru, zostały również zarejestrowane w dniu 21-09-2007 zdjęcia satelitarne IKONOS o rozdzielczości 1m w trybie panchromatycznym, oraz 4 m w trybie wielospektralnym. Badana była komplementarność obu sensorów w zakresie tematycznej i topograficznej interpretacji treści tych obrazów na terenach zurbanizowanych. Analizowano możliwości identyfikacji budynków na podstawie wielospektralnych zdjęć Ikonos o podwyższonej rozdzielczości geometrycznej (*panmerged*) oraz po połączeniu tych obrazów z obrazami TerraSAR-X. Autorzy poszukiwali odpowiedzi na pytanie o wartość interpretacyjną tego typu obrazów TSX i jej ograniczenia w rozpoznaniu struktury terenów zabudowanych w stosunku do zdjęć wysokorozdzielczych Ikonos. Wyniki wskazują, że analizowany produkt TSX/Spotlight o badanych parametrach nie spełnił oczekiwań fotointerpretacyjnych w zakresie stawianym w pracy.

1. WPROWADZENIE TEORETYCZNE I CEL PRACY

Możemy zidentyfikować przynajmniej 5 ważnych mechanizmów rozpraszania w teledetekcji radarowej:

- I. Rozpraszanie wsteczne od powierzchni szorstkiej (*backscattering from a rough surface*);
- II. Odbicie wielokrotne niskiego rzędu (*low-order multiple scattering, double bounce*,) jakie pojawia się na obszarach leśnych lub zurbanizowanych i jest efektem odbicia przez dwuściany;
- III. Rozproszenie objętościowe losowe (*random volume backscatter*) z nieprzenikalnej warstwy dyskretnych rozpraszaczy;

- IV. Rozpraszanie powierzchniowe (*surface scattering*) po przejściu przez ośrodek o losowym rozmieszczeniu rozpraszaczy, jakie pojawia się w przypadku użycia pasma P lub L w celu penetracji w pokrywę roślinną;
- V. Pojedyncze odbicie (rozproszenie) od struktur anizotropowych takich jak pnie drzew, gdzie wsteczne rozproszenie może być modelowane jako rozproszenie pochodzące od szorstkiego dielektrycznego walca lub innego obiektu podstawowego



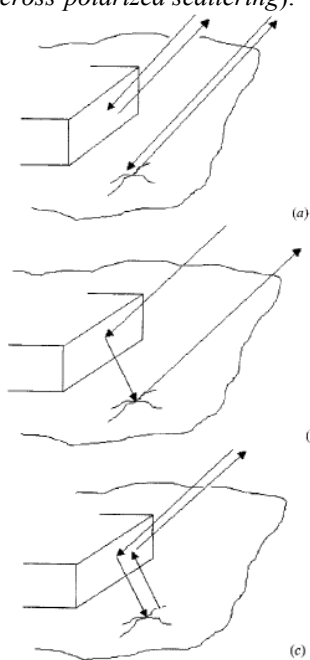
Rys. 1. Komponenty rozpraszania wiązki radarowej

Wsteczne rozproszenie fal radarowych w terenach zurbanizowanych jest zwykle wyższe niż na obszarach niezurbanizowanych (naturalnych). Wiadomo, że to silne rozpraszanie pochodzi od sztucznych obiektów takich jak ściany i dachy budynków wykonane przez człowieka z różnych materiałów. Na obszarach zurbanizowanych znajdują się liczne konstrukcje działające jak reflektory narożnikowe, utworzone z kombinacji ścian, dachów i przyziemi budynków. Również nachylone połacie dachowe, zwrócone w kierunku radaru działają jak silne reflektory. Niestety, dla obszarów miejskich wiedza na temat wiązków między „odpowiedzią radarową” i cechami przestrzeni zurbanizowanej, takimi jak geometryczne i fizyczne właściwości konstrukcji zbudowanych przez człowieka jest mniejsza niż dla obszarów naturalnych. Głównym powodem braku fizycznych i matematycznych modeli jest wysoka zmienność krajobrazu miejskiego, złożone kombinacje elementów antropogenicznych, inżynierskich i naturalnych, mnogość materiałów, wielkości i kształtów obiektów (Franceschetti 2002).

Prowadzono już różne prace modelowe i symulacyjne w zakresie rozpraszania wiązki radarowej przez obiekty terenów zurbanizowanych (Fujita, Miho 2006). Analizy danych AirSAR z Sydney pokazały, że nieparzyste odbicia (*odd-bounce scattering*) od nachylonych dachów przeważały przy małych kątach padania mikrofal, podczas gdy podwójne (*double-bounce scattering*) dominowały od dwuściennych form przyziemi-ściana przy dużych kątach padania. Mechanizmy rozpraszania silnie zależą od kierunku oświetlania wiązką radarową i jej orientacji w stosunku do budynków. W literaturze proponuje się ostatnio modelowe podejście do rozpraszania mikrofal na terenach zurbanizowanych, odwołujące się do dekompozycji polarymetrycznej odbitego echa (*target decomposition analysis*), szczególnie w sytuacji, gdy satelitarne urządzenia SAR osiągają rozdzielczości pojedynczych metrów i w pojedynczej komórce rozdzielczości może rzeczywiście znaleźć się specyficzna struktura z właściwym sobie dominującym mechanizmem odbicia. Rozproszenie radarowe z obszarów zurbanizowanych jest

połączeniem składowych „emanujących” z wielu centrów rozpraszania na danym obszarze. Każde takie centrum odbija falę padającą stosownie do swojej struktury i właściwości dielektrycznych, tak więc fale rozpraszane i odbijane wstecznie mogą być rozważane jako transformacje fal padających zgodnie z charakterystykami „oświetlanego” obiektu. Tak więc przez analizę danych polarymetrycznych pozyskanych dla obszaru zurbanizowanego możemy łączyć je ze strukturą tkanki urbanistycznej. Kilka metod jest stosowanych do oceny polarymetrycznych charakterystyk rozpraszania fal radarowych. Typowym podejściem jest metoda TDM (*target decomposition method*) zaproponowana przez Dong’a, uniwersalna w zastosowaniu do różnego rodzaju rozpraszaczy i materiałów. Dekomponuje ona macierz Muellera na cztery typowe mechanizmy rozpraszania:

- DB (*double-bounce scattering*),
- OB (*odd-bounce scattering*),
- BS (*Bragg scattering*),
- CS (*cross-polarized scattering*).



W przypadku danych niepolarymetrycznych (produktów amplitudowych) proponuje się w literaturze podejścia modelowe z zakresu optyki geometrycznej i fizycznej: PO – Physical Optics i GO – Geometrical Optics (Franceschetti et al. 2002). Autorzy ci podają, że sygnał radarowy jest bardzo czuły na orientację budynków, gdy szorstkość otaczającego terenu jest mała a kąt obrazowania jest większy niż 30stopni. Odwrotnie – odpowiedź radarowa słabo zależy od orientacji budynków gdy szorstkość terenu jest duża, a kąt padania mniejszy od 30 stopni. Dodatkowo, jeżeli rejestrujemy w układzie polaryzacji zachowanej VV lub HH, przy małej szorstkości terenu, zachodzi wielokrotne rozpraszanie (*multiple scattering*) między budynkiem i terenem, stając się dominującym mechanizmem rozpraszania dla szerokiego przedziału wartości kąta orientacji budynków. Z drugiej strony, jeżeli teren jest bardzo szorstki, a kąt obrazowania mały, pojedyncze odbicie od terenu odgrywa często fundamentalną rolę.

Rys. 2. Przykłady odbicia od budynków

Celem pracy była analiza jednego z pierwszych pozyskanych na obszarze Polski obrazów TerraSAR-X zarejestrowanych w trybie Spotlight, obrazu nowej generacji, o wyższej rozdzielczości geometrycznej niż stosowane dotychczas z pułapu satelitarnego. Przedmiotem analizy była przydatność fotointerpretacyjna obrazu w zakresie identyfikacji budynków, testowana w dzielnicy miasta Olsztyna o zabudowie indywidualnej, parterowej i jednopiętrowej, przy bardzo zróżnicowanym układzie ulic.

2. MATERIAŁY I METODY

Krótki opis systemu i wybranych produktów TerraSAR-X.

Tabela 1. Podstawowe dane techniczne systemu TSX

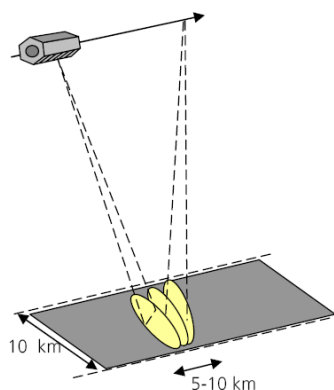
Parametry orbity i położenia		Parametry Systemu	
Nominalna wysokość orbity [km]	514	Częstotliwość fali nośnej	9.65 GHz
Interwał czasu [dni]	11	Polaryzacje	HH, VH, HV, VV
Zasięg kąta padania w trybie Spotlight	20° – 55° pełnowartościowych (15°-60° dostępnych)	Długość anteny Szerokość anteny Nominalny kierunek obrazowania	4.8 m 0.7 m w prawo
<i>Pulse Repetition Frequency</i> (PRF)	2.0 kHz – 6.5 kHz	Liczba położeń wertykalnych anteny w trybie ScanSAR	12 (pełnowartościowych) 27 (dostępnych)
Liczba obserwacji w kierunku azymutalnym	229	Liczba obserwacji w kierunku wertykalnym	91 (pełnowartościowych) 122 (dostępnych)

Tabela 2. Podstawowe parametry produktów SL i HS

Charakterystyczne parametry trybu Spotlight Mode (SL) i High Resolution Spotlight Mode (HS). Parametr	Wartość	
	Spotlight Mode (SL)	High Resolution Spotlight Mode (HS).
Wymiar obrazu	10 km (azymut) x 10 km (rozdzielczość terenowa)	5 km (azymut) x 10 km (rozdzielczość terenowa)
Zakres dostępnych kątów obrazowania	15° - 60°	15° - 60°
Liczba wertykalnych położeń anteny	91 (pełnowartościowych) 122 (dostępnych)	91 (pełnowartościowych) 122 (dostępnych)
Liczba azymutalnych położeń anteny	od 125 do 229	od 125 do 229
Azymutalny kąt sterowania zrandomizowany	± 0.75°	± 0.75°
Rozdzielczość azymutalna	1.7 m (pojedyncza polaryzacja) 3.4 m (podwójna polaryzacja)	1.1 m (pojedyncza polaryzacja) 2.2 m (podwójna polaryzacja)
Rozdzielczość terenowa	1.48 m - 3.49 m (@ 55°..20° kąt padania)	1.48 m - 3.49 m (@ 55°..20° kąt padania) 0.74 m – 1.77 m (300 MHz częstotliwość opcjonalna przy zmniejszonej szerokości pasa obrazowego)
Polaryzacje	HH albo VV (pojedyncze) HH/VV (podwójne)	HH albo VV (pojedyncze) HH/VV (podwójne)

Obrazowanie w trybie SL – Spotlight pozwala na uzyskanie sceny o wymiarach ok. 10x10 km, porównywalnej wielkością do sceny Ikonos. Zmiana trybu obrazowania na tryb najwyższej rozdzielczości geometrycznej powoduje konieczność zmniejszenia o połowę szerokości pasa obrazowania. Czyni to system mniej wydajnym. Teoretyczna, maksymalna rozdzielczość geometryczna w kierunku zasięgu, w pojedynczej polaryzacji

wynosi 0.89m, co wynika z szerokości pasma 150 MHz, jeżeli nie stosuje się żadnego wagowania spektralnego. Dla wszystkich produktów rozdzielczość maksymalna jest jednak zdecydowanie zredukowana przez wagowanie spektrum w kierunku zasięgu i azymutu przy użyciu tzw. okna Hamminga (wsp. Alfa = 0.6) w celu zniesienia listków bocznych anteny. To zredukowanie listków bocznych jest szczególnie ważne w obrazowaniu obszarów zurbanizowanych i przemysłowych, gdzie wysoka rozdzielczość przestrzenna systemu eksponuje (pokazuje, ujawnia) wielką liczbę niezwykle silnych rozpraszaczy, prowadzącą do wysokich kontrastów obrazu. Zależnie od kąta padania ukośna rozdzielczość (*slant range resolution*) równa 1.2m przekształca



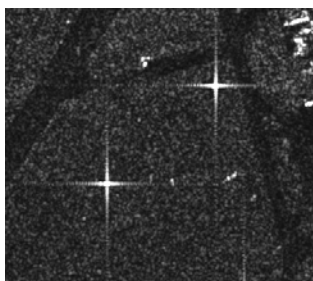
się do rozdzielczości terenowej (*ground range resolution*) o współczynnik $1/\sin(\text{kąta padania})$, to jest odpowiednio - do 1.7m przy kącie 45 stopni i 3.49m przy kącie 20 stopni.

W trybie Stripmap dual polarization wartość efektywna PRF (*Pulse Repetition Frequency*) na kanał jest obniżona i efektywna rozdzielczość produktów jest ustalona na 6.6m, tj. dwukrotność wartości dla pojedynczej polaryzacji. Przetwarzane pasma dopplerowskie są zatem równe 2765 i 1380 MHz, odpowiednio dla *single* i *dual polarization*. Analogiczna strategia jest stosowana w przypadku trybu *spotlight*.

Dla produktów zespolonych SSC rozdzielczość

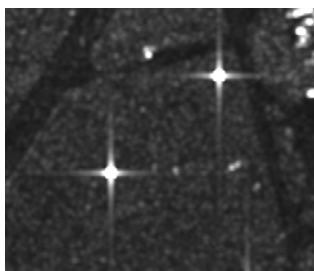
jest podawana w *azimuth* i *slant range*, natomiast dla produktów pochodnych (*detected*) jest podawana *in ground range*. W przypadku tych ostatnich redukcja rozdzielczości jest też powodowana zwiększeniem liczby look-ów co redukuje speckle i szum termiczny poprawiając rozdzielczość radiometryczną. Zaproponowano, zatem dwie różne strategie prowadzące do uzyskania dwu wariantów produktów pochodnych. Jeden optymalizowany dla rozdzielczości przestrzennej (SE - *spatially enhanced*), a drugi dla jakości radiometrycznej (RE - *radiometrically enhanced*). W obu wariantach zastosowano kwadratową komórkę rozdzielczości w mierze terenowej.

Spatially Enhanced Products (SE).



Produkt SE jest zaprojektowany jako możliwa najwyższa kwadratowa komórka rozdzielczości terenowej. W zależności od trybu obrazowania, polaryzacji i kąta padania większa komórka rozdzielczości, w kierunku azymutu lub w kierunku zasięgu, określa wymiar boku kwadratu piksela. Mniejsza, zaś jest do niej wyrównana a odpowiednia redukcja pasma przenoszenia (*bandwidth*) jest zastosowana w celu redukcji speckle'a.

Radiometrically Enhanced Products (RE).



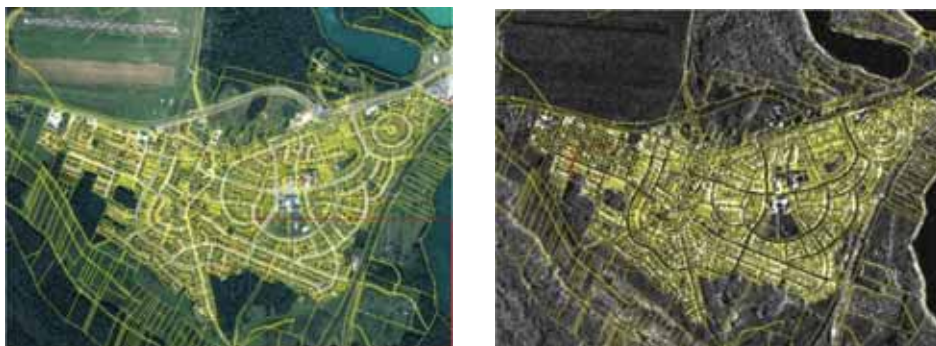
Produkt RE jest optymalizowany ze względu na radiometrię. Rozdzielczość azymutalna i rozdzielczość w zasięgu są w sposób intencjonalny pogarszane w celu znaczącej redukcji speckle'a przez uśrednienie w przybliżeniu 6 (5-7) „looków” aby otrzymać rozdzielczość radiometryczną rzędu 1.5 dB. SNR (Signal to Noise Ratio), który na ogół pogarsza się dla większych kątów padania jest zakładany na poziomie -6 dB dla 20 stopni i -12 dB dla 50 stopni.

Tabela 3. Parametry techniczne wykorzystanego obrazu

Misja – TSX Date: 2007-10-11, 06h41 – czasu lokalnego	Level 1B Product
Orbita: 1793	Wariant produktu - EEC (Enhanced Earth Corrected)
Tryb obrazowania – SL (Spotlight Mode)	Wariant rozdzielczości – rozdzielczość radiometryczna
Tryb podwójnej polaryzacji	Polaryzacje HH / VV
Numer wiązki wertykalnej - Spot 094	Liczba wiązek azymutalnych - 41
Identyfikator pierwszej wiązki azymutalnej - 135	Identyfikator ostatniej wiązki azymutalnej - 95
Częstotliwość wysyłania impulsów: 3 700 MHz	Kąt padania w środku sceny: 53.4 deg.
Dokładność orbity: RAPID	Kąt orientacji anteny: 187.4848 deg
Nominalna rozdzielczość w kierunku ukośnym: 1 m	Nominalna rozdzielczość azymutalna: 2 m
Rozdzielczość terenowa: 5.9 m	Rozdzielczość azymutalna: 5.9 m
Liczba próbek w kierunku azymutalnym: 1.59	Identyfikator piksela – Radar Brightness (BETA NOUGHT)
Kodowanie wartości pikseli – 16 bits	Układ mapy - UTM
Wymiar piksela w wierszach: 2.75 m w układzie mapy	Wymiar piksela w kolumnach: 2.75 m w układzie mapy
Metoda resamplingu: Cubic Convolution	

W świetle powyższej tabeli widać, że teoretyczna rozdzielczość geometryczna deklarowana jako odległość ukośna w praktyce redukuje się kilkakrotnie (z 2 metrów do 6 np.), a podawana wielkość piksela w dostarczonym produkcie nie może być wprost wyznacznikiem przydatności lub nieprzydatności apriorycznej danego produktu do określonych celów fotointerpretacyjnych. Do oceny przydatności zdjęcia TSX wykonano ortofotomapę ze zdjęcia Ikonos oraz zidentyfikowano na niej około 700 budynków jedno i dwupiętrowych, wolnostojących i szeregowych, przypisując im kilka atrybutów: współrzędne środka dachu, rodzaj dachu oraz azymut głównej osi budynku. Dokładność geometryczna ortofotomapy IKONOS została potwierdzona na podstawie wektorowej mapy ewidencyjnej a dokładność transformacji wielomianowej obrazu TSX do układu ortofotomapy uzyskana na podstawie 15 fotopunktów, mierzona wartością RMSE (root mean square error) wyniosła 0.63 m. Podstawowym zadaniem i przetworzeniem było poszukiwanie na obu obrazach HH i VV progów wartości radiometrycznych (amplitudy reprezentowanej przez wartości pikseli DN) odpowiadających silnym rozpraszaczom, którymi są budynki. Dla obu testowano przedziały 0.02, 0.08 i 0.16% najwyższych wartości, co odpowiadało około 100, 500 i 1000 pikselom. Ostatnia wartość została przyjęta jako graniczna. Wartości niższe niż wytypowane progi mogły oczywiście też pochodzić od budynków, ale w takich

przypadkach były to po prostu budynki niewykryte na obrazie TSX i wtapiające się w otoczenie naturalne.



Rys. 5. Zdjęcia Ikonos i TerraSAR-X z „nakładką granic ewidencyjnych”



Rys. 6. Zdjęcia Ikonos i TerraSAR-X z „nakładką budynków”



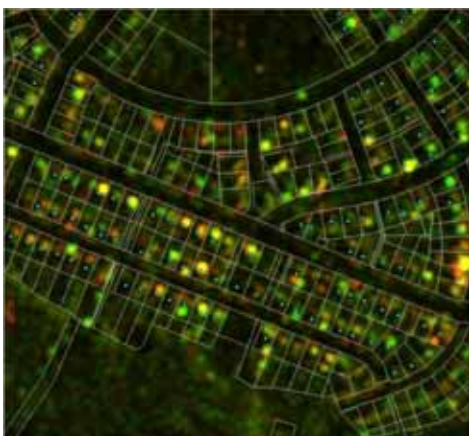
Rys. 7. Kompozycja barwna złożona z obrazu HH i VV odpowiednio jako komponenty R i G (komponent B wynosi zero). Zmienność barw wskazuje na nieco odmienne rozpraszanie w obu komponentach polaryzacji

3. WYNIKI I WNIOSKI

Prezentowane wyniki są wynikami wstępnymi opartymi na analizach wizualnych obrazów TSX oraz Ikonos, popartych tylko prostym modyfikowaniem kontrastu w procedurze progowania. Lepszy pogląd na komplementarność obrazów daje kompozycja nr 8b powstała przez integrację obrazów TSX oraz Ikonos metodą transformacji RGB – IHS oraz rysunek 9 przedstawiający fragment kompozycji radarowej z zaznaczonymi środkami dachów budynków.



Rys. 8 a i b. Fragment obrazu Ikonos oraz kompozycji po transformacji RGB-IHS



Rys. 9. Różnice w położeniu budynków reprezentowanych przez „centroidy” dachów w stosunku do najjaśniejszych pikseli radarowych

Analizowany obraz TSX został zarejestrowany w wariancie RE, co oznacza, że jest to najlepsza dla tego trybu obrazowania jakość radiometryczna. Wnioskować jednak należy, że w procesie uśredniania „looków” poprawa jakości radiometrycznej odbyła się kosztem dużej straty na rozróżnialności części budynków (niektórych budynków), które po prostu „zniknęły”. W kilku przypadkach można znaleźć różnice intensywności

pikseli uwytatniające elementy infrastruktury na komponencie VV w stosunku do HH. Nie jest to na tyle ważne aby programować rejestracje w podwójnej polaryzacji, która nie rekompensuje skutków utraty rozdzielczości przestrzennej, podobnie jak przez „multilooking”, w celu wytworzenia produktu RE. Analiza obrazu wskazuje, że kąt obrazowania 53 stopnie manifestuje się przede wszystkim zjawiskiem *double bounce*, tak nasilonym, że jako najjaśniejsze piksele widzimy części obiektu będące przyziemiami, od strony oświetlania wiązka radarową. Stąd dostrzegalne regularne przesunięcia całych ciągów domów w stosunku do ich obrazu optycznego. Nie wydaje się celowe i korzystne zamawianie i programowanie obrazów TSX w trybie Spotlight, w powyższej konfiguracji, do analizy rozwoju i ekspansji terenów zurbanizowanych. Rozpoczęte prace zostaną uzupełnione o szczegółowe analizy azymutów budynków oraz konstrukcje dachów bardziej w kierunku oceny jakościowej zaobserwowanych zjawisk, niż w aspekcie komplementarności z wysokorozdzielczym obrazem optycznym.

Analizowany obraz TSX został udostępniony bezpłatnie dzięki uprzejmości firmy Infoterra, która zarejestrowała go w czasie orbitalnej fazy testowej satelity TerraSAR-X.

4. LITERATURA

Cloude S.R., Pottier E. 1996. A Review of Target Decomposition Theorems in Radar Polarimetry. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 34, No.2, March 1996.

Franceschetti G. et al. A Canonical Problem in Electromagnetic Backscattering From Buildings. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 40, No.8, August 2002.

Fujita M, Miho Y., 2006. Analysis of a Microwave Backscattering Mechanism From a Small Urban Area Imaged With SIR-C. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, Vol. 3, No. 1, January 2006.

TX-GS-DD-3302. TerraSAR-X. Ground Segment. Basic Product Specification Document. Issue. 1.5. 24.02.2008.

TERRASAR-X / SPOTLIGHT MODE RADAR IMAGES: PHOTOINTERPRETATION COMPLEMENTARITY WITH IKONOS IMAGES IN URBAN AREAS

Marek Mróz ¹, Magdalena Mleczko ²

¹ Department of Photogrammetry and Remote Sensing,
University of Warmia and Mazury in Olsztyn

² Faculty of Geodesy and Land Management –M.Sc. student

KEY WORDS: TerraSAR-X, „Spotlight mode”, photointerpretation, urban areas, complementarity of information, IKONOS

Summary

TerraSAR_X radar images are now available to scientific groups in Europe and Poland in the framework of Infoterra's GmbH promotional campaign and through DLR's research proposals. The paper focuses on the use of TSX / Spotlight mode image, dual polarization VV/ HH acquired on 11 October 2007 over the urban area of Olsztyn in Poland. The same area was covered by an optical VHR Ikonos image taken on 21 September 2007. The complementarity of both sensors was studied in relation to visual identification and mapping of buildings. The aim of this study was to evaluate the suitability of the TSX image parameters for this task. The results showed the image parameters (RE, dual pol., spot 094) were not particularly adequate to the needs and failed to meet the photointerpreters' requirements.

dr hab. inż. Marek Mróz
e-mail: marek.mroz@uwm.edu.pl
tel. 609125816
fax: 089 523 3210

Magdalena Mleczko
e-mail: macia-m@o2.pl

**KOMISJA VII – PRZEGLĄD PRAC BADAWCZYCH
PREZENTOWANYCH
NA XXI. KONGRESIE MTFIT W PEKINIE**

**TECHNICAL COMMISSION VII – REVIEW OF THE RESEARCH
PAPERS PRESENTED AT THE 21ST ISPRS CONGRESS IN BEIJING**

**Stanisław Mularz¹, Wojciech Drzewiecki¹, Ewa Głowienka¹, Beata
Hejmanowska¹**

¹Katedra Geoinformacji, Fotogrametrii i Teledetekcji Środowiska, Wydział
Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, AGH, Kraków

SŁOWA KLUCZOWE: Kongres ISPRS, Komisja VII, przetwarzanie i analiza obrazów

STRESZCZENIE: Artykuł zawiera syntetyczne ujęcie problematyki badawczej prezentowanej w ramach Komisji VII na Kongresie MTFIT w Pekinie.

1. WPROWADZENIE

Zakres tematyczny prac Komisji VII, (zgodnie z nową nazwą przyjętą na XX Kongresie MTFIT w Istambule), obejmuje „Przetwarzanie Tematyczne, Modelowanie i Analizę Pozyskiwanych Zdalnie Danych” (Thematic Processing, Modeling and Analysis of Remotely Sensed Data). Dorobek Komisji VII opublikowany w materiałach kongresowych (The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Information Sciences, Vol. XXXVII, Part B7, Commission VII) obejmuje 1750 stron tekstu i usystematyzowany jest w pierwszej części zgodnie z problematyką poszczególnych Grup Roboczych (Working Groups) a mianowicie:

- WG VII/1 - Fundamental physics and modeling;
- WG VII/2 - Information Extraction from SAR Data;
- WG VII/3 - Information Extraction from Hyperspectral Data;
- WG VII/4 - Advanced Classification Techniques;
- WG VII/5 - Processing of Multi-Temporal Data and Change Detection;
- WG VII/6 - Remote Sensing Data Fusion;
- WG VII/7- Innovative Problem Solving Methodologies for Developed Countries.

W drugiej części tomu XXXVII znajdujemy wyniki badań, które mają zachęcić Czytelnika do lektury wybranych zagadnień Komisji VIII (*“Remote Sensing Applications and Policies”*) oraz materiałów będących owocem współdziałania Komisji VII i IV w ramach tzw. Inter-commission Working Group-(ICWG VII/IV) pod wspólnym hasłem: *“Derivation of global data, environmental change and sustainability indicators”*.

Całość prac badawczych prezentowanych w Komisji VII zamyka obszerny rozdział Sesji Tematycznych (*Theme Sessions*) oraz Sesji Specjalnej (*Special Session*) a mianowicie:

- Th – 17 - Geo-Information Contribution to Sustainability Indicators;
- Th – 18 – Change detection;
- SS – 7 – Global Monitoring for Environment and Security (GMES).

Układ niniejszego artykułu nawiązuje do przedstawionego powyżej schematu Grup Roboczych (WG) oraz Sesji Tematycznych (ThS).

2. PODSTAWY FIZYCZNE I MODELOWANIE - (WG VII/1)

Prace badawcze z tego zakresu (WG VII/1) prowadzone były przede wszystkim w europejskich ośrodkach uniwersyteckich, instytutach naukowych Holandii, Szwajcarii, Szwecji i Niemiec oraz w Chinach (przez placówki Chińskiej Akademii Nauk). Dotyczyły one głównie metodyki korekcji atmosferycznej dla potrzeb przetwarzania i interpretacji danych obrazowych (Beisl i Telaar, 2008; Schönermark *et al.*, 2008; Groot *et al.*, 2008) oraz wykorzystania różnych modeli (geometrycznych i optycznych) dla detekcji i oceny, m.in. cech strukturalno- teksturalnych a także zmienności biofizycznej i chemicznej zbiorowisk roślinnych (Zeng *et al.*, 2008; Verrelst *et al.*, 2008; Yáñez *et al.*, 2008; Wang *et al.*, 2008; Kneubühler *et al.*, 2008).

3. WYDOBYWANIE INFORMACJI Z DANYCH RADAROWYCH SAR - (WG VII/2)

Spośród 26 prac prezentowanych w ramach Grupy Roboczej VII/2 na szczególną uwagę zasługują aplikacje obrazów SAR oraz interferometrii radarowej m.in. dla potrzeb:

- eksploatacji górniczej (Ng *et al.*, 2008; Knechtlová i Hlaváčová, 2008; Ge *et al.*, 2008; Woldai i Taranik, 2008), jak również w rejonach aglomeracji miejsko-przemysłowych (Damoah-Afari *et al.*, 2008, Liu *et al.*, 2008),
- oceny wilgotności pokrywy glebowej, zwłaszcza w odniesieniu do obszarów kultywacji rolnej znajdujących się w niekorzystnych warunkach klimatycznych (Sanliet *et al.*, 2008; Zhang *et al.*, 2008),
- detekcji i geometryzacji wód powierzchniowych (Xir *et al.*, 2008),
- Warto również odnotować interesujące badania dotyczące wykorzystania obrazów radarowych dla celów:
- generowania cyfrowych modeli rzeźby terenu (Karwel i Ewiak, 2008; Yamane *et al.*, 2008),
- kartowania lasów tropikalnych (Rahman i Sumantyo, 2008),
- monitorowania ruchu kołowego w obrębie różnych ogniw infrastruktury komunikacyjnej (WeiHING *et al.*, 2008; Xie *et al.*, 2008).

W zakresie metodyki przetwarzania obrazów radarowych interesujące novum stanowi propozycja dotycząca procedury wpasowania lotniczych obrazów radarowych w oparciu o detekcję krawędzi (Fan i Deng, 2008).

4. EKSTRAKCJA INFORMACJI Z DANYCH HIPERSPEKTRALNYCH - (WG VII/3)

Tematykę zaprezentowanych w tym dziale artykułów można podzielić na 2 grupy: artykuły dotyczące zastosowania danych hiperspektralnych w konkretnych dziedzinach np. badanie gleb, roślinności, oraz grupa artykułów, których celem było przedstawienie metod przetwarzania danych hiperspektralnych.

4.1. Aplikacja danych hiperspektralnych w różnych dziedzinach

Ta grupa artykułów poświęcona została wykorzystaniu danych hiperspektralnych w badaniach właściwości gleby oraz identyfikacji zanieczyszczeń i stopnia jej degradacji (White *et al.*, 2008; Yue *et al.*, 2008). Zespół z Chin (Wang *et al.*, 2008) zaproponował nową metodę identyfikacji zanieczyszczeń gleby na podstawie badania *Independent Component Analysis* (ICA). Metoda ICA umożliwia detekcję nawet bardzo słabej informacji znajdującej się w danych hiperspektralnych. Badania dotyczyły także zależności odbicia spektralnego od zawartości materii organicznej dla gleb (He Ting *et al.*, 2008). Ben-Dor *et al.* (2008) przedstawił nową koncepcję kartowania gleb, która oparta jest na wykorzystaniu danych z optycznych sensorów lotniczych i spektrometrów naziemnych bazujących na technologii *Penetrating Optical Sensor* (POS). Informacje uzyskane z spektrometru obrazowego i naziemnego dają nowe możliwości automatycznego badania parametrów gleby *in situ*.

Duża część artykułów tej grupy tematycznej dotyczyła wykorzystania wyników pomiaru spektrometrycznego do badań roślinności. Głównie była to próba rozróżniania gatunków roślin na podstawie obliczonych współczynników wegetacji, parametrów uzyskanych z krzywych spektralnych oraz zawartości chlorofilu. Metody, które wykorzystano, są związane z właściwością danych hiperspektralnych, tzn. z ciągłością odpowiedzi spektralnej. Obliczano pierwszą i drugą pochodną krzywej spektralnej, *Continuum Removed*, *Spectra Feature Fitting* (SFF), Red Edg Position (REP) (Abbasi *et al.*, 2008; Pu, 2008; Cho *et al.*, 2008; Zhang *et al.*, 2008; Mozaffar *et al.*, 2008; Sun *et al.*, 2008). W wyniku testów stwierdzono, iż każda z technik daje bardzo dobre wyniki w określonych kanałach. Wszystkie wybrane kanały należą do typowego regionu absorpcji chlorofilu i absorpcji wody. Autorzy zwracają uwagę na konieczność badań roślinności *in situ* i tworzenia bibliotek spektralnych, które następnie mogą być wykorzystywane w teledetekcji lotniczej i satelitarnej. Badania roślinności dotyczyły także analizy korelacji pomiędzy indeksami wegetacji a zawartością chlorofilu (Chen i Chen, 2008) oraz indeksu LAI (*Leaf Area Index*) (Darvishzadeh *et al.*, 2008).

Dane hiperspektralne były również podstawą do analiz dla terenów rolniczych (Yueting *et al.*, 2008; Yang *et al.*, 2008). Gnyp *et al.* (2008) przedstawiają próbę wykorzystania metod teledetekcyjnych i GIS do identyfikacji terenów, na których zastosowano nadmierne nawożenie gleby nawozami azotowymi. Wykorzystanie danych hiperspektralnych do badania kolejnych faz wegetacji pszenicy można prześledzić w publikacji (Wang *et al.*, 2008). Zdaniem autorów stosowanie technik teledetekcyjnych dla danych o wysokiej rozdzielczości spektralnej, umożliwia monitorowanie wzrostu, rozwoju, i wielkości biomasy roślin uprawnych, a tym samym prognozowanie wielkości plonów.

Artykuł Zhao (Zhao *et al.*, 2008) przedstawia przykład wykorzystania danych MODIS do monitoringu terenów rolniczych dotkniętych suszą oraz do monitorowania

pożarów lasów. Autorzy stwierdzają, że dane z sensora MODIS wraz z danymi meteorologicznymi są doskonałym źródłem informacji do tego rodzaju badań i prac monitoringowych.

4.2. Metodyka przetwarzania danych hiperspektralnych

Metody przetwarzania, które były wykorzystywane przez autorów prezentowanych artykułów można zakwalifikować do czterech głównych grup: techniki redukcji danych i wyboru kanałów do analizy (*data reduction and band selection*), techniki korekcji atmosferycznej, klasyfikacji, metody ekstrakcji obiektów (*feature extraction*).

W grupie publikacji przedstawiających metodykę wyboru kanałów do analizy można wyróżnić artykuł (Su *et al.*, 2008), w którym zaprezentowano algorytm OBI (*Optima Band Index*) oparty na wymiarze fraktalnym. W algorytmie wymiar fraktalny opisuje jakość obrazu teledetekcyjnego jako indeks wagowy. OBI wykorzystuje wymiar fraktalny, jako kryterium podziału kanałów na te, które zawierają szum i te posiadające lepszą strukturę przestrzenną, lepszą jakość i cechy spektralne. Redukcja danych oparta na analizie fraktalnej dostarcza także nowych możliwości do badania pikseli mieszanych (Junying i Ning, 2008).

Ciekawe rozwiązania metodyczne zostały zaproponowane przez autorów, którzy w swoich algorytmach wzorują się na naturalnych mechanizmach takich jak: system immunologiczny - *Artificial Immune System* (Su *et al.*, 2008) czy sposób zachowania się roju pszczoł DPSO (*Discrete Particle Swarm Optimization*) (Xiaogang i Yonghong, 2008). Pierwszy z nich przedstawiono jako nową metodę redukcji nadwymiarowości danych hiperspektralnych o nazwie *Hyperspectral Dimensional Reduction Model* (HDRM), natomiast drugi służy do kompresji danych.

Przedstawiona została również aplikacja *Genetic Algorithm* (GA), która umożliwia klasyfikację etapową (Zhuo *et al.*, 2008). Autorzy wykorzystują w niej analogię do teorii naturalnej selekcji Darwina. Aplikacja współdziała z metodą SVM, optymalizując odpowiedni wybór kanałów i parametrów, co znacznie podnosi dokładność klasyfikacji. Innym sposób podnoszenia dokładności i sprawności klasyfikacji można prześledzić w artykule (Almog *et al.*, 2008). Autorzy proponują poprawę dokładności klasyfikacji obiektów powierzchniowych i ich separacji względem siebie na podstawie badania krzywej spektralnej za pomocą analizy falkowej.

5. ZAAWANSOWANE TECHNIKI KLASYFIKACJI – (WG VII/4)

Jedną z części komisji VII były zaawansowane techniki klasyfikacji (WG VII/4 – 46 artykułów). Lektura zaprezentowanych w tej grupie artykułów skłania do wyodrębnienia trzech grup tematycznych, dwóch natury technologicznej i są to: klasyfikacja wykorzystująca wspomaganie za pomocą narzędzi wektorowych (*Support Vector Machine* - VM) i klasyfikacja obiektowa, oraz jednej natury aplikacyjnej: analiza zmian porycia/użytkowania terenu. Przedmiotem badań były też: sieci neuronowe, algorytm drzewa decyzyjnego, teoria zbiorów rozmytych, wykorzystanie tekstury, procedury *unmixing'u* (klasyfikacja podpikselowa). Do klasyfikacji wykorzystywano również produkty dzielenia międzykanałowego, indeksy wegetacji, fraktale i systemy agentowe.

5.1. Wykorzystanie wspomagania z wykorzystaniem narzędzi wektorowych (SVM)

Wspomaganie z wykorzystaniem narzędzi wektorowych - *Support Vector Machine* (SVM) należy do dziedziny nauki zajmującej się statystyczną teorią uczenia. Właściwością tej metody, zaproponowanej przez Vapnika w 1963 i rozwijanej przez szereg lat, jest minimalizacja błędu klasyfikacji przy maksymalizacji geometrycznego wydzielenia klas. Dlatego też metoda ta jest również nazywana: *maximum margin classifiers*. SVM tworzy tzw. hiper płaszczyznę, która w sposób maksymalny rozdziela klasy, a utworzone wektory mają najkrótszą odległość od hiper płaszczyzny.

W materiałach kongresowych WG VII/4 znajduje się opis przykładu wykorzystania metody SVM dla potrzeb *matchingu* obrazów (Yang *et al.*, 2008). Metoda SVM została w tym przypadku wykorzystana do oceny dwóch algorytmów: znormalizowanej krzyżowej korelacji i algorytmu ekstrakcji krawędzi Canniego.

Algorytm SVM został wykorzystany do wspomagania klasyfikacji roślinności (Mills, 2008). W ocenie autora metoda SVM dała bardzo obiecujące wyniki, potwierdzając swój potencjał w procedurach klasyfikacyjnych. Algorytm ten dobrze sprawdza się dla małej liczby próbek (Moet *et al.*, 2008) i jest obecnie intensywnie badany w zakresie klasyfikacji i analiz regresji. Duża liczba pikseli poddawanych klasyfikacji na obrazach teledetekcyjnych stanowi jednak poważne utrudnienie dla metody SVM (tworzonych jest bardzo wiele pomocniczych wektorów). Dlatego też zaproponowana została modyfikacja tej metody o algorytm przesunięcia wartości średniej (*Mean Shift – MS*). Metoda MS-SVM polega na segmentacji obrazu, bazującej na algorytmie MS, stworzeniu obiektów i następnie ich klasyfikacji z wykorzystaniem metody SVM. Przeprowadzone testy wskazują na to, że ta modyfikacja przyspiesza obliczenia, a jednocześnie zachowuje wysoką dokładność klasyfikacji. Alternatywny algorytm (*convex hull*) można przeanalizować między innymi w kontekście algorytmu SVM w publikacji Qing *et al.* (2008).

5.2. Klasyfikacja obiektowa

Do zaawansowanych technik klasyfikacji od lat należy klasyfikacja obiektowa, która również w tym roku była szeroko prezentowana.

W materiałach konferencyjnych można znaleźć ogólną charakterystykę klasyfikacji obiektowej (Aplin i Smith, 2008) oraz opis modelu zorientowanego obiektowo, dynamicznej reprezentacji obiektów, ich cech geometrycznych i spektralnych, a także opis możliwości wykorzystania do klasyfikacji obiektowej danych z różnych sensorów (Zhang *et al.*, 2008). W tej grupie znajdują się informacje na temat polepszania wyników klasyfikacji z wykorzystaniem informacji kontekstualnych (Mojoradi *et al.*, 2008), wykorzystania systemów ekspertowych bazujących na obiektowej klasyfikacji dla potrzeb kartowania pokrycia terenu (Lei *et al.*, 2008) oraz generalne - różne przypadki wykorzystywania klasyfikacji obiektowej (Ochl, 2008; Lingjun *et al.*, 2008; Oczipka *et al.*, 2008; Yu i Zhang, 2008; Zhang *et al.*, 2008; Bruce, 2008; Watts i Lawrence, 2008). W artykułach tych można prześledzić konkretne rozwiązania i aplikacje, zwykle wraz z wynikiem analizy dokładności (macierzą korelacji, dokładnością producenta i użytkownika itp.), która z reguły wykazuje wyższą dokładność klasyfikacji metodami obiektowymi w porównaniu z metodami spektralnymi.

Jednym z etapów klasyfikacji obiektowej jest segmentacja, stanowiąca przedmiot badań opisanych w jednym z artykułów (Weidner, 2008). Autor zwraca uwagę na to,

że zbyt małe segmenty nie wpływają na wynik klasyfikacji, natomiast zbyt duże mogą być utrudnieniem. Poza tym zwrócono uwagę na problem właściwej geometryzacji segmentów. Natomiast Wuest i Zhang (2008) wykonywali segmentację wykorzystując jednocześnie dzielenie międzykanałowe i logikę rozmytą w integracji danych.

5.3. Badanie zmian pokrycia/użytkowania terenu

Do badania zmian pokrycia/użytkowania terenu włącza się zwykle techniki klasyfikacji obrazu. W materiałach podkomisji WG VII/4 znalazło się też tradycyjne podejście, opisujące zmiany pomiędzy dwoma stanami czasowymi: 1997 i 2003 w jednej z prowincji Chin (Sun *et al.*, 2008). Bardziej złożone analizy dotyczyły określenia liczby typów pokrycia terenu z wykorzystaniem metod klasyfikacji nadzorowanej, sieciami neuronowymi i metodą drzewa decyzyjnego na przykładzie trzech zestawów danych satelitarnych (Zhu, 2008). Klasyfikację obrazów MODIS obszaru Chin metodą rozmytą (fuzzy), największego prawdopodobieństwa i sieci neuronowych, z wykorzystaniem również indeksów wegetacji można prześledzić w publikacji (Chengfeng i Meng, 2008). Kompleksowe podejście do interpretacji pokrycia terenu można znaleźć w publikacji (Liu i Chen, 2008), w której zaprezentowano zintegrowane wykorzystanie obrazów teledetekcyjnych z obrazów SPOT i danych GIS.

Przypadek klasyfikacji pokrycia/użytkowania w obszarze zurbanizowanym z wykorzystaniem wysokorozdzielczych obrazów São José dos Campus w Brazylii można prześledzić na przykładzie klasyfikacji algorytmem drzewa decyzyjnego (C4.5) i klasyfikacji obiektowej (eCognition) (Pinho *et al.*, 2008). Wyniki uzyskane tymi metodami były podobne, z tym, że metoda drzewa decyzyjnego okazała się szybsza.

5.4. Inne

Artykuły prezentowane jako zaawansowane technologie klasyfikacji, które zostały zakwalifikowane jako inne dotyczyły: sieci neuronowych, wykorzystania tekstury obrazu, dzielenia międzykanałowego, *unmixing-u*, algorytmu drzewa decyzyjnego, systemów ekspertowych i klasyfikacji, w tym klasyfikacji rozmytej. Tematyka ta była również przedmiotem badań w grupie: badanie pokrycia/użytkowania terenu. Jednakże artykuły zostały wyróżnione w tamtej grupie ze względu na punkt ciężkości, który był w nich położony na badanie pokrycia terenu, a nie na testowanie różnych metod klasyfikacji. Natomiast w tym podrozdziale opisano artykuły w większym stopniu metodyczne niż aplikacyjne. W niektórych przypadkach wykorzystywano bowiem różne metody, dla pewnych specyficznych zastosowań. Przykładowo, sieci neuronowe były przedmiotem badań w kontekście rozpoznania krzywych spektralnych na obrazach hiperspektralnych (Hong *et al.*, 2008). Ponadto sieci neuronowe były przedmiotem badań dla potrzeb kartowania pokrycia terenu (Zhou i Yang, 2008).

Oprócz sieci neuronowych i klasyfikacji obiektowej opisanej powyżej do klasyfikacji obrazu wykorzystywano teksturę. Była ona stosowana w klasyfikacji obrazów lotniczych metodą Bayesa (Xin *et al.*, 2008), analizowana na podstawie fraktali wielu cech (Wang *et al.*, 2008) oraz wykorzystywana w automatycznej ekstrakcji krawędzi (Lu *et al.*, 2008). Metodę klasyfikacji z wykorzystaniem algorytmu największego prawdopodobieństwa w połączeniu z metodą SVM i z wykorzystaniem tekstury wraz z analizą lokalnych statystyk testowano w obszarach leśnych (Liu *et al.*, 2008).

Dzielenie międzykanałowe, teoria zbiorów rozmytych, *unmixing* były wykorzystywane w badaniach opublikowanych w artykule (Kumar i Sagar, 2008). Przedmiotem badań była woda i kwestia jej rozróżnienia od obszarów zacienionych. Wykorzystanie różnych indeksów wegetacji badali autorzy artykułu (Ozbakir i Bannari, 2008) dla potrzeb kartowania roślinności miejskiej. Wyniki ich badań wskazują na potencjalnie większe możliwości *Transformed Difference Vegetation Index (TDVI)* w porównaniu z innymi indeksami wegetacji. Pewne specyficzne wykorzystanie indeksu wegetacji polegało na jego wspólnej analizie z temperaturą radiacyjną na obszarze zurbanizowanym Pekinu, wskazując na silną korelację pomiędzy tym wielkościami (Wu i Zhnang, 2008)

Inną technologią ekstrakcji informacji jest algorytm *unmixingu*. Metoda klasyfikacji oparta o *unmixing* była wykorzystana z powodzeniem, nie tradycyjnie, w klasyfikacji *per pixel*, ale w klasyfikacji *per parcel* (Zhang *et al.*, 2008). Różne metody *unmixingu* można prześledzić w obszarze zurbanizowanym Los Angeles w USA (Chen i Li, 2008). Metoda ta była również testowana w celu określania w terenie zabudowanym typowych trzech klas: roślinności, odkrytej gleby i terenów nieprzepuszczalnych (Welikanna *et al.*, 2008). W badaniach wykorzystano obrazy HYPERION, LANDSAT, ASTER i IKONOS. W metodach *unmixingu* stosuje się różne specyficzne modyfikacje, wprowadzając na przykład Fully Constrained Oblique Subspace Projection (FCOBSP) oraz Linear Unmixing Algorithm (He i Mei, 2008).

Z kolei wzbogacenie klasyfikacji metodą drzewa decyzyjnego (c4.5) może znacząco zwiększyć ogólną dokładność klasyfikacji, jak i zmniejszyć liczbę błędnie sklasyfikowanych pikseli (Jiao *et al.*, 2008). Wykorzystanie metody *unmixingu*, a następnie klasyfikacji metodą drzewa decyzyjnego wykorzystano również z powodzeniem dla obszaru delty Żółtej Rzeki (Wei *et al.*, 2008)

Innym przykładem jest stworzenie reguł eksperckich opartych o klasyfikację nadzorowaną, nienadzorowaną, teksturę i składowe główne, które wykorzystano z powodzeniem dla potrzeb monitoringu bagiennych obszarów przybrzeżnych (Zhang *et al.*, 2008). W tę grupę tematyczną wpisuje się agentowy algorytm do wykrywania pożarów lasu (Movaghati *et al.*, 2008), który porównano z algorytmem MODIS 4.0. Wykazano dobrą zgodność wyników algorytmu agentowego z pomiarami terenowymi i większą dokładność w porównaniu z algorytmem MODIS 4.0. Nie podano jednak w niniejszym artykule o ile zwiększa się ta dokładność.

Inna grupę stanowią artykuły dotyczące klasyfikacji. Przykładem może być modyfikacja algorytmu klasyfikacji nienadzorowanej ISODATA z wykorzystaniem algorytmu fuzzy clustering. Modyfikacja nie tylko określa w sposób dynamiczny liczbę klas, wraz z określeniem prawdopodobieństwa dla każdego piksela, ale także redukuje liczbę parametrów wejściowych algorytmu ISODATA (Wenping *et al.*, 2008). Z kolei autorzy z uniwersytetu z Palermo zaprezentowali badania dotyczące klasyfikacji obiektowej przeprowadzonej z wykorzystaniem klasyfikacji rozmytej na wysoko-rozdzielczych obrazach lotniczych i satelitarnych (Emmolo *et al.*, 2008). Pewnym aspektem klasyfikacji było specyficzne wykorzystanie PCA do transformacji kanałów, przy czym wykorzystano dane z pól testowych. Następnie w wyniku progowania pseudokanałów dokonano ekstrakcji klas (np. dróg) (Bernardini *et al.*, 2008)

6. PRZETWARZANIE DANYCH WIELOCZASOWYCH I WYKRYWANIE ZMIAN – (WG VII/5 ORAZ THS 18)

Publikacje poświęcone tematyce przetwarzania danych wieloczasowych i wykrywania zmian stanowiły jedną z dominujących grup prac prezentowanych w Komisji VII. W grupie tej znajduje się aż osiemdziesiąt cztery artykuły (56 w ramach podkomisji VII/5 i 28 w ramach specjalnej sesji tematycznej ThS 18). Wśród zaprezentowanych prac wydzielić można dwie grupy – prace skoncentrowane na aspektach technologicznych i prace o charakterze aplikacyjnym.

Jako wprowadzenie do zagadnień technologicznych dotyczących wykrywania zmian na wieloczasowych obrazach teledetekcyjnych potraktować można artykuł Gong *et al.* (2008). Jego autorzy pokusili się o dokonanie przeglądu i klasyfikacji stosowanych w tym celu algorytmów. Przedstawiają również pokrótce zagadnienia dotyczące przetwarzania wstępnego (korekcja radiometryczna i geometryczna) oraz oceny dokładności uzyskiwanych wyników.

Na uwagę zasługuje duża liczba publikacji, w których pojawiają się propozycje nowych podejść metodycznych do wykrywania zmian oraz rozwiązań mających na celu automatyzację tego procesu. Dotyczą one różnego rodzaju sensorów i zastosowań: obrazów SAR (Huang, 2008; Shaohong *et al.*, 2008), zdjęć lotniczych (Liu *et al.*, 2008; Sasagawa *et al.*, 2008; Ji i Yuan 2008), wysokorozdzielczych (Malpica i Alonso, 2008; Van der Sande *et al.*, 2008; Huo *et al.*, 2008; Zhu *et al.*, 2008; Wang *et al.*, 2008) i średniorozdzielczych (Xiao *et al.*, 2008; Chitroub i Al Sultan, 2008) obrazów multispektralnych, a nawet danych ALS (Rehor i Voegtler, 2008).

Propozycje metodyczne zmierzające do automatyzacji procesów aktualizacji istniejących map w oparciu o obrazy satelitarne przedstawiono w pracach Yang *et al.* (2008) oraz Dong i Zhang (2008). Ciekawą propozycję wykorzystania średniorozdzielczych obrazów satelitarnych do oceny stopnia aktualności ortofotomap lotniczych (lub uzyskanych z wysokorozdzielczych obrazów satelitarnych) prezentują Gweon i Zhang (2008). Zwracają oni uwagę na istniejącą potrzebę utrzymywania aktualnych wysokorozdzielczych baz danych obrazowych. Zauważają jednocześnie, iż wysokie koszty związane z pozyskaniem obrazów i wykonaniem ortofotomap stanowią niejednokrotnie barierę dla aktualizacji tego rodzaju baz. Ich zdaniem średniorozdzielcze obrazy satelitarne mogą być wykorzystane do identyfikacji wymagających aktualizacji obszarów zmian. Proponują oni w tym celu podejście oparte na dekompozycji falkowej ortofotomap lotniczych oraz klasyfikacji obiektowej. Jego celem jest nie tyle dokładne określenie zmian jakie zaszły w terenie, co odpowiedź na pytanie gdzie zmiany te miały miejsce. W efekcie procedura ta umożliwia ma wytypowanie obszarów wymagających aktualizacji przechowywanych w bazie danych wysokorozdzielczych.

Do grupy prac poświęconych aspektom technologicznym zaliczyć można również publikacje poświęcone klasyfikacji prowadzonej na obrazach wieloczasowych. Tavakkoli *et al.* (2008) prezentują tego rodzaju podejście dla klasyfikacji upraw oparte o zobrazenia radarowe z satelity Envisat, Kandrika i Roy (2008) wykorzystują dane z sensora AWIFS, a De Bie *et al.* (2008) wykorzystują opartą na zmianach wskaźnika NDVI klasyfikację nienadzorowaną obrazów SPOT/VEGETATION.

Duża liczba prezentowanych na Kongresie w Pekinie prac z zakresu przetwarzania danych wieloczasowych i wykrywania zmian ma niewątpliwie swoje źródło w fakcie coraz szerszego ich wykorzystywania w różnorodnych aplikacjach służących

monitorowaniu środowiska od skali lokalnej, poprzez regionalną, aż do globalnej. Uwagę zwraca częste wykorzystywanie danych satelitarnych o niskiej rozdzielczości przestrzennej (MODIS, SPOT/VEGETATION, AVHRR) zarówno w badaniach o zasięgu globalnym czy kontynentalnym, jak i regionalnym. Znajdują one zastosowanie w badaniach zmian wegetacji (Wu *et al.*, 2008; Song *et al.*, 2008; Swinnen, 2008; Huailanga *et al.*, 2008; Zhongyang *et al.*, 2008; Yan *et al.*, 2008; Huang *et al.*, 2008) i monitorowaniu upraw (Jonathan *et al.*, 2008; Arvor *et al.*, 2008), ale także monitoringu lodowców i pokrywy śnieżnej (Khosbayar *et al.*, 2008; Xu *et al.*, 2008) czy burz piaskowych (Mei *et al.*, 2008; Ochirkhuyag i Tsolmon, 2008).

W tym miejscu warto zauważyć, iż badania dotyczące zmian lodowców i pokrywy śnieżnej prowadzone były w różnych skalach i przy użyciu różnych sensorów. Moussawi *et al.* (2008) wykorzystywali w tym celu wysokorozdzielcze obrazy satelitarne i zdjęcia lotnicze, Tuvjargal *et al.* (2008) obrazy ALOS/PALSAR, a Yea *et al.* (2008) – średniorozdzielcze obrazy satelitarne.

Wśród aplikacji w skali lokalnej zwracała uwagę ilość prac związanych z monitorowaniem rozprzestrzeniania się miast oraz badaniem zmian użytkowania zachodzących na terenach zurbanizowanych (np. Hu i Ban, 2008; Yin *et al.*, 2008; Symeonakis *et al.*, 2008; Ji, 2008; Zhang *et al.*, 2008; Doxani *et al.*, 2008). W większości przypadków oparte one były na średnio- i wysokorozdzielczych obrazach satelitarnych. W kontekście tym analizowane były również wieloczasowe satelitarne obrazy termalne (Basar *et al.*, 2008; Zhou i Zhang, 2008). Wśród prac dotyczących monitorowania zmian na terenach miejskich warto zwrócić uwagę na artykuł przedstawiający oparty na obrazach z Ikonosa system wdrożony do praktycznego użytkowania w Stambule (Bayburt *et al.*, 2008).

Prezentowano również prace dotyczące zmian zachodzących w innych obszarach, m.in. na terenach leśnych (np. Nori *et al.*, 2008; Drozd *et al.*, 2008), obszarach chronionych (np. Michałowska i Głowienka, 2008; Wang *et al.*, 2008) czy użytkowanych rolniczo (np. Gao, 2008; Zhou *et al.*, 2008). Zwraca uwagę fakt, iż nierzadko w prowadzonych badaniach integrowano dane pochodzące z różnych sensorów oraz dane teledetekcyjne z archiwalną informacją kartograficzną. Zauważyć należy również, iż w analizie obrazów wieloczasowych wciąż z powodzeniem wykorzystywane są techniki fotointerpretacyjne (por. np. Lijun *et al.*, 2008; Noaje i Turdenau, 2008).

7. INTEGRACJA DANYCH TELEDETEKCYJNYCH – (WG VII/6)

Ogólnie biorąc, artykuły dotyczące problematyki scalania danych obrazowych pozyskiwanych za pomocą różnych sensorów (WG VII/6) można zgrupować w dwóch podstawowych segmentach, a mianowicie:

- 1) prace o charakterze metodycznym oraz
- 2) różnego rodzaju aplikacje procedur integracyjnych.

W pierwszej grupie artykułów na szczególną uwagę zasługuje praca Zhang *et al.* (2008), w której przedstawiono koncepcję uogólnionego modelu integracji danych teledetekcyjnych. Zasadność i możliwości swojego algorytmu autorzy testują na przykładzie metody PCA (Principal Component Analysis), wykorzystując do analizy obrazy z satelity IKONOS rejestrowane w trybie panchromatycznym oraz multi-spektralnym, o rozdzielczości przestrzennej odpowiednio - (1m) i (4m). W kolejnych pracach znajdujemy propozycje doskonalenia znanych i powszechnie stosowanych

metod łączenia obrazów, np. rozwinięcie metody ICA (Independent Component Analysis) i wykorzystanie jej do klasyfikacji obrazów (Chen *et al.*, 2008), ocena dokładności integracji danych obrazowych w oparciu o zespół odpowiednich wskaźników (Zhang, 2008), wykorzystanie zmodyfikowanej metody IHS (Intensity Hue Saturation) do integracji danych z wielu sensorów satelitarnych (Landsat 7, SPOT, Ikonos, QuickBird, EO-1, ALOS) (Dou i Chen, 2008) oraz zastosowanie systemu GPU (Graphic Processing Unit) do łączenia cech spektralnych i strukturalnych obrazu (Lu *et al.*, 2008). Interesujące i niewątpliwie ważne z poznawczego punktu widzenia są propozycje wykorzystania transformacji falkowej w procedurach scalania obrazów (Luo *et al.*, 2008; Abd-Elrahman i Elhabiby, 2008; Yao i Zhang, 2008; Choi *et al.*, 2008). Dotyczy to zwłaszcza integracji obrazów radarowych SAR z danymi optycznymi (Abdikan *et al.*, 2008; Sun *et al.*, 2008; Yonghong *et al.*, 2008; Wu *et al.*, 2008) obrazów hiperspektralnych z wysokorozdzielczymi obrazami lotniczymi (Jun *et al.*, 2008) oraz średnioskalowych zdjęć lotniczych z wielospektralnymi kanałami systemu Landsat ETM+ (Erdogan *et al.*, 2008).

W nawiązaniu do kwestii praktycznego wykorzystania idei fuzji danych teledetekcyjnych warto zwrócić uwagę na następujące obszary zastosowań:

- generowanie map użytkowania i pokrycia terenu w oparciu o klasyfikację danych obrazowych po dokonanej integracji za pomocą różnych procedur (Seung-Hee i Jin-Duk, 2008; Wenbo *et al.*, 2008; Gao i Masek, 2008),
- detekcja wód powierzchniowych, zbiorowisk roślinnych (Ali *et al.*, 2008; Wang *et al.*, 2008),
- kartowanie obszarów złożowych i terenów eksploatacji górniczej (Nasr i Ramadan, 2008; Wu *et al.*, 2008),
- automatyczne wykrywanie obiektów budowlanych i elementów infrastruktury komunikacyjnej (Wegner i Soergel, 2008; Khoshelham *et al.*, 2008; Guangzhen *et al.*, 2008; Yonghong i Blum, 2008),
- modelowanie 3D w oparciu o integrację zdjęć lotniczych i naziemnego skaningu laserowego (Buhur *et al.*, 2008).

8. INNOWACYJNE PODEJŚCIA METODYCZNE W ROZWIĄZYWANIU PROBLEMÓW DLA KRAJÓW ROZWIJAJĄCYCH SIĘ – (WG VII/7)

Artykuły omawianej grupy tematycznej (WG VII/7) stanowią swoistą „mozaikę” tematów badawczych, zarówno w dziedzinie teledetekcji jak też fotogrametrii, przy czym znaczna część prezentacji dedykowana jest badaniom w skali regionalnej. Ben Maathuis *et al.* (2008) przedstawili interesującą propozycję wykorzystania danych gromadzonych przez system GEOSS (*Global Earth Observation System of Systems*) poprzez ich (re)dystrybucję siecią GEONETCast dla szerokiego grona odbiorców, m.in. w krajach rozwijających się.

Spośród problemów przedstawianych w innych pracach tej grupy roboczej na uwagę zasługują:

- opracowanie metody dla oceny powstających zagrożeń (relacja: człowiek a czynniki tzw. hazardu przyrodniczego) w oparciu o analizę danych teledetekcyjnych i GIS (Ebert i Kerle, 2008),
- badania spektroskopowe gruntów pęczniejących i analiza ich parametrów geotechnicznych (Yitagesu *et al.*, 2008),

- kompleksowa ocena warunków geomorfologicznych, geologicznych, geologiczno-złożowych i ekologicznych w rejonach eksploatacji węgla w Chinach w oparciu o tematyczną interpretację obrazów satelitarnych: SPOT, IKONOS, Quickbird (Wenruo *et al.*, 2008),
- wykorzystanie danych teletekcyjnych i GPS do oceny obszaru upraw w Chinach (Wu i Sun, 2008),
- budowa bazy danych dla oceny stanu i monitorowania zmian użytkowania/pokrycia terenu w zachodniej części Mongolii (Tsolmon *et al.*, 2008)
- wykorzystanie cyfrowej fotogrametrii dla opracowania testowej mapy katastralnej w Indiach (Agrawal i Kumar, 2008).

9. WKŁAD GEOINFORMACJI DO OPRACOWANIA WSKAŹNIKÓW ROZWOJU ZRÓWNOWAŻONEGO – (THS 17)

W ramach prac Komisji VII odbyła się również podczas Kongresu w Pekinie specjalna sesja poświęcona roli geoinformacji jako narzędzia wspomagającego opracowywanie wskaźników oceny rozwoju zrównoważonego (ThS 17 – „*Geo-Information Contribution to Sustainability Indicators*”; 22 artykuły). Próby konstrukcji indyktorów mających na celu ewaluację stopnia realizacji celów rozwoju zrównoważonego w aspekcie środowiskowym, ekonomicznym i społecznym podejmowane są od lat 90. XX wieku. Jako wprowadzenie do tematyki prezentowanej w ramach tej sesji tematycznej polecić można artykuł (Trinder, 2008). Jego autor omawia koncepcję rozwoju zrównoważonego oraz przedstawia od strony teoretycznej tematykę konstrukcji wskaźników służących do jego oceny. Przedstawia także możliwości wykorzystania w tym celu technik teledetekcyjnych, podając zaczerpnięte z literatury przykłady tego typu zastosowań.

Przykładu opartego na technologiach geoinformacyjnych praktycznego wdrożenia idei indyktorów rozwoju zrównoważonego jako narzędzia wspomagającego proces podejmowania decyzji z zakresu administracji publicznej dostarcza praca (Hansen *et al.*, 2008). Jej autorzy prezentują prace zrealizowane w rejonie Vale do Rio dos Sinos (Brazylia). Dzięki zastosowaniu narzędzi teledetekcyjnych i Systemu Informacji Geograficznej utworzono dla tego obszaru zintegrowaną bazę danych środowiskowych, społecznych i ekonomicznych. Zgromadzone w niej dane znajdują zastosowanie w specjalnie opracowanym systemie eksperckim umożliwiającym konstrukcję indyktorów rozwoju zrównoważonego oraz ocenę dostępności i wrażliwości szeroko rozumianych zasobów. Hasim *et al.* (2008) prezentują zintegrowane wykorzystanie technik teledetekcyjnych i GIS w procesie opartej na koncepcji wartości dóbr i usług przyrody oceny proponowanych zmian sposobu użytkowania terenu, na przykładzie przekształcania obszaru lasu w plantację palmy olejowej. Drzewiecki (2008) przedstawia przykład oceny środowiskowych uwarunkowań rozwoju oparty na koncepcji funkcji i potencjałów częściowych krajobrazu.

Pozostałe prace prezentowane w ramach sesji tematycznej ThS 17 przedstawiają zastosowania technik geoinformacyjnych do pozyskiwania i analizowania informacji wspomagającej ocenę wybranych aspektów środowiska i rozwoju. I tak, między innymi:

- Wallin (2008) wykorzystuje obrazy satelitarne do inwentaryzacji zasobów leśnych i sporządzania map obszarów ponad granicą lasu;

- Rasib *et al.* (2008) stosują obrazy MODIS do oceny zmian produkcji pierwotnej netto lasów tropikalnych w skali lokalnej;
- Furby *et al.* (2008) prezentują rozwiązania zastosowane dla klasyfikacji lasów w opartym na obrazach z Landsata programie monitoringu zmian użytkowania w Australii;
- Kumar *et al.* (2008) w oparciu o obrazy z Landsata oceniają szkody wyrządzane przez pożary lasów i stosują GIS do poszukiwania związków pomiędzy wielkością szkód a różnymi czynnikami środowiskowymi;
- Mutinga *et al.* (2008) dokonują oceny ewapotranspiracji aktualnej w oparciu o dane MODIS;
- Kopka *et al.* (2008) przedstawiają porównanie obrazów MODIS, ASTER i Landsat w kontekście uzyskiwania parametrów wykorzystywanych w modelowaniu roślinności (LAI, NDVI, APAR);
- propozycję synergistycznego wykorzystania danych satelitarnych do sporządzania map obrazujących globalną dystrybucję terenów uprawnych zawiera praca You *et al.* (2008);
- Tao i Chengming (2008) wykorzystują dane MODIS do monitoringu zmian terenów użytkowanych rolniczo;
- Rao *et al.* (2008) prezentują integrację teledetekcji i GIS w celu opracowania map stref agro-klimatycznych;
- Yaohuan *et al.* (2008) opracowują mapy gęstości zaludnienia w oparciu o dane teledetekcyjne;
- praca Kasimu i Tateishi (2008) poświęcona jest metodom sporządzania map terenów zurbanizowanych w skali globalnej;
- Song (2008) przedstawia zastosowanie GIS do uzyskania obrazu zmian jakości powietrza w czasie i przestrzeni.

Publikacja powstała w ramach projektu AGH nr 11.11.150.949

10. LITERATURA

The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, ISPRS Congress Beijing 2008 Volume XXXVII Part B7 Commission VII ISSN 1682-1750

<http://www.isprs.org/publications/archives.html>

dr hab. inż. Stanisław Mularz, prof. n. AGH
e-mail: mularz@agh.edu.pl
tel. 12 617 22 88
fax: 12 617 39 93

dr inż. Wojciech Drzewiecki
e-mail: drzewiec@agh.edu.pl
tel. 12 617 23 02

dr hab. inż. Beata Hejmanowska, prof. n. AGH
e-mail: galia@agh.edu.pl
tel. 12 617 22 72

mgr inż. Ewa Głowienka
e-mail: eglo@agh.edu.pl
tel. 12 617 22 88

DANE REFERENCYJNE: OPISYWANIE POŁOŻENIA OBIEKTÓW W ŚWIETLE NORM ISO SERII 19100

REFERENCE DATA: DESCRIBING POSITION OF THE FEATURES ACCORDING TO THE ISO SERIES 19100 STANDARDS

Wojciech Pachelski¹, Zenon Parzyński², Agnieszka Zwirowicz¹

¹ Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

² Politechnika Warszawska

SŁOWA KLUCZOWE: opisywanie położenia, normy ISO, dane referencyjne, INSPIRE

STRESZCZENIE: Dane referencyjne (georeferencyjne) dostarczają środków umożliwiających przestrzenną lokalizację wszelkiej informacji geograficznej i są podstawą dla opracowań tematycznych. Są to dane, za które odpowiedzialne są służby geodezyjne i do których, w skali krajowej, mają zastosowanie instrukcje i wytyczne techniczne Głównego Geodety Kraju (GGK). W celu zapewnienia współdziałania (interoperacyjności) krajowych i europejskich infrastruktur danych przestrzennych, tworzonych w ramach INSPIRE, istnieje konieczność dostosowania instrukcji GGK do zawartej w normach ISO serii 19100 metodyki modelowania informacji geograficznej. W myśl dokumentów INSPIRE położenie obiektów może być wyrażane, w zależności od potrzeb, za pomocą współrzędnych (ISO 19107, 19111), przy wykorzystaniu siatek i nakładek (*coverages*) (ISO 19123) lub w sposób pośredni - za pomocą identyfikatorów geograficznych (ISO 19112). Niniejsze opracowanie omawia znormalizowane sposoby przedstawienia charakterystyki przestrzennej danych referencyjnych za pomocą tych metod.

1. POJĘCIE DANYCH REFERENCYJNYCH

Dane referencyjne (georeferencyjne) dostarczają środków umożliwiających przestrzenną lokalizację wszelkiej informacji geograficznej, a przez to są czynnikiem warunkującym współużytkowanie tej informacji przez różne ośrodki, instytucje i osoby oraz dla różnych celów. Są one wspólną podstawą, do której odnoszone są m.in. dane tematyczne. Dane referencyjne muszą spełniać następujące wymagania:

- zapewniać jednoznaczne położenie (lokalizację) informacji tematycznej użytkownika;
- umożliwiać łączenie danych pochodzących z różnych źródeł;
- stanowić szkieletową strukturę (kanwę) infrastruktur danych przestrzennych;
- zapewniać kontekst (odniesienie) dla przedstawianej informacji, który umożliwi jej lepsze rozumienie przez innych.

Aczkolwiek brak jest ścisłej i jednoznacznej definicji danych referencyjnych, to powszechnie za dane te uważa się dane wymienione w Załączniku I dyrektywy

INSPIRE (INSPIRE, 2007a). Dokument D2.3 (INSPIRE, 2007b), uszczegóławiając Załącznik I, formułuje w tym zakresie następujące grupy i podgrupy tematyczne (Tab.1).

Tabela 1. Dane referencyjne wg (INSPIRE, 2007b) – pozycje zaznaczone

1. Położenia geograficzne 1.1. Geograficzne systemy odniesienia 1.2. Nazwy geograficzne 1.3. Siatki geograficzne 2. Jednostki administracyjne 2.1. Oficjalne jednostki administracyjne 2.2. Rządowe strefy zarządzania. 2.3. Bloki, spisy i obwody statystyczne. 2.4. Jednostki bezpieczeństwa publicznego. 2.5. Jednostki zarządzania i sprawozdawczości środowiskowej. 2.6. Kody i regiony pocztowe. 3. Nieruchomości, budynki i adresy 3.1. Nieruchomości. 3.2. Budynki 3.3. Adresy	4. Hipsografia 4.1. Rzeźba terenu 4.2. Batymetria 4.3. Linie brzegowe 5. 6. Powierzchnia terenu 6.1. Pokrycia terenowe 6.2. Zobrazowania ortofoto 7. Transport 7.1. Sieci transportowe 7.2. Usługi transportowe 8. Uzbrojenie terenu i urządzenia 8.1. Linie przesyłowe i rurociągi 8.2. Urządzenia ochrony środowiska 8.3. Urządzenia produkcyjne, przemysł 8.4. Urządzenia rolnicze 8.5. Urządzenia handlowe i usługowe
--	---

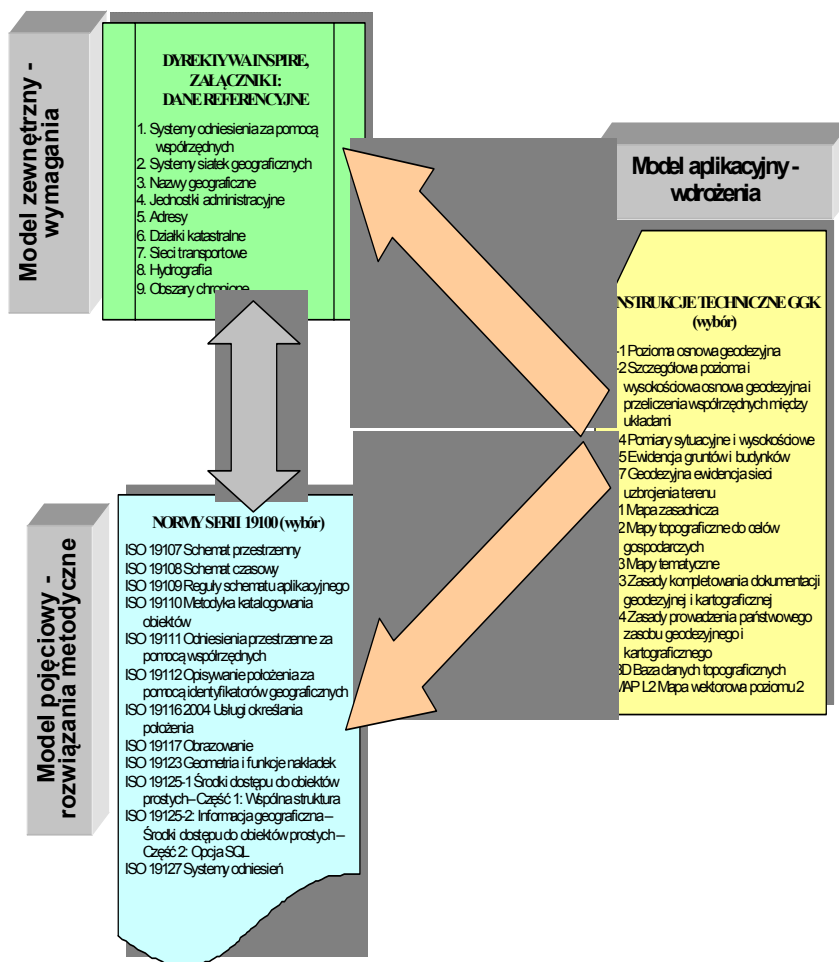
Jak wynika z właściwości danych referencyjnych oraz powyższego zestawienia, są to dane o obiektach, których położenie i inne cechy geometryczne i topologiczne są wyznaczane metodami geodezyjnymi. Są to więc dane, za które odpowiedzialne są służby geodezyjne i do których, w skali krajowej, mają zastosowanie instrukcje i wytyczne techniczne Głównego Geodety Kraju (GGK).

Naczelny postulat INSPIRE, jakim jest zapewnienie możliwości współdziałania (interoperacyjności) krajowych i europejskich infrastruktur danych przestrzennych, realizowany jest poprzez zawartą w normach ISO serii 19100 metodykę modelowania informacji geograficznej. W przypadku krajowych danych referencyjnych oznacza to konieczność dostosowania odpowiednich przepisów wykonawczych GGK do powyższej znormalizowanej metodyki, a w szczególności:

- opisanie zawartych w instrukcjach modeli informacyjnych za pomocą przyjętych w normach środków formalnych (języki UML i XML/GML);
- wewnętrznej harmonizacji przepisów, czyli zapewnienia ich wewnętrznej spójności, oraz
- integracji tych przepisów ze znormalizowanymi modelami pojęciowymi geometrii i topologii, położenia, jakości, i in.

Ogólną strukturę tego procesu przedstawia Rysunek 1, podczas gdy koncepcję wzajemnej harmonizacji (uzgodnienia) zawartych w instrukcjach GGK przepisów wykonawczych oraz integracji odpowiednich struktur informacyjnych ze znormalizowanymi modelami pojęciowymi omówiono w pracach (Pachelski, Parzyński, 2007) oraz (Pachelski, Parzyński, Zwirowicz, 2007). Niniejsza praca dotyczy natomiast znormalizowanych metod opisywania położenia obiektów, o których dane są

kwalifikowane jako dane referencyjne i które są przedmiotem omawianych przepisów wykonawczych G GK.



Rys. 1 Harmonizacja i integracja instrukcji technicznych G GK

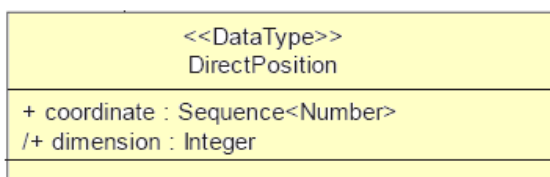
W myśl dokumentu D2.5 (INSPIRE, 2007c), w schemacie aplikacyjnym, będącym sformalizowaną postacią modelu pojęciowego dla danego zakresu przedmiotowego, położenie obiektów może być wyrażane, w zależności od potrzeb, za pomocą następujących metod:

- w sposób bezpośredni - za pomocą współrzędnych (ISO 19107, 19111);
- z wykorzystaniem siatek i nakładek (*coverages*) (ISO 19123);
- w sposób pośredni - za pomocą identyfikatorów geograficznych (ISO 19112).

2. BEZPOŚREDNIE OPISYWANIE POŁOŻENIA

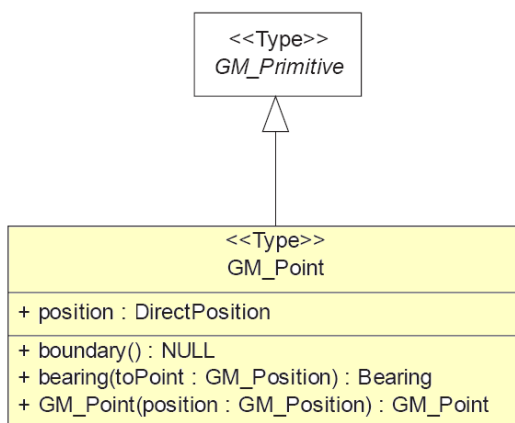
Metoda ta może mieć zastosowanie do obiektów przestrzennych o wyrażnie zdefiniowanych granicach, tj. do obiektów o reprezentacji geometrycznej 0-, 1- i 2-wymiarowej (tj. jako punkty, obiekty liniowe i obiekty powierzchniowe). Kluczowymi dla tej metody są normy ISO 19111 - model układu odniesienia oparty na współrzędnych, oraz ISO 19107 - modele geometrycznych i topologicznych reprezentacji obiektów przestrzennych. Bezpośrednie powiązanie modeli tych dwóch typów jest realizowane za pomocą klas `DirectPosition`, `GM_Point`, `GM_Position`, `GM_PointArray` i `GM_LineString`, przedstawionych poniżej.

- 1) `DirectPosition` (Rysunek 2) reprezentuje dziedzinę wartości, której elementami są zestawy współrzędnych (każdy w liczbie odpowiadającej wymiarowi przestrzeni), w ustalonym układzie odniesienia.

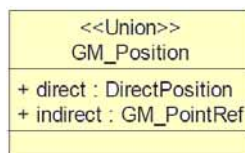


Rys. 2. Klasa `DirectPosition` (wg ISO 19107)

- 2) `GM_Point` (Rysunek 3) przypisuje położenie, jako wartość typu `DirectPosition`, obiektowi geometrycznemu będącemu pojedynczym punktem. Stąd klasa ta ma zastosowanie do opisanie geometrii wszystkich obiektów przestrzennych typu punktowego.
- 3) `GM_Position` (Rysunek 4) jest równoważna `DirectPosition`, kiedy podaje się położenie bezpośrednio za pomocą współrzędnych, bądź też umożliwia podanie położenia pośrednio - poprzez odwołanie do identyfikatora punktu (`GM_PointRef`).

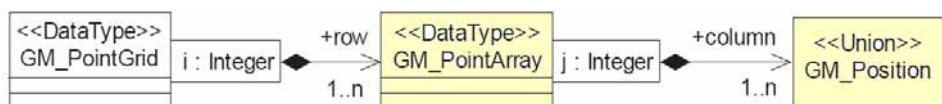


Rys. 3. Klasa `GM_Point` (wg ISO 19107)



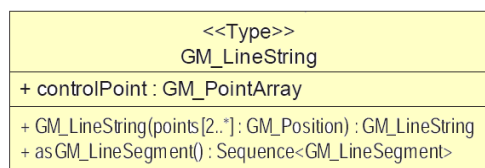
Rys. 4. Klasa GM_Position (wg ISO 19107)

- 4) GM_PointArray umożliwia efektywną organizację zespołu danych o położeniu, opisujących tzw. punkty kontrolne krzywych i powierzchni (także brył), w postaci tablicy punktów, której poszczególnymi elementami są położenia bezpośrednie lub pośrednie (DirectPosition lub GM_PointRef) w GM_Position (Rysunek 5). Na podobnej zasadzie może być zorganizowana siatka punktów (GM_PointGrid), mająca zastosowanie w przypadku nakładek (Rozdział 3).



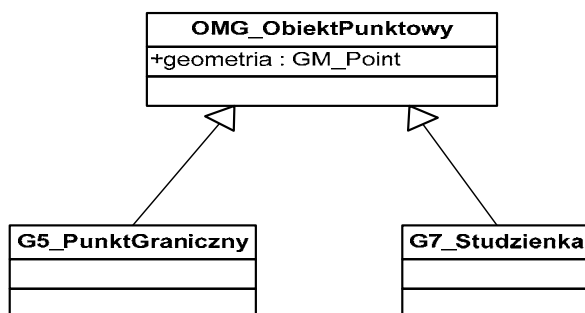
Rys. 5. Klasa GM_PointArray (wg ISO 19107)

- 5) GM_LineString (Rysunek 6)



Rys. 6. Klasa GM_LineString (wg ISO 19107)

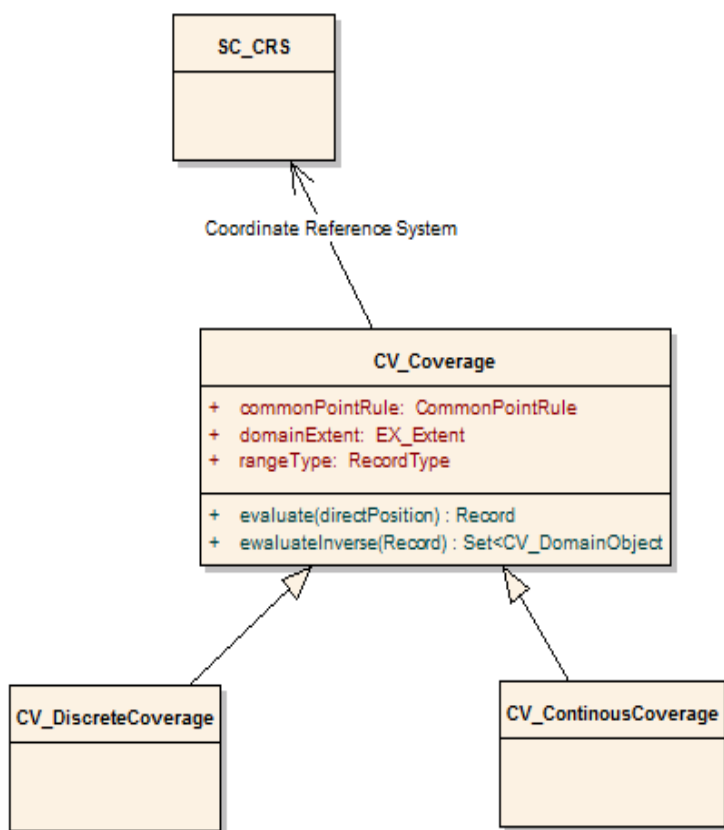
Przykład I: Uogólniony obiekt punktowy OMG_ObiektPunktowy (Rysunek 7) jest reprezentowany geometrycznie przez atrybut typu GM_Point. Stanowi to odwołanie do modelu geometrii w ISO 19107 i prowadzi do opisanego położenia poprzez klasę GM_Point.



Rys. 7. Geometryczna reprezentacja obiektów punktowych

3. POŁOŻENIE OBIEKTÓW CIĄGLYCH (*COVERAGES*)

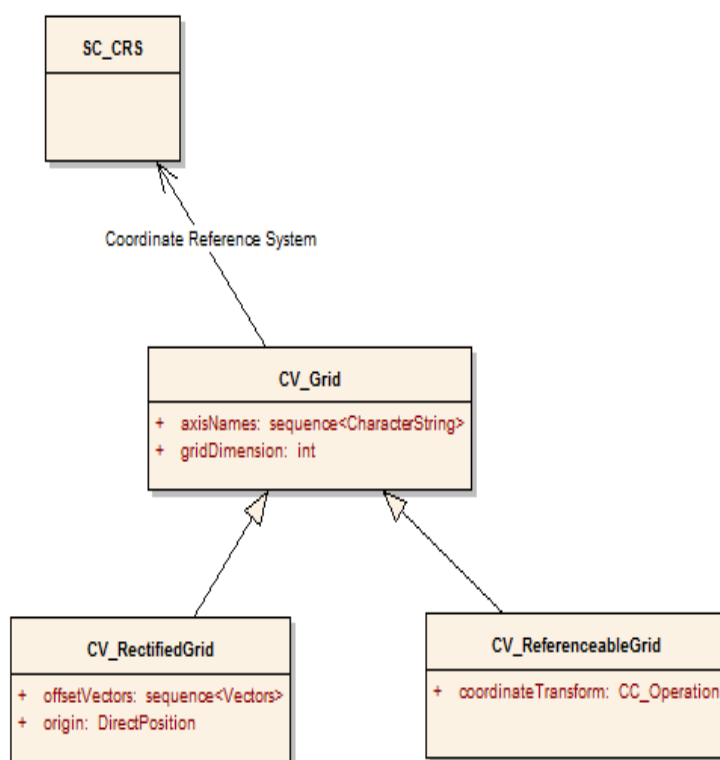
Do danych referencyjnych, do których zalicza się obiekty ciągłe, np. NMT i dane rastrowe, odnosi się norma ISO 19123 (ISO 19123, 2005). W normie tej pokrycie (nakładka) definiowana jest jako obiekt, który działa jak funkcja, która zwraca jedną lub kilka wartości atrybutu dla każdego położenia bezpośredniego. Omówione są dwa rodzaje pokryć (nakładek): ciągłe (*continuous*) i dyskretne (*discrete*). Nakładki dyskretne zwracają tę samą wartość dla każdego atrybutu w różnych punktach w obrębie jednego obiektu geometrycznego. Pokrycia ciągłe zwracają różne wartości dla tego samego atrybutu w różnych punktach w obrębie pojedynczego obiektu geometrycznego. Każda nakładka (CV_Coverage, Rysunek 10) opisana jest poprzez trzy atrybuty, dwie operacje i trzy asocjacje. Na podstawie podanego położenia bezpośredniego wskazywana jest wartość atrybutu (operacja *evaluate*). Istnieje także możliwość operacji *evaluateInverse*, dzięki której, po wprowadzeniu wartości atrybutu, otrzymuje się zbiór obiektów w danej dziedzinie. Asocjacja *Coordinate Reference System* łączy nakładkę z systemem odniesienia opartym na współrzędnych, w którym zdefiniowane są położenia obiektów. Klasa SC_CRS zdefiniowana jest w normie ISO 19111.



Rys. 10. Diagram klas UML dotyczący nakładki (*coverage*)

W przypadku zbioru regularnie rozmieszczonych punktów płaszczyzny (GRID, CV_GRID, Rysunek 11) wyróżnić można jego dwa podtypy: zbiór punktów, dla których występuje liniowa zależność między współrzędnymi punktów i współrzędnymi zewnętrznego systemu odniesienia, opartego na współrzędnych (CV_RectifiedGrid, Rysunek 11) oraz zbiór punktów związany z transformacją, która jest użyta do konwersji współrzędnych punktów do wartości współrzędnych odniesionych do zewnętrznego systemu odniesienia opartego na współrzędnych (CV_ReferenceableGrid). Klasa CV_RectifiedGrid powinna być zdefiniowana w określonym systemie odniesienia opartym na współrzędnych.

Klasa CV_ReferenceableGrid ma atrybut coordinateTransform, który opisuje operację transformacji współrzędnych, użytą do przeliczania wartości współrzędnych GRID do współrzędnych wyrażonych w określonym systemie odniesienia. Operacje transformacji współrzędnych omówione są w normie ISO 19111.

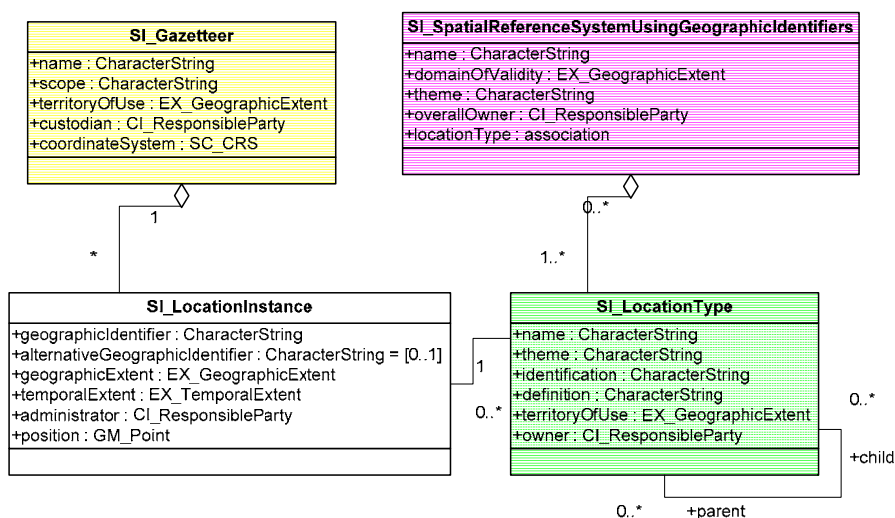


Rys. 11. Diagram klas UML dotyczący GRID

4. IDENTYFIKATORY GEOGRAFICZNE

Jest to sposób określania położenia, który w geodezji jest praktycznie nie wykorzystywany, natomiast jest bardzo „przyjazny” użytkownikom z innych dziedzin. W załączniku I Dyrektywy INSPIRE (INSPIRE, 2007a) jako przykłady danych referencyjnych są podane m.in. identyfikatory geograficzne: nazwy geograficzne,

jednostki administracyjne, adresy. Norma (ISO 19112, 2003) jest poświęcona określaniu położenia przy wykorzystaniu identyfikatorów geograficznych. Koncepcja wykorzystania identyfikatorów geograficznych jest przedstawiona na Rysunku 12.



Rys. 12. Określanie położenia za pomocą identyfikatorów geograficznych

W definicji układu odniesienia podane jest jakimi identyfikatorami (*name*) operujemy i czego (*theme*) one dotyczą. W Tabeli 2 przedstawiony jest przykład określenia układu odniesienia dla adresów.

Tabela 2 Przykład układu odniesienia dla identyfikatora geograficznego – adresy

Nazwa atrybutu	Przykład
name	adresy
domainOfValidity	Polska
theme	nieruchomości
overallOwner	Wydział Udostępniania Informacji w Departamencie Spraw Obywatelskich Ministerstwa Spraw Wewnętrznych i Administracji (dawniej: Centralne Biuro Adresowe)
locationType	województwo, powiat, gmina, miasto/miejscowość, dzielnica/osiedle, ulica

Jak można zauważyć, w ostatnim wierszu Tabeli 2 jest wymienionych kilka typów *locationType*. W Polsce najczęściej posługujemy się skróconą wersją adresu, tj. Warszawa, ul. Złocenia 8 m. 18. Pełen adres (zgodnie z normą) powinien wyglądać następująco: Polska, woj. Mazowieckie, powiat Warszawa-Zachodni, miasto Warszawa, dzielnica Wola, ulica Złocenia, numer 8 mieszkania 18. Klasa *SI_LocationInstance* jest „implementacją” klasy *SI_LocationType*. W powyższym przykładzie pełnego adresu instancją typu: województwo jest „Mazowieckie”. Dokładnie wyjaśnia to Tabela 3.

Tabela 3. Przykłady instancji SI_LocationInstance klasy SI_LocationType

SI_LocationType	SI_LocationInstance
województwo	Mazowieckie
powiat	Warszawa-Zachodni
miasto	Warszawa
ulica	Złocienia

Klasa SI_LocationType ma odwołania do siebie (*child* i *parent* na Rysunku 12). Oznaczają one nadrzędność (*parent*) i podrzędność (*child*) typów lokalizacji. Nadrzędnym typem dla powiatu będzie województwo. Dla województwa powiat jest typem podrzędnym. W SI_LocationInstance występuje warunkowy atrybut position typu GM_Point. Jest on warunkowy, ponieważ jeśli wykorzystywany identyfikator geograficzny nie podaje wystarczających informacji do jednoznacznej lokalizacji, atrybut position staje się atrybutem obligatoryjnym. W przeciwnym przypadku nie jest on potrzebny. Klasa SI_Gazetteer reprezentuje typ, w którym są przechowywane konkretne lokalizacje. Jest to katalog z rekordami danych.

5. LITERATURA

Gaździcki, J., 2007a. Problematyka transpozycji dyrektywy INSPIRE do prawa polskiego. http://www.gugik.gov.pl/gugik/w_pages/w_doc_idx.php?loc=69.

Gaździcki, J., 2007b. INSPIRE jako przedmiot współpracy międzyresortowej w Polsce. http://www.gugik.gov.pl/gugik/w_pages/w_doc_idx.php?loc=69.

INSPIRE, 2007a. Dyrektywa 2007/2/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 14 marca 2007 r. ustanawiająca infrastrukturę informacji przestrzennej we Wspólnocie Europejskiej (INSPIRE). http://www.gugik.gov.pl/gugik/w_pages/w_doc_idx.php?loc=69.

INSPIRE, 2007b. Drafting Team "Data Specifications": Definition of Annex Themes and Scope. D2.3_v2.0.doc.

INSPIRE, 2007c. Drafting Team "Data Specifications". Generic Conceptual Model. D2.5v.2.

Instrukcja G-5, 2003. Instrukcja G-5 Ewidencja Gruntów i Budynków. Główny Geodeta Kraju, Warszawa.

Instrukcja G-7, 1998. Geodezyjna Ewidencja Sieci Uzbrojenia Terenu (GESUT). Główny Geodeta Kraju, Warszawa.

Instrukcja K-1, 1995. Podstawowa Mapa Kraju - System Informacji o Terenie. Główny Geodeta Kraju, Warszawa.

ISO 19107, 2003. Geographic information – Spatial schema. ISO 2003.

ISO 19109, 2005. Geographic information — Rules for application schema. ISO 2005.

ISO 19111, 2007. Geographic information -- Spatial referencing by coordinates. ISO 2007.

ISO 19112, 2003. Geographic information -- Spatial referencing by geographic identifiers. ISO 2003

ISO 19123, 2005. Geographic information — Schema for coverage and functions. ISO 2005.

ISO 19137:2004. Geographic information — Generally used profiles of the spatial schema and of similar important other schemas. ISO 2004.

Kresse W., Fadaie K., 2004. ISO standards for geographic information. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Pachelski W., Parzyński Z., 2007. Aspekty metodyczne wykorzystania norm serii ISO 19100 do budowy geodezyjnych składników krajowej infrastruktury danych przestrzennych. *Roczniki Geomatyki*, Vol. 5, z. 3, ss. 113 - 122, 2007.

Pachelski W., Parzyński Z., Zwirowicz A., 2007. Aspekty implementacyjne modeli pojęciowych informacji geograficznej. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 17b, ss. 591 - 602.

Rozp., 2000. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 8 sierpnia 2000 r. w sprawie państwowego systemu odniesień przestrzennych. Dz.U.00.70.821 z dnia 24 sierpnia 2000 r.

REFERENCE DATA: DESCRIBING POSITION OF THE FEATURES ACCORDING TO THE ISO SERIES 19100 STANDARDS

KEY WORDS: describing position, ISO standards, reference data, INSPIRE

SUMMARY: Reference (georeference) data enable spatial location of each geographic information and are the basis for thematic data. They are produced by surveys and have to meet the standards set by the Head Office of Geodesy and Cartography. However, considering the need of interoperability between the national the European Spatial Data Infrastructures, which result from the implementation of INSPIRE, the Polish standards should be harmonized with the ISO series 19100 standards and with the GI methodology. The standards and the INSPIRE documents show that there are three methods of describing the spatial referencing: a direct approach, i.e., the coordinates (ISO 19107, 19111); an indirect approach, i.e., geographic identifiers (ISO 19112); and the coverages (ISO 19123). This paper describes the approaches to describe spatial characteristics of the features.

prof. dr hab. inż. Wojciech Pachelski
e-mail: wp@planeta.uwm.edu.pl

dr inż. Zenon Parzyński
e-mail: Z.Parzyński@gik.pw.edu.pl

dr inż. Agnieszka Zwirowicz
e-mail: agnieszka.zwirowicz@uwm.edu.pl

GENEROWANIE ORTOFOTOMAPY W APLIKACJI INTERNETOWEJ

ORTHOPHOTO GENERATION IN THE WEB APPLICATION

Zygmunt Paszotta

Zakład Fotogrametrii i Teledetekcji, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

SŁOWA KLUCZOWE: ortofotomapa, Internet, Java, aplikacja internetowa, numeryczny model terenu.

STRESZCZENIE: Tworzenie ortofotomapy ze zdjęć lotniczych jest procesem złożonym wymagającym specjalistycznego oprogramowania na cyfrowej stacji fotogrametrycznej. Okazuje się jednak, może on być zrealizowany przez Internet. Nawet, jeżeli ma to być sposób obciążony pewnymi ograniczeniami, to walory dydaktyczne i użytkowe takiego rozwiązania są duże. Skłoniły one autora do podjęcia się opracowania odpowiedniej metody realizacji. W artykule przedstawiono rozwiązanie tego zagadnienia. Ze względu na dostępność rozwiązania zdecydowano się na architekturę klient-serwer, gdzie klientem jest przeglądarka internetowa użytkownika. Tego typu aplikacje nazywa się aplikacjami webowymi. W publikacji opisano podstawy matematyczne budowy ortoobrazu jako funkcji. Algorytm generowania ortoobrazu przedstawiono przy pomocy diagramów. Współrzędne punktów do numerycznego modelu terenu wyznaczane są w sposób automatyczny. Ponieważ obszar ortoobrazu jest niewielki, limitowany wymiarami okna w przeglądarce użytkownika, przyjmuje się uproszczony model terenu w postaci płaszczyzny. Ortorektifikacja wykonywana jest na serwerze a siatka nakładana w apłecie klienta. Z uwagi na interpolację, obraz taki ma gorszą jakość od obrazu źródłowego, dlatego przedstawiono również zdjęcia źródłowe z siatką układu współrzędnych. W obu przypadkach obliczane są i wyświetlane współrzędne terenowe punktów wskazywanych przez kursor. Oprogramowanie, na które składają się aplety i servlety zostały napisane w języku Java. Aplikacja jest dostępna na stronie internetowej autora <http://www.kfit.uwm.edu.pl/zp/>

1. WPROWADZENIE

Rozwój fotogrametrii jest w ostatnich latach ściśle związany z rozwojem technologii informatycznych. Przy wykorzystaniu Internetu można wizualizować mapy wektorowe jak również lotnicze i satelitarne obrazy terenu. W powszechnym użyciu są serwisy tj. GoogleEarth, Google Maps, zumi.pl, itp. Idea budowy tych aplikacji jest zapisana w zadaniach grupy roboczej ISPRS. Tego typu aplikacje są elementem systemów informacji geograficznej (Peng, Tsou, 2003). Budową tych aplikacji zajmuje się wiele grup informatyków a także kilka grup roboczych ISPRS. Idea tworzenia ortofotomapy za pośrednictwem Internetu wpisuje się w ten nurt prac. Rozszerza ona możliwości fotogrametrii. Z uwagi na dostępność aplikacji przyjęto, że powinna to być tzw. aplikacja webowa, a zatem aplikacja rozproszona o architekturze klient-serwer z tzw. cienkim klientem. Klientem jest przeglądarka internetowa. Aplikacje takie mają swoje ograniczenia związane z szybkością transferu i dostępnością do zasobów komputera użytkownika. Jeżeli jednak przyjęte rozwiązanie będzie wydajne

i funkcjonalne, mimo tych ograniczeń, użytkownik będzie miał do dyspozycji proste i bezpieczne narzędzie do lokalnego generowania ortofotomap. Może mieć ono duże zastosowanie w geodezji, planowaniu przestrzennym, turystyce, nawigacji, obronności oraz edukacji.

Do wygenerowania ortofotomapy potrzebne są: rastrowy obraz terenu wraz z elementami jego orientacji oraz numeryczny model terenu. Zakładamy, że zasoby te znajdują się na serwerze. Elementy orientacji zapisane są w bazie danych a obraz terenu w postaci zdjęcia cyfrowego jako piramida obrazów. Użytkownik, korzystając z przeglądarki, interaktywnie (w trybie on-line) ma wygenerować ortofotomapę zadanego obszaru będącego obrazem cyfrowym uzyskanym w procesie ortorektyfikacji zdjęcia cyfrowego.

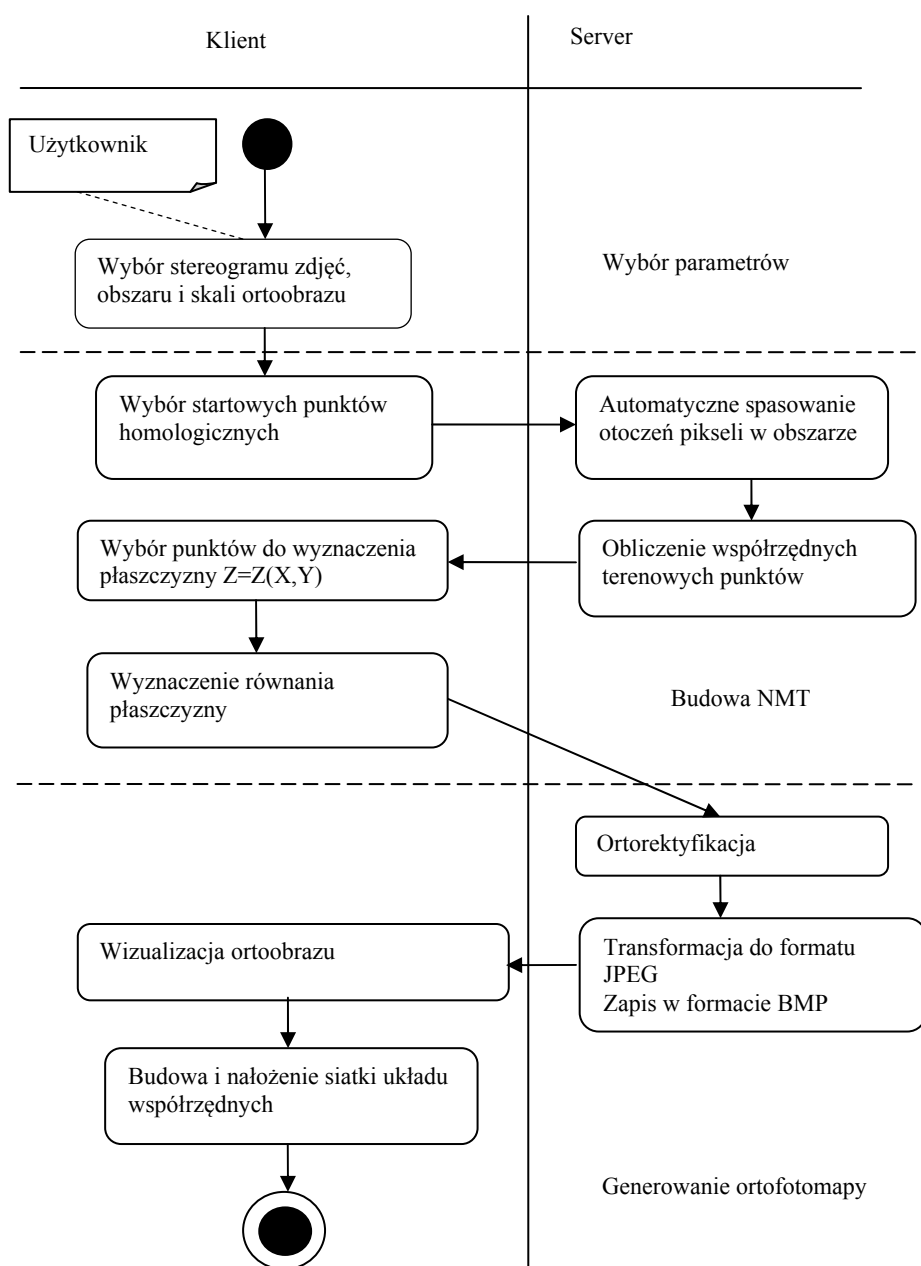
2. ALGORYTM BUDOWY ORTOFOTOMAPY

W celu zbudowania ortofotomapy użytkownik musi określić obszar ortofotomapy i jej skalę. Ortofotomapa będzie wizualizowana na ekranie monitora w środowisku przeglądarki internetowej. W trakcie jednego połączenia z klientem mają być wykonane następujące operacje: ortorektyfikacja na serwerze, kompresja i przesłanie adresu do pobrania ortoobrazu. Z tego względu, jak również z powodu szybkości transmisji, ortofotomapa powinna zmieścić się na ekranie monitora. W chwili wybrania stereogramu zwracane są z serwera elementy orientacji zdjęć, co pozwala nałożyć w sposób przybliżony siatkę układu współrzędnych terenowych. Siatkę tę nakładamy na lewe zdjęcie obliczone są także przybliżone współrzędne terenowe punktu wskazywanego przez kursor (rys.1)



Rys.1 Wybrany obszar generowania ortofotomapy

Przyjmujemy, że numeryczny model terenu nie jest znany, dlatego potrzebny jest stereogram zdjęć. Proces budowy ortoofotomapy będzie przebiegał jak na rysunku 2.



Rys. 2. Diagram budowy ortofotomapy

3. BUDOWA UPROSZCZONEGO NUMERYCZNEGO MODELU TERENU

Po zadaniu początkowej pary punktów homologicznych spasowanie pozostałych otoczeń pikseli przebiega automatycznie, co ilustruje rysunek 3 (Paszotta, 2003). Miarą podobieństwa obrazów jest współczynnik korelacji między obrazami. Kolory pikseli przekształcane są na poziomy szarości. Użytkownik określa wartość progową współczynnika korelacji, wielkość otoczeń pikselowych podlegających spasowaniu oraz zakres zmiany współrzędnej pikselowej x na prawym obrazie. Ze względu na mały obszar ortofotomapy model terenu aproksymuje się płaszczyzną o równaniu

$$Z = AX + BY + C \quad (1)$$

Parametry tej płaszczyzny estymuje się metodą najmniejszych kwadratów. Punkty do jej wyznaczenia wybierane są przez użytkownika przez nadanie wagi równej 1, jak na rysunku 4. Zgodność między automatycznymi pomiarami współrzędnej Z a przyjętym modelem jest oceniana przez obliczenie RMS. Miara ta posłuży dalej do określania błędu położenia punktów na ortofotomapie. Metoda aproksymacji NMT nie jest kluczowym zagadnieniem przedstawianej metody budowy ortofotomapy. Można korzystać z gotowego modelu lub przyjąć inną metodę budowy NMT.



Rys. 3. Rozmieszczenie punktów *matchingu*

Z=Z(X,Y)

$Z = 0,0036 X - 0,0037 Y - 4859,7 \text{ RMS}=0,9m$ Calculate

0-99 ▼

i	X	Y	Z	weight Z
64	7464052....	5957848....	118.63	1
65	0.0	0.0	0.0	0
66	0.0	0.0	0.0	0
67	7464051....	5957836....	119.13	0
68	7464051....	5957832....	119.17	0
69	7464051....	5957828....	119.19	0
70	7464051....	5957824....	118.81	1
71	7464051....	5957820....	119.26	0

X,Y:
dX,dY: Scale ortho 1:

Java Applet Window

Rys. 4. Wybór punktów i aproksymacja płaszczyzną

4. GENEROWANIE ORTOFOTOMAPY

Parametry do generowania ortofotomapy na serwerze pobierane są z kilku źródeł: elementy orientacji zdjęć z bazy danych, fragmenty zdjęcia ze zbioru na serwerze, pozostałe dane - parametry budowy ortofotomapy od klienta.

Ortoobraz powstaje w wyniku ortorektyfikacji. Jest to obraz złożony z pikseli, których kolory wyznaczone są na podstawie kolorów pikseli zdjęcia. Jeżeli przez (i,j) oznaczmy indeksy pikseli zdjęcia a przez (i',j') indeksy pikseli ortobrazu to zdjęcie cyfrowe

i ortobraz cyfrowy możemy oznaczyć odpowiednio przez $c(i,j)$ i $c'(i',j')$. Kolory pikseli ortobrazu wyznaczamy za pomocą funkcji złożonej (Paszotta, 2000):

$$c'(i', j') = c(e(g(f(i', j')))), \quad (2)$$

gdzie:

$f : (i', j') \Rightarrow (X, Y)$ - przekształca współrzędne pikselowe na ortofotomapie na współrzędne terenowe;

$g : (X, Y, Z(X, Y)) \Rightarrow (x, y)$ - przekształca poprzednio wyznaczone współrzędne terenowe oraz współrzędną Z wyznaczoną z numerycznego modelu terenu, na współrzędne tłowe, zgodnie z równaniami kolinearności;

$e : (x, y) \Rightarrow (i, j)$ - przekształca współrzędne tłoze na współrzędne pikselowe na zdjęciu;

$c : (i, j) \Rightarrow c(i, j)$ - jest kolorem piksela (i, j) , albo kolorem wyznaczonym w wyniku interpolacji, na podstawie kolorów otoczenia tego piksela, w zależności od przyjętej metody resamplingu.

W celu określenia koloru piksela na ortofotomapie przyjęto wariant bez interpolacji kolorów. Można go określić również jako metoda najbliższego sąsiada lub interpolacja przez powielenie (Skarbek, 1993). Aby uzyskać odpowiednią jakość obrazu, korzysta się z obrazu piramidy o rozdzielczości terenowej najbardziej zbliżonej do rozdzielczości ortoobrazu.

W wyniku ortorektyfikacji powstaje obraz cyfrowy kompresowany do formatu JPEG oraz niezależnie, kartometryczny obraz w pliku BMP. Pierwszy jest automatycznie pobierany przez aplet klienta i wizualizowany w oknie jego przeglądarki. Drugi może być pobrany za pomocą usługi FTP.

Ortorektyfikacja wykonywana jest przez servlet napisany w języku Java. Jego wielkość wynosi ok. 14 KB. Wykonanie ortoobrazu przedstawionego na rysunku 5 wraz z przesłaniem i wyświetleniem na komputerze użytkownika trwa do kilkunastu sekund (przy transmisji ok. 1Mb/s). W górnej części okna wyświetlane są współrzędne terenowe punktu ortofotomapy wskazanego przez kursor oraz przesunięcie radialne punktu określone dla błędu współrzędnej Z równego RMS z rysunku 4. Dla wybranego punktu wynosi ono 0.17m (terenowy rozmiar piksela zdjęcia ok. 0.13 m).

5. PODSUMOWANIE

W publikacji przedstawiono algorytm oraz komputerowy program generowania ortofotomapy przez Internet. Rozwiązanie takie nie było dotąd przedmiotem publikacji lub prezentacji w Internecie. Jakkolwiek wielkość obszaru limitowana jest przez Internet to należy spodziewać się, że w najbliższych latach ograniczenia te zostaną zredukowane. Zawarty w aplikacji algorytm ortorektyfikacji nie wprowadza jakichkolwiek uproszczeń, które wpływałyby na zmniejszenie dokładności ortofotomapy. Tak jak w innych programach, dokładność geometryczna zależy przede wszystkim od: dokładności NMT, estymacji parametrów orientacji i geometrii zdjęcia.

Aplikacja umieszczona jest na serwerze Zakładu Fotogrametrii i Teledetekcji UWM i można ją uruchomić ze strony internetowej autora <http://www.kfit.uwm.edu.pl/zp/>. Aplikacja ta dostępna jest z dowolnego komputera podłączonego do Internetu i dlatego zawiera opisy w języku angielskim. Do realizacji przykładu wykorzystano zdjęcia terenu Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w skali 1:5000.



Rys. 5. Wizualizacja ortofotomapy w środowisku przeglądarki internetowej użytkownika

6. LITERATURA

Paszotta Z., 2000. *Method of Exterior Orientation of Aerial Images by Matching Orthoimages*. Wydawnictwo UWM, Olsztyn, ISSN 1509-3018 ISBN 83-88343-79-3

Paszotta Z., 2005. Java i fotogrametryczne aplikacje internetowe. *Geodezja kartografia i aerofotoznimania*. Wydawnictwo Politechnika Lwowska s. 223-227. ISSN 0130-1039

Peng Z., Tsou M., 2003. *Internet GIS, Distributed Geographic Information Services for the Internet and Wireless Networks*. John Wiley & Sons, Inc

Skarbek W., 1993. *Metody reprezentacji obrazów cyfrowych*. Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ, Warszawa.

ORTHOPHOTO GENERATION IN THE WEB APPLICATION

KEY WORDS: orthophoto, Internet, Java, Web Application, DTM.

Summary

The process of creating orthophotomaps from aerial photographs is complex and requires specialist software on a digital photogrammetric station. However, it turns out that this process can, with certain limitations, be executed on the Internet. Even if simplified solution is involved, its didactic and functional advantages are great. These advantages induced the author to work out the appropriate method of working out such a problem. The paper describes generation of an orthophotomap via the Internet. On account of the availability of the solution presented, the author decided to use the client-server architecture of the application in which the user's Internet browser is a client (a program accesses a remote service on another computer through a network). Applications of this type are being called web applications.

The mathematical foundations of constructing orthoimage as a function are described. The algorithm of orthoimage generation is presented with the aid of UML diagram. The terrain coordinates of points which are being used to create a digital terrain model (DTM) are measured and calculated automatically. However, the orthophotomap area is small and limited by dimensions of the Internet browser window. Thus, in the process of orthoimage creation via the Internet, the author has assumed a simplified DTM in the form of a plane. Orthorectification is performed on the server side, but the grid coordinate system is superimposed on the orthophotomap by means of applet on the client side. Besause of resampling, the quality of the orthoimage created is worse than that of a source image. Therefore, the source photograph with the system of coordinates is also presented. In both cases the image and terrain coordinates of a point shown by the cursor are calculated and printed in the header of the Internet browser window.

The Internet software presented, consisting of applets and servlets, was written in the JAVA programming language. The application described works on the Department of Photogrammetry and Remote Sensing server (<http://www.kfit.uwm.edu.pl/zp/>).

dr hab. Zygmunt Paszotta, prof. UWM
e-mail: paszotta@uwm.edu.pl
tel. 089 523 47 12
fax: 089 523 32 10

**GENEROWANIE I WIZUALIZACJA W INTERNECIE
ANAGLIFOWYCH OBRAZÓW PRZESTRZENNYCH
Z NIEMETRYCZNYCH APARATÓW CYFROWYCH**

**GENERATION AND VISUALISATION OF ANAGLYPHIC
SPATIAL IMAGES FROM NON-METRIC DIGITAL IMAGES
VIA THE INTERNET**

Zygmunt Paszotta

Zakład Fotogrametrii i Teledetekcji, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

SŁOWA KLUCZOWE: obrazy cyfrowe, macierz fundamentalna, rozkład SVD, Java, Internet.

STRESZCZENIE: Problem generowania obrazów przestrzennych w fotogrametrii rozwiązywany jest za pomocą obrazów epipolarnych. Odpowiednią metodę przedstawił Kreiling w 1976 roku. Dotyczy ona jednak zdjęć fotogrametrycznych, dla których znana jest orientacja wewnętrzna. W przypadku obrazów cyfrowych pozyskiwanych kamerami niemetrycznymi należy stosować inne rozwiązanie korzystające z pojęcia macierzy fundamentalnej, wprowadzonego przez Luonga w 1992 roku. W celu wyznaczenia tej macierzy określającej związek między prawym i lewym obrazem cyfrowym, potrzeba co najmniej osiem punktów homologicznych. Do wyznaczenia rozwiązania stosuje się tzw. rozkład SVD. Korzystając z macierzy fundamentalnej wyznacza się linie epipolarne, które łączy się w obrazy. Odpowiednie podstawy matematyczne oraz ilustracje zamieszczono w publikacji. Opracowane algorytmy oraz oprogramowanie pozwala przez Internet generować trójwymiarowe obrazy anaglifowe przy wykorzystaniu obrazów pozyskanych z niemetrycznych aparatów cyfrowych. Aplikacja internetowa zrealizowana jest w architekturze klient-serwer, gdzie klientem jest przeglądarka internetowa. Macierz fundamentalną oblicza się na serwerze. Wszystkie funkcje oprogramowane są w języku Java i rozdzielone między klientem i serwerem. Jest to przykład aplikacji rozproszonej pozwalającej interaktywnie tworzyć anaglifowe obrazy przestrzenne. Ma duże walory poznawcze i edukacyjne. Aplikacja jest dostępna na stronie internetowej autora <http://www.kfit.uwm.edu.pl/zp/>.

1. WSTĘP

W klasycznej fotogrametrii bazującej na zdjęciach fotogrametrycznych generowanie obrazów trójwymiarowych jest procesem znanym. Przełomowe znaczenie dla tego procesu miało opracowanie przez Kreilinga w 1976 roku metody generowania obrazów epipolarnych. Rzutowanie obrazów stereogramu na wspólną płaszczyznę jest jednak możliwe, gdy znane są stałe kamer oraz elementy orientacji wzajemnej. Generowanie i nakładanie składowych obrazów cyfrowych też jest procesem znanym.

Wraz z upowszechnieniem aparatów cyfrowych pojawiła się możliwość pozyskiwania niemetrycznych, cyfrowych zdjęć naziemnych a co za tym idzie problem uzyskiwania obrazów przestrzennych (3D modeli) z tych zdjęć. Rozwiązanie pojawiło się w 1992 roku po wprowadzeniu w pracy doktorskiej Luonga pojęcia macierzy fundamentalnej (Luong 1992, Hartley 1992). Mimo, że nie możemy za pomocą rzutu

środkowego rzutować obrazów, to jednak możemy wyznaczać linie epipolarne. Przy narzuceniu dodatkowych warunków i parametrów na obraz możemy wygenerować obraz przestrzenny. Zatem kolejnym zagadnieniem jest wykonanie odpowiedniego oprogramowania, które generowałoby obrazy przestrzenne. Oprogramować należy wiele czynności i funkcji, realizujących wykonywanie pomiarów oraz obliczenia. Okazuje się, że możliwa jest internetowa interaktywna realizacja zadania generowania obrazów przestrzennych z wykorzystaniem koncepcji obrazów anaglifowych. Proponowane rozwiązanie pracuje jako aplikacja internetowa napisana w języku JAVA i wykorzystuje technologię klient-serwer, co w praktyce oznacza komunikację między apletami i serwetem. W dalszej części artykułu przedstawione zostaną podstawy teoretyczne przyjętego rozwiązania oraz schemat realizacji.

2. PODSTAWY TEORETYCZNE

Pojęcie macierzy fundamentalnej wprowadza się wychodząc od znanego warunku komplanarności, tj. należenia punktów homologicznych do płaszczyzny rdzennej.

Zgodnie z rysunkiem 1 spełniona musi być równość:

$$\mathbf{r}_t'' (\mathbf{b} \times \mathbf{r}') = 0. \quad (1)$$

Drugi czynnik możemy zapisać jako:

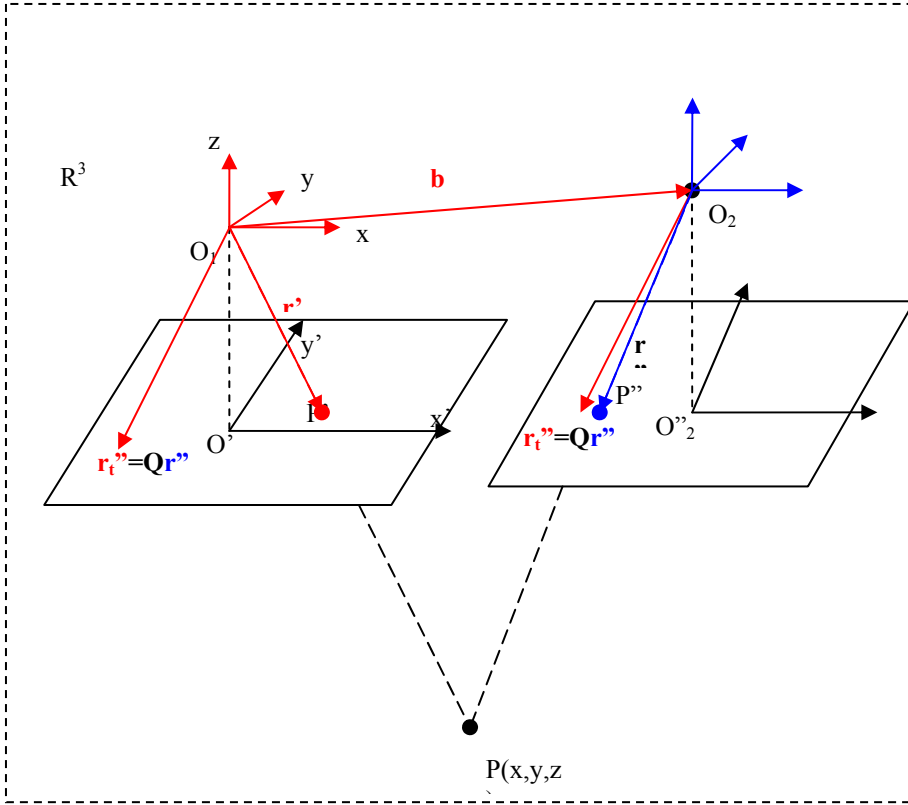
$$\begin{aligned} \mathbf{b} \times \mathbf{r}' &= \begin{vmatrix} \mathbf{i} & \mathbf{j} & \mathbf{k} \\ b_x & b_y & b_z \\ r'_x & r'_y & r'_z \end{vmatrix} = \begin{bmatrix} -b_z r'_y + b_y r'_z \\ b_z r'_x - b_x r'_z \\ -b_y r'_x + b_x r'_y \end{bmatrix} = \\ &= \begin{bmatrix} 0 & -b_z & b_y \\ b_z & 0 & -b_x \\ -b_y & b_x & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r'_x \\ r'_y \\ r'_z \end{bmatrix} = \mathbf{B} \mathbf{r}' \end{aligned} \quad (2)$$

Jeżeli $\mathbf{Q}$ jest macierzą obrotu wektora $\mathbf{r}''$ do układu współrzędnych (O,x,y,z) tzn.

$$\mathbf{r}_t'' = \mathbf{Q} \mathbf{r}'', \quad (3)$$

to iloczyn skalarny zapisujemy w postaci

$$(\mathbf{r}_t'')^T \mathbf{B} \mathbf{r}' = (\mathbf{r}'')^T \mathbf{Q}^T \mathbf{B} \mathbf{r}' = 0 \quad (4)$$



Rys. 1. Geometryczne związki między punktem na 3D modelu a jego obrazami

Przechodzimy do współrzędnych jednorodnych i zapisujemy transformację z układu współrzędnych tłowych do układu współrzędnych pikselowych jako

$$\mathbf{r}_p' = \mathbf{A}_1 \mathbf{r}' \quad \mathbf{r}_p'' = \mathbf{A}_2 \mathbf{r}'' \quad (5)$$

Otrzymujemy wtedy

$$(\mathbf{r}_p'')^T (\mathbf{A}_2^{-1})^T \mathbf{Q}^T \mathbf{B} \mathbf{A}_1^{-1} \mathbf{r}_p' = 0 \quad (6)$$

Niech $\mathbf{F} = (\mathbf{A}_2^{-1})^T \mathbf{Q}^T \mathbf{B} \mathbf{A}_1^{-1}$ Macierz tę nazywa się macierzą fundamentalną. Pozwala ona wyznaczyć linie epipolarne. Dla punktu na prawym zdjęciu o współrzędnych $\mathbf{r}_p''$ linia epipolarna na lewym zdjęciu ma równanie (we współrzędnych jednorodnych):

$$\mathbf{r}_p' \cdot \mathbf{u} = 0, \text{ gdzie } \mathbf{u} = \mathbf{F} \mathbf{r}_p'' \quad (7)$$

Macierz $\mathbf{F}$ posiada wymiar 3×3 . Należy wyznaczyć 8 współczynników (poza czynnikiem skalującym). Aby je wyznaczyć, potrzeba co najmniej 8 punktów homologicznych. Autorem odpowiedniego algorytmu jest Longuet-Higgins (Longuet-Higgins, 1982). Korzystamy z równania (6) zapisanego w uproszczonej postaci,

$$(\mathbf{r}_p'')^T \mathbf{F} \mathbf{r}_p' = 0 \quad (8)$$

Wszystkie linie epipolarne na danej płaszczyźnie obrazowej lewej lub prawej, przechodzą przez jeden punkt epipolarny. Stanowią one pęk prostych przechodzących przez punkt epipolarny. Jeżeli oznaczymy je przez $\mathbf{e}_p'$ i $\mathbf{e}_p''$ to spełnione są zależności (Forstner 2000):

$$\mathbf{F}\mathbf{e}_p' = \mathbf{0}, \quad \mathbf{e}_p''\mathbf{F} = \mathbf{0} \quad (9)$$

3. REALIZACJA KOMPUTEROWA

Internetowa realizacja metody wymaga oprogramowania wykonującego kolejne operacje zarówno po stronie klienta jak i serwera. Pełny diagram czynności przedstawiony jest na rysunku 2.

Wyznaczenie macierzy fundamentalnej jest pierwszym elementem w procesie budowy obrazów przestrzennych. W tym celu mierzymy współrzędne punktów homologicznych i korzystamy z wyrażenia (8), które zapiszemy w postaci

$$\mathbf{M}\mathbf{f} = \mathbf{0} \quad (10)$$

gdzie: $\mathbf{f} = [f_{11}, f_{12}, f_{13}, f_{21}, \dots, f_{33}]^T$ wektor uporządkowanych elementów macierzy $\mathbf{F}$.

Otrzymujemy układ równań jednorodnych z 9 niewiadomymi elementami macierzy $\mathbf{F}$. Jeżeli rząd macierzy $\mathbf{M}$ równy k , jest mniejszy od 9 to posiada on nieskończenie wiele niezerowych rozwiązań zależnych od k parametrów. Do rozwiązania tego układu zastosujemy rozkład na wartości szczególne zwany rozkładem SVD. Szczególnie użyteczna jest własność, że rząd macierzy $\mathbf{M}$ jest równy liczbie niezerowych wartości szczególnych macierzy $\mathbf{M}$, a zatem liczbie niezerowych elementów na przekątnej macierzy diagonalnej $\mathbf{V}$. Aby uzyskać $\text{Rank}(\mathbf{M})=8$ a właściwie $\text{Rank}(\mathbf{M}')=8$ należy wyzerować najmniejszą wartość szczególną. Jeżeli nasze pomiary współrzędnych punktów homologicznych były prawidłowe to powinien istnieć wyraźny skok między ósmą a dziewiątą wartością szczególną. Przyjmując jedną niewiadomą jako parametr, otrzymujemy układ jednorodny, który rozwiązujemy korzystając z rozkładu SVD.

Poprawione macierze $\mathbf{V}$ i $\mathbf{M}$ oznaczmy przez $\mathbf{V}'$ i $\mathbf{M}'$, gdzie

$$\mathbf{M}' = \mathbf{S}'\mathbf{V}'\mathbf{D}'^T \quad (11)$$

Macierz $\mathbf{M}'$ ma teraz rząd równy 8, a układ równań postać :

$$\mathbf{M}'\mathbf{f} = \mathbf{b} \quad (12)$$

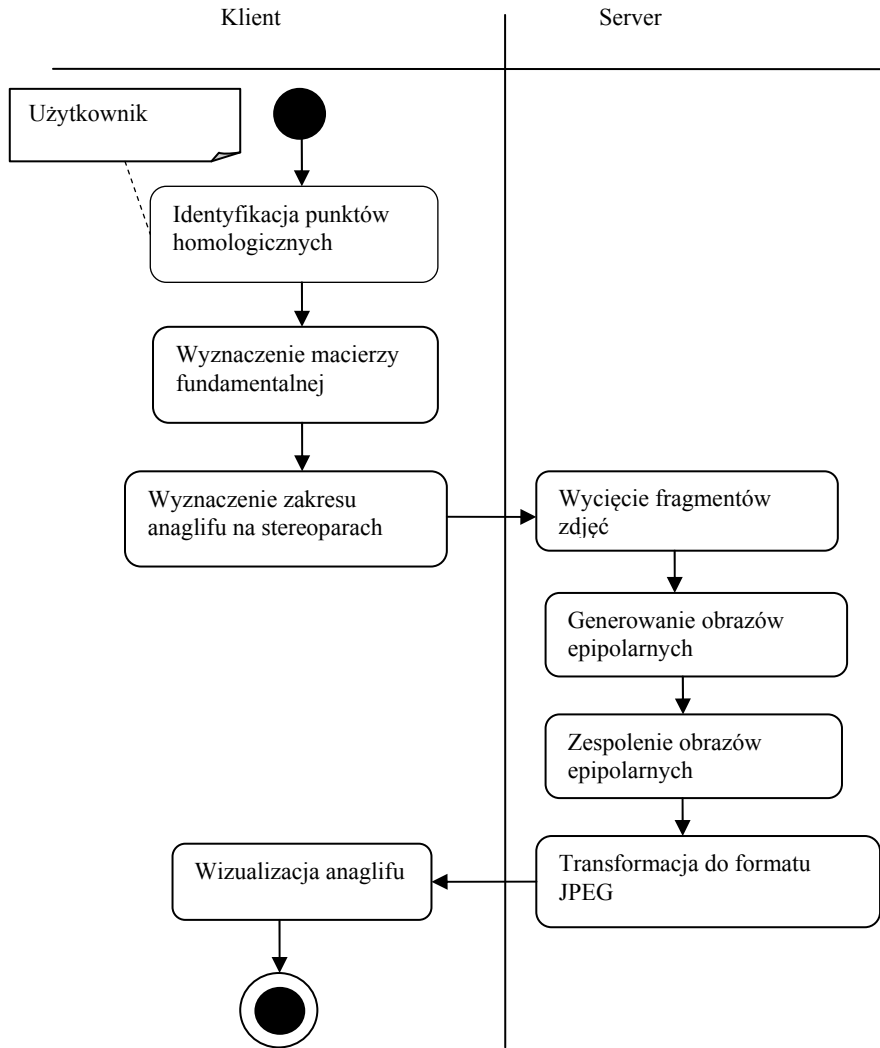
Aby uzyskać jednoznaczne rozwiązanie potrzeba 8 punktów. Dla większej liczby punktów

warunek $\mathbf{M}'\mathbf{f} - \mathbf{b} = \mathbf{0}$ zastępujemy warunkiem $r^2 = (\mathbf{M}'\mathbf{f} - \mathbf{b})^2 = \min$, co zapisujemy

$$\mathbf{M}'\mathbf{f} \approx \mathbf{b} \quad (13)$$

Korzystając z równania (11) wyrażenie to można zapisać następująco (Brandt 1999)

$$\mathbf{V}'\mathbf{D}'^T \mathbf{f} \approx \mathbf{S}'^T \mathbf{b} \quad (14)$$



Rys. 2. Diagram czynności w procesie generowania anaglifowych obrazów przestrzennych

Przyjmując oznaczenia:

$$\mathbf{S}'^T \mathbf{b} = \mathbf{g} , \quad \mathbf{D}'^T \mathbf{f} = \mathbf{p} , \quad (15)$$

otrzymujemy

$$\mathbf{V}'\mathbf{p} \approx \mathbf{g} \quad (16)$$

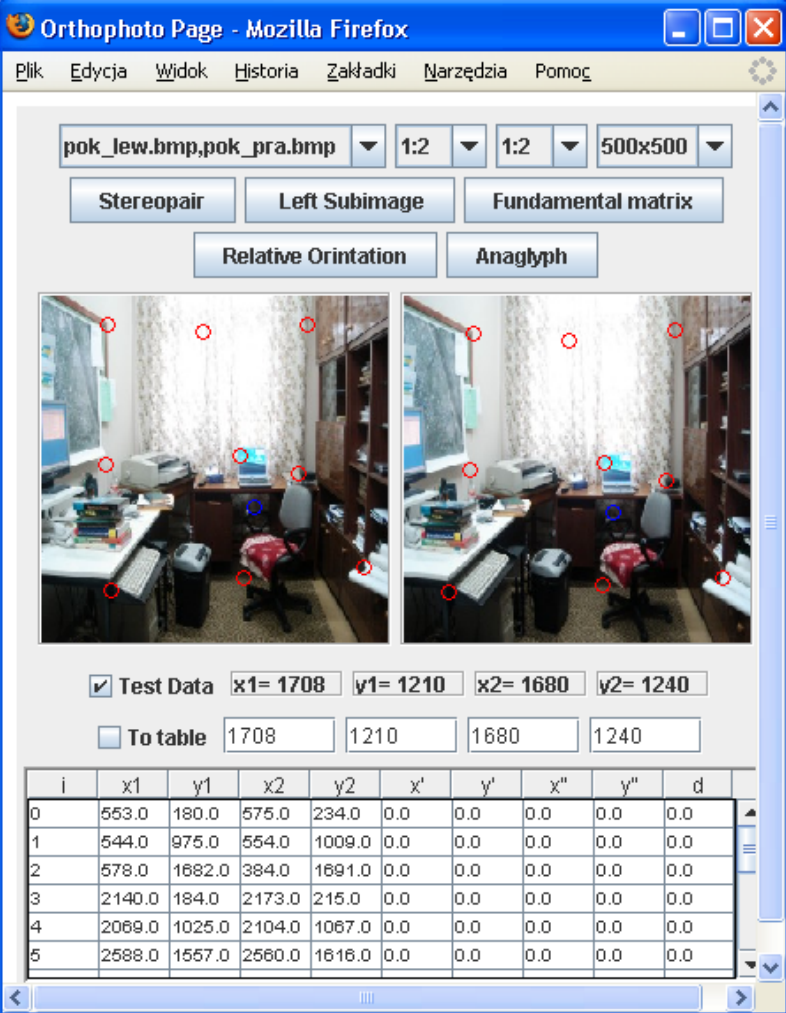
Ostatecznie uzyskujemy rozwiązanie:

$$\mathbf{f} = \mathbf{D}'\mathbf{p} \quad (17)$$

Kod JAVA algorytmu rozkładu na wartości osobliwe nie zawiera dużo miejsca, dlatego może być zawarty w apłecie klienta. Jest to translacja kodu „svdcmp.c”,

bazującego na algorytmie Golub-Reinsch (Press et. al., 1992), a więc programu napisanego w języku C, na język JAVA.

4. INTERNETOWA REALIZACJA PRZYKŁADU



Orthophoto Page - Mozilla Firefox

Plik Edycja Wzrost Historia Zakładki Narzędzia Pomoc

pok_lew.bmp,pok_pra.bmp 1:2 1:2 500x500

Stereopair Left Subimage Fundamental matrix

Relative Orientation Anaglyph

☒ Test Data x1= 1708 y1= 1210 x2= 1680 y2= 1240

☐ To table 1708 1210 1680 1240

i	x1	y1	x2	y2	x'	y'	x''	y''	d
0	553.0	180.0	575.0	234.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1	544.0	975.0	554.0	1009.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	578.0	1682.0	384.0	1691.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	2140.0	184.0	2173.0	215.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	2069.0	1025.0	2104.0	1067.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	2588.0	1557.0	2560.0	1616.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

i	x1	y1	x2	y2
6	1304.0	227.0	1335.0	270.0
7	1598.0	924.0	1616.0	963.0
8	1627.0	1614.0	1603.0	1657.0

Rys. 3. Stereogram i współrzędne punktów homologicznych

Pierwszym zadaniem jest wybór zdjęć stereogramu i pomiar współrzędnych punktów (rys. 3). Dane te można modyfikować korzystając z piramid utworzonych dla

lewego i prawego obrazu. Następnie wyznaczamy macierz $\mathbf{M}$ z wzoru (10). Wartości jej elementów podane są w tabeli 1. Elementy macierzy ortogonalnych $\mathbf{S}$ i $\mathbf{D}$ oraz macierzy diagonalnej $\mathbf{V}$ są przedstawione w tabelach 2,3 i 4.

Tabela 1. Elementy macierzy $\mathbf{M} = [m_{ij}]$

i\j	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	317975	103500	575	129402	42120	234	553	180	1
2	301376	540150	554	548896	983775	1009	544	975	1
3	221952	645888	384	977398	2844262	1691	578	1682	1
4	4650220	399832	2173	460100	39560	215	2140	184	1
5	4353176	2156600	2104	2207623	1093675	1067	2069	1025	1
6	6625280	3985920	2560	4182208	2516112	1616	2588	1557	1
7	1740840	303045	1335	352080	61290	270	1304	227	1
8	2582368	1493184	1616	1538874	889812	963	1598	924	1
9	2608081	2587242	1603	2695939	2674398	1657	1627	1614	1

Tabela 2. Elementy ortogonalnej macierzy $\mathbf{S} = [s_{ij}]$

i\j	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-0,0266	0,0232	-0,0044	-0,1681	0,5075	-0,1073	-0,6486	0,4297	0,3100
2	-0,0749	-0,1994	-0,1164	0,5622	0,1732	0,5549	-0,3923	-0,2273	-0,2855
3	-0,1306	-0,5683	-0,7010	-0,3543	0,0105	0,1306	0,1233	0,0091	0,1027
4	-0,2943	0,6161	-0,6059	0,2348	-0,2185	-0,1110	-0,0681	0,2072	-0,0632
5	-0,4141	0,1501	0,1061	0,1181	0,1424	0,3178	0,2497	-0,2306	0,7376
6	-0,6990	-0,0233	0,2843	-0,4152	-0,2979	0,1085	-0,2831	-0,0535	-0,2723
7	-0,1220	0,1995	-0,1437	-0,1756	0,5610	-0,3392	0,0193	-0,6411	-0,2295
8	-0,2654	0,0171	0,1019	0,0364	0,4896	0,1824	0,5122	0,5004	-0,3630
9	-0,3804	-0,4404	0,0695	0,5064	-0,0333	-0,6246	0,0177	0,0569	0,0724

Tabela 3. Elementy ortogonalnej macierzy $\mathbf{D} = [d_{ij}]$

i\j	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-0,7464	0,5970	-0,2935	0,0184	-0,0008	0,0002	-0,0000	-0,0000	-0,0000
2	-0,4089	-0,2578	0,5579	0,6746	-0,0044	-0,0006	0,0001	0,0003	-0,0000
3	-0,0004	0,0002	-0,0004	0,0044	0,6430	-0,3345	-0,3095	-0,6155	0,0001
4	-0,4303	-0,3037	0,4306	-0,7329	0,0051	0,0005	-0,0001	0,0003	-0,0000
5	-0,3008	-0,6963	-0,6460	0,0857	-0,0013	-0,0007	-0,0000	-0,0000	-0,0000
6	-0,0002	-0,0004	-0,0004	0,0028	0,3435	0,6244	-0,6186	0,3305	-0,0143
7	-0,0004	-0,0005	-0,0005	0,0036	0,6129	-0,3134	0,3604	0,6295	-0,0004
8	-0,0002	-0,0004	-0,0004	0,0027	0,3047	0,6324	0,6257	-0,3400	0,0136
9	-0,0000	-0,0000	-0,0000	0,0000	0,0009	0,0002	-0,0172	0,0096	0,9998

Tabela 4. Elementy diagonalnej macierzy $\mathbf{V} = [v_{ij}]$

v_{11}	v_{22}	v_{33}	v_{44}
13064508,6405	4067181,1052	1599500,0784	92448,0836

v_{55}	v_{66}	v_{77}	v_{88}	v_{99}
1462,9138	472,7960	27,3382	5,2684	0,0092

Macierz $\mathbf{M}$ rozkładamy względem wartości szczególnych. Zerujemy element v_{99} i zgodnie z wzorami (13) – (17) otrzymujemy elementy macierzy $\mathbf{F}$ przedstawione w tabeli 5.

Tabela 5. Elementy macierzy $\mathbf{F} = [f_{ij}]$

i\j	1	2	3
1	-0,00006115	0,00536364	1,07731701
2	-0,00188916	0,00096248	-142,85998874
3	-3,59923894	136,09426319	10000,0

Element f_{33} jest parametrem, od którego zależą pozostałe elementy macierzy $\mathbf{F}$. Przyjmując jego wartość uzyskujemy rozwiązanie spełniające warunek (8). Uzyskanie tego rozwiązania kończy etap drugi w diagramie na rysunku 2.

5. GENEROWANIE OBRAZÓW PRZESTRZENNYCH METODĄ ANAGLIFOWĄ

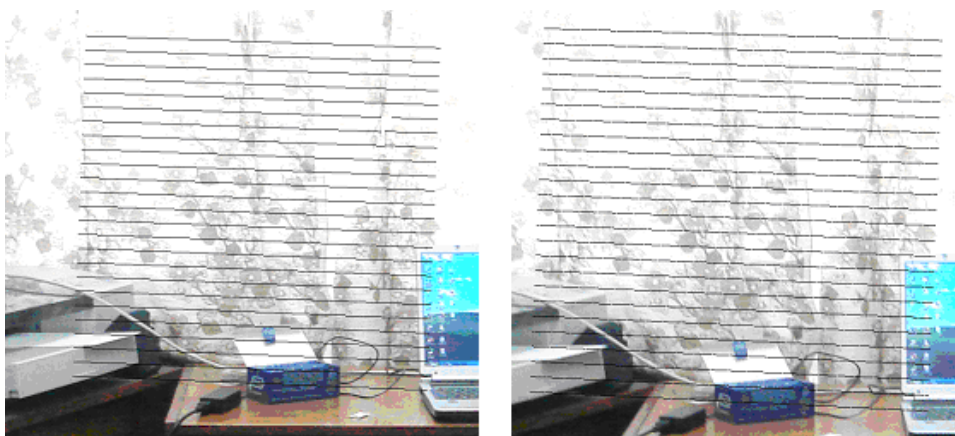
Macierz fundamentalna nie wyznacza od razu obrazów składowych obrazu przestrzennego. Zgodnie z wzorem 9 możemy wyznaczać odpowiadające sobie linie epipolarne. Istotę problemu przedstawia rysunek 4, gdzie pokazany jest układ linii epipolarnych na lewym i prawym zdjęciu dla zadanej kolumny pikseli na prawym zdjęciu. Elementy tej kolumny wybierane są prostopadłe do linii epipolarnej. Dla czytelności obrazu wybrany jest, co dwudziesty piksel w kolumnie.

W rozwiązaniu internetowym nie generuje się obrazu przestrzennego dla całego obszaru wspólnego pokrycia, lecz dla wybranego przez użytkownika fragmentu stereogramu. Następuje to przez wskazanie środka obszaru na lewym i prawym zdjęciu oraz przez wybór jego wielkości, np. 500x500 pikseli. Generowanie wygodnie zacząć od narożnika, który ustalamy dla prawego zdjęcia. Na podstawie wzoru (7), wyznaczamy równanie odpowiadającej linii epipolarnej na lewym zdjęciu i na niej szukamy punktu początkowego. Potrzebną współrzędną x_1 , czyli numer kolumny określa się z przybliżonej zależności między współrzędnymi wcześniej wyznaczonych punktów homologicznych użytych do wyznaczenia macierzy fundamentalnej. Przyjmując jej postać jako

$$x_1 = a_0 + a_1 x_2 + a_2 y_2 \quad (18)$$

uzyskujemy współczynniki:

$$a_1 = 0,957681 \quad a_2 = 0,080965 \quad a_0 = -7,010352$$



Rys. 4. Układ linii epipolarnych

Kolejne punkty zadajemy przesuwając się w wierszu na pierwszej linii epipolarnej na prawym obrazie. Prosta ta wyznaczona jest przez wybrany punkt początkowy oraz punkt rdzenny. Odpowiadający punkt na odpowiedniej linii epipolarnej lewego zdjęcia wybieramy na podstawie skoku $a1$ określonego z wcześniej wyznaczonej przybliżonej zależności między współrzędnymi. Obrazy przestrzenne generujemy bez dodatkowej zmiany skali z obrazów piramidy. Przy interpolacji poziomów jasności wybranych barw podstawowych (niebieskiej i czerwonej) stosujemy metodę najbliższego sąsiada. Unikamy resamplingu, który pogorszyłby ostrość anaglifu oraz wydłużył czas jego generowania na serwerze.

6. PODSUMOWANIE

Z przedstawionych rozważań wynika, że można generować obrazy przestrzenne na podstawie niemetrycznych obrazów cyfrowych przy wykorzystaniu Internetu. Zamieszczone zdjęcia wykonano amatorskim aparatem cyfrowym. Pokazany na rysunku 5, lub podobny anaglif można wygenerować przez Internet ze strony <http://www.kfit.uwm.edu.pl/zp/zp.html> Przedstawione rozwiązanie oprócz walorów naukowych ma duże walory edukacyjne. Autor ma nadzieję, że stanowi ono skromny wkład do rozwoju i popularyzacji technologii fotogrametrycznych.



Rys. 5. Przykładowy anaglif uzyskany w oknie przeglądarki internetowej

7. LITERATURA

Brandt S., 1999. *Analiza danych*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, s. 537-538.

Forstner W., 2000. New Orientation Procedures. *The International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Amsterdam, The Netherlands, 16-23 July, 2000 Vol. XXXIII-B3A, str.297-304.

Hartley R. I., 1992. *Estimation of relative camera positions for uncalibrated cameras*. Proceedings of the Second European Conference on Computer Vision. s. 579-587.

Luong Q. T., 1992. *Fundamental matrix and self-calibration*. PhD Thesis, University of Paris, Orsay.

Longuet-Higgins H., 1982, A computer algorithm for reconstructing a scene from two projections. *Nature* Vol. 293, s.133-135.

Press W., Flannery B., Teukolsky S., Vetterling W., 1992, *Numerical Recipes in C: The Art of Scientific Computing. second edition*, Cambridge University Press, ISBN-10: 0521431085, s. 59-70.

GENERATION AND VISUALISATION OF ANAGLYPHIC SPATIAL IMAGES FROM NON-METRIC DIGITAL IMAGES VIA THE INTERNET

KEY WORDS: digital image, fundamental matrix, Singular Value Decomposition, Internet, Java.

Summary

Inferring three-dimensional information from images taken from different viewpoints is a central problem in terrestrial photogrammetry and computer vision. In classic photogrammetry (which is based on photogrammetric images), generating 3D images is a well-known process. A breakthrough in the process was made in 1976, when Kreiling developed a method of generating epipolar images. However, it is possible to project stereogram images onto the common plane if the camera constants and the elements of relative orientation are known. As digital cameras have become ubiquitous, it is now possible to obtain non-metric, digital terrestrial images; however, obtaining spatial images from such photographs has become a problem. Recent work has shown that it is possible to recover the projective structure of a scene from point correspondences only, without the need for camera calibration.

The solution came with the introduction of the fundamental matrix in 1992 in a PhD thesis by Luong and in Faugeras and Hartley (1992). After applying additional conditions and parameters to an image, a spatial image can be generated. Therefore, the next task is to develop software to generate spatial images. It appears that it is possible to generate spatial images with the use of the idea of anaglyphic images interactively on the Internet and taking measurement on them. The proposed solution works as an Internet application in JAVA and employs client-server technology, which in practical terms means communication between applets and the servlet.

This paper presents the theoretical foundations of the spatial image construction from non-metric digital images. It is also aimed at showing the web-based photogrammetric applications located on the Department of Photogrammetry and Remote Sensing server (<http://www.kfit.uwm.edu.pl/zp/wzasik.html>).

The epipolar geometry is the intrinsic projective geometry between two views. It is independent of scene structure and dependent on the camera's internal parameters and relative orientations of images. This intrinsic geometry is encapsulated in the fundamental matrix F . The dimension of matrix F is 3×3 . A total of 9 coefficients minus one scaling coefficient remain to be determined. To determine them, at least 8 homologous points are needed. Determination of this matrix is the first stage in the process of creating spatial images. To find the solution of elements of the fundamental matrix, the authors apply singular value decomposition (SVD). When the matrix F is known it is possible to determine the epipole lines and to build the spatial image.

In the next part of the paper, the authors describe such Internet application. In constructing a Web application, it can be assumed that photos will be stored on different computers – data servers. The software necessary to read data from these servers will be installed on another computer called an application server. In addition, users will be communicating with the application server by means of their Web browser. During the process of construction of an anaglyph, the coordinates of at least 8 homologous points should be measured and collected in the table. By correct arrangement and careful measurements, homologous point parameters of the fundamental matrix should be fixed. At the next step, an anaglyph is created over the Internet.

dr hab. Zygmunt Paszotta, prof. UWM
e-mail: paszotta@uwm.edu.pl
tel. 089 523 47 12
fax: 089 523 32 10

**KOMISJA II ISPRS
PODSTAWY I KONCEPCJE PRZETWARZANIA INFORMACJI I DANYCH
ZASOPRZESTRZENNYCH W LATACH 2004-2008**

**ISPRS TECHNICAL COMMISSION II
THEORY AND CONCEPTS OF SPATIO-TEMPORAL DATA HANDLING AND
INFORMATION IN 2004-2008**

Zygmunt Paszotta

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Zakład Fotogrametrii i Teledetekcji

Głównymi celami ISPRS (International Society for Photogrammetry and Remote Sensing) jest rozwój współpracy międzynarodowej w zakresie fotogrametrii, teledetekcji i systemów informacji przestrzennej. Stąd dwie komisje, II i IV, które nie zajmują się bezpośrednio zagadnieniami fotogrametrii lub teledetekcji, lecz teoretycznymi i praktycznymi aspektami informacji przestrzennej. Działalność Komisji II dotyczy przede wszystkim teorii oraz koncepcji przetwarzania danych i informacji zmieniających się w czasie i przestrzeni. Dlatego w zakresie działalności mieści się: budowa ogólnego modelu badanych zjawisk, analiza i prezentacja danych dla celów wspomagania podejmowania decyzji, budowa odpowiednich systemów informatycznych i ich integracja. Takie podejście wynika z przekonania, że modele te pozwolą budować lepsze systemy, bardziej zbliżone do rzeczywistości, a co za tym idzie mające lepsze zastosowanie w praktyce. Prezydentem komisji II w latach 2004-2008, był Wolfgang Kaintz z Uniwersytetu w Wiedniu. Sekretarzem Christoph Aubrecht z Austrian Research Centers GmbH. Na XXI Kongresie ISPRS prezydentem Komisji II na lata 2008-2012 został Wenzhong Shi z Politechniki w Honk Kongu.

W minionej kadencji, w ramach tej komisji działało siedem grup roboczych:

- WG 1. Modelowanie czasoprzestrzenne (*Spatio-temporal modeling*).
- WG 2. Przestrzenne wnioskowanie, analiza i pozyskiwanie danych (*Spatial reasoning, analysis, and data mining*).
- WG 3. Różnorodne reprezentacje danych obrazowych i wektorowych (*Multiple representations of image and vector data*).
- WG 4. Planowanie przestrzenne oraz systemy wspomagania decyzji (*Spatial planning and decision support systems*).
- WG 5. Przesyłanie oraz wizualizacja danych przestrzennych. (*Communication and visualization of spatial data*).
- WG 6. Integracja oraz współdziałanie systemów (*System integration and interoperability*).
- WG 7. Jakość czasoprzestrzennych danych i modeli (*Quality of spatio-temporal data and models*).

Ponadto działała wspólna, składająca się z członków Komisji II i IV grupa robocza pod nazwą: „Dynamiczne i wielowymiarowe systemy i aplikacje” (*Dynamic and multi-dimensional systems and applications*).

Przedmiotem zainteresowania grupy WG 1 są następujące zagadnienia:

1. Przestrzenne i czasoprzestrzenne modele i struktury danych.
2. Modelowanie ruchu obiektów.
3. Relacje między obiektami w czasoprzestrzeni.
4. Topologia w czasoprzestrzeni.

Główny problem badawczy dotyczy reprezentacji czasoprzestrzennych informacji oraz praktycznego ich wykorzystania. Należy zaznaczyć, że jest to czasoprzestrzeń euklidesowa a nie relatywistyczna, będąca podstawą ogólnej teorii względności. Gromadzone dane dotyczą zjawisk i zdarzeń o charakterze gospodarczym, ekonomicznym lub przyrodniczym w czasie i przestrzeni. Dodanie jednej współrzędnej do modelu zbudowanego dla trzech przestrzennych wymiarów nie daje satysfakcjonującego modelu w czasoprzestrzeni. Stąd badanie relacji oraz własności topologicznych w tych przestrzeniach. Mimo tak ważnych zagadnień, WG 1 prezentowała się na stronie internetowej nader skromnie. Na Kongres przygotowano 27 publikacji w tym 12 dotyczyło analiz informacji czasoprzestrzennych.

Prace grupy WG 2. skupiają się wokół zagadnień tworzenia algorytmów i modeli pozwalających przeprowadzać analizę zjawisk na dużym poziomie ogólności. W tym celu stosowane są metody statystyczne, analizy przestrzenne, metody sztucznej inteligencji, teoria zbiorów rozmytych. Autorzy programu badań idą dalej w kierunku rozpoznawania obiektów i analiz w różnych środowiskach. Taki opis badań przedstawiony na podstawie raportu z 2006 roku trudno uznać za wiarygodny, gdyż krótka strona internetowa zredagowana była w języku chińskim. Na Kongresie przedstawiono 36 prac w tym ponad 10 dotyczyło modelowania zmian i zjawisk przyrodniczych.

Zakres prac grupy roboczej WG 3 został określony następująco:

1. Generalizacja oraz wydobywanie danych wektorowych i rastrowych.
2. Reprezentacja obiektów w różnych rozdzielczościach, wraz z relacjami do innych obiektów w bazach danych. Opracowanie struktury danych.
3. Spasowanie obiektów wektorowych i rastrowych w różnych skalach i przy wykorzystaniu różnych cech.
4. Rozwijanie odpowiednich narzędzi do analiz i prezentacji danych.

Opracowanie tych zagadnień pociąga za sobą etap wprowadzenia uzyskanych rozwiązań do praktyki. Stąd potrzeba integracji systemów, wymiany danych, opisu danych za pomocą metadanych. Deklarowana jest współpraca z innymi komisjami ISPRS oraz z WG 6 w ramach Komisji II. Na Kongresie przedstawiono 22 prace o szerokim zakresie tematycznym.

Kolejna grupa robocza, WG 4 określiła swój zakres tematyczny w sposób następujący:

1. Podstawy teoretyczne, koncepcja budowy i rozwoju systemu wspomagania planowania przestrzennego. Jako problemy szczegółowe określono:
 - modelowanie procesu planowania przestrzennego,
 - określenie kosztów i miejsca budowy systemu oraz sposobu gromadzenia zasobów,
 - integracja biofizycznego i socjoekonomicznego modelu,

- budowa i rozwój systemu wspomagania planowania przestrzennego.
- 2. Podstawy teoretyczne, koncepcja, budowa i rozwój systemu wspomagania podejmowania decyzji o przestrzeni. Jako problemy szczegółowe określono:
 - teoria, koncepcje i aplikacje przestrzennej wielokryterialnej analizy decyzyjnej w różnych środowiskach,
 - teorie i koncepcje wspomagania decyzji przy wykorzystaniu informacji niepewnych,
 - teorie i aplikacje systemów opartych na wiedzy,
 - budowa i rozwój systemów wspomagających podejmowanie decyzji o przestrzeni,
 - budowa i rozwój współpracujących ze sobą systemów wspomagających podejmowanie decyzji o przestrzeni.
- 3. Teoria, koncepcje, budowa i rozwój zintegrowanych systemów planowania i wspomagania decyzji.

Systemy te oraz decyzje mają głównie za zadanie:

- ułatwić interakcję między dostawcą a odbiorcą informacji,
- ułatwić zrozumienie problemu i pomóc w sformułowaniu alternatywnych rozwiązań.

Tak szeroko zakreślony zakres tematyczny poparty jest dużą aktywnością grupy zarówno w organizowaniu seminariów jak i w publikowaniu. Na Kongresie przedstawiono 17 prac w tym kilka o tworzeniu systemów wspomagania decyzji. Na uwagę zasługuje fakt, że kilka artykułów dotyczyło wykorzystania obrazów satelitarnych.

Grupa WG 5 zajmuje się problemami przesyłania oraz wizualizacji danych przestrzennych. Oba te zagadnienia nie są rozważane w aspekcie technicznym. Istotą prac jest budowa metod i narzędzi informatycznych dla wizualizacji danych geograficznych. Omawiana grupa robocza zajmuje się również wizualizacją i analizą danych niepewnych. Do obszaru zainteresowań włączono również metody przesyłania i wizualizacji danych przez Internet. Chodzi o wizualizację i interaktywną pracę z mapami, zdjęciami i ortofotomapami. Zajmuje się tym również WG 5 w Komisji IV oraz wiele ośrodków na świecie. Na Kongresie opublikowano 13 prac w tym 5 dotyczyło metod i algorytmów wizualizacji.

Niezwykle ważne zadania przyjęła na siebie grupa WG 6. Integracja systemów to zadanie niezwykle trudne do zrealizowania. Działają tu siły integracyjne, które służą interesowi użytkowników. Wprowadzenie standaryzacji danych, umożliwienie wymiany danych między systemami obniża koszty pracy, czyniąc tę pracę łatwiejszą i wydajniejszą. Jednakże integracja ta nie zawsze jest na rękę producentom systemów. W materiałach z Kongresu znajduje się 16 publikacji, jednak z powodu wyżej opisanych trudno tam znaleźć ogólniejsze publikacje na temat integracji systemów.

Prace grupy WG 7, dotyczą badania jakości danych oraz tworzonych modeli. Jest to zagadnienie niedoceniane w nauce, a skutkujące brakiem wartościowych efektów badań. Zakres zainteresowań tej grupy dotyczy następujących zagadnień:

- kontrola jakości danych czasoprzestrzennych,
- przedstawienie niepewności danych w analizach przestrzennych,
- przedstawienie jakości danych w metadanych,
- jakość modeli czasoprzestrzennych,

- modele jakości danych czasoprzestrzennych.

Kontrola jakości danych dotyczy zarówno danych przestrzennych, np. dla numerycznego modelu terenu, jak również danych tekstowych, czasowych itp. Na Kongresie przedstawiono 18 prac w tym 5 dotyczyło jakości numerycznego modelu terenu.

W latach 2004-2008 powołano też wspólną grupę roboczą WG II/IV, której prace dotyczą dynamicznych i wielowymiarowych systemów i aplikacji. Dane przestrzenne są zmienne w czasie i przestrzeni, a obecne systemy budowane są do statycznej dwuwymiarowej wizualizacji na ekranie komputera. W celu lepszej prezentacji zmieniającej się rzeczywistości w różnych dziedzinach gospodarki, należy stworzyć odpowiednie struktury danych, modele i aplikacje. Stąd zakres tematyczny:

- trójwymiarowa wizualizacja geoinformacji,
- dynamiczne struktury danych przestrzennych i topologia,
- GIS dla gospodarki morskiej,
- statyczny i dynamiczny GIS w pełnych trzech wymiarach,
- algorytmy geometrii trójwymiarowej i aplikacje.

Na Kongresie przedstawiono 13 prac o szerokim zakresie tematycznym.

PODSUMOWANIE I REZOLUCJE

Komisja II ISPRS zajmuje się teoretycznymi postawami przetwarzania informacji o charakterze czasowym i przestrzennym. Takie informacje można pozyskać metodami fotogrametrycznymi i teledetekcyjnymi stąd jej ważne miejsce w ISPRS. Zakres badań deklarowany w programach prac jest ogromny. Rezultaty prezentowane na stronach internetowych są raczej skromne. Na uwagę zasługuje jednak wiele z około 150 publikacji przedstawionych w ramach grup roboczych, na XXI Kongresie ISPRS w Chinach. Podczas jego trwania, w trakcie ostatniego posiedzenia Ogólnego Zgromadzenia Kongresu (*General Assembly*), 9 lipca 2008 roku, zostało zatwierdzonych szereg rezolucji i postanowień, dotyczących wszystkich technicznych Komisji ISPRS. Zawierały one zarówno ogólne spostrzeżenia, jak i określenia zakresów koniecznych, dalszych badań oraz rekomendacje. W odniesieniu do Komisji II, zostały one zgrupowane w czterech następujących tematach:

1. Multi-przestrzenna, multi-tematyczna, multi-rozdzielcza przestrzenna informacja dla Systemów Wspierania Przestrzennych Decyzji (*Spatial Decision Support Systems*).

Spostrzeżenia:

- zwiększenie dostępności danych przestrzennych w różnych czasowych, tematycznych i geometrycznych rozdzielczościach,
- wiele pilnych kwestii dotyczących ludzkości wymaga szczegółowych danych przestrzennych,
- rozwój technologii web pozwala sensorom, mierzyć i komunikować się lokalnie w zakresie informacji geoprzestrzennej.

Rozpoznanie koniecznych badań:

- krytyczna rola określonych semantycznych i ontologicznych geoprzestrzennych danych,

- potencjał takich danych dla wsparcia decyzji,
- potrzeba integracji danych w celu wykorzystania bogactwa indywidualnych zbiorów danych,
- potrzeba identyfikacji właściwej informacji przestrzennej dla wybranych zastosowań poprzez Internet.

Rekomendacje:

- rozwój metod i narzędzi do mieszania multi-rozdzielczych i multi-czasowych danych oraz ich semantyczna i geometryczna integracja i analiza,
- utworzenie i rozwój technik do inteligentnej integracji danych sensorowych,
- rozwój wydajnych metod przechowywania multi-rozdzielczych i multi-czasowych danych,
- utworzenie zestawów testowych danych do testowania proponowanych rozwiązań w zakresie opracowania danych przestrzennych i kontroli jakości.

2. Geo-obliczenia i usługi.

Spostrzeżenia:

- ogólne trendy w kierunku miniaturyzacji i wyczerpującym obliczeniom,
- nowe aplikacje z wykorzystaniem danych przestrzennych, np. w drogowej i personalnej nawigacji,
- szybka potrzeba Web 2.0,
- ogromna rola Internetu i *'location-based services'* oraz *'virtual globes'*.

Rozpoznanie koniecznych badań:

- zwiększony potencjał WEB dla rozprzestrzenienia informacji przestrzennej,
- wirtualne globusy (*'virtual globes'*) oferują bardziej intuicyjne spojrzenie na przestrzenne zjawiska niż konwencjonalne mapy,
- potrzeba wydajnego przechowywania i przetwarzania bardzo dużej ilości danych przestrzennych.

Rekomendacje:

- popieranie badań w zakresie geo-obliczeń,
- rozwój technik przetwarzania geoprzestrzennych danych z wykorzystaniem rozdzielnych usług i gridowych obliczeń,
- rozwój badawczych urządzeń Web dla czasoprzestrzennych danych.

3. Zintegrowana analiza danych obrazowych i pozycyjnych (*'range'*).

Spostrzeżenia:

- zwiększone wymaganie społeczeństwa na wizualizację danych przestrzennych,
- szeroka dostępność on-line i Web-based wizualizowanych produktów
- dostępność ogromnych, kompleksowych, multi-wymiarowych zbiorów danych geoprzestrzennych, oraz rozwój nowych urządzeń do wizualizacji.

Rozpoznanie koniecznych badań:

- zauważono, że zintegrowana wizualizacja wielowymiarowych (3D++) danych oferuje duże możliwości,
- wizualizacja odgrywa ważną rolę w dyscyplinach ISPRS,
- potrzeba zintegrowanej wizualizacji przy użyciu różnych urządzeń.

Rekomendacje:

- wspieranie badań w zakresie nowych technologii dla wizualizacji danych przestrzennych,
- rozwój strategii i metod dla współpracy geo-wizualizacji dynamicznych zjawisk w kooperacji z Komisją IV,
- rozwój zaawansowanych metod wizualizacji.

4. Kooperacja z organizacjami i grupami działającymi w zakresie nauk geoinformacyjnych.

Spostrzeżenia:

- różne organizacje i grupy działają w zakresie nauk geoinformacyjnych (IGU, ICA, GIScience, AGILE, etc)
- zwiększona liczba warsztatów, sympozjów i konferencji w tej dyscyplinie,
- identyfikacja nauk geoinformacyjnych jako tematów ISPRS i utworzenie Komisji w tym zakresie,
- sympozja ISPRS nie zachęciły dotąd wystarczająco naukowego środowiska działającego w zakresie nauk geoinformacyjnych,
- ranga sympozjów organizowanych przez inne organizacje jest obecnie wyższa.

Rozpoznanie koniecznych badań:

- wzmocnienie pozycji ISPRS w zakresie nauk geoinformacyjnych,
- ważność geoinformacji obrazowej, a także szybkie pozyskanie danych i ich aktualizacja poprzez różne sensory,
- potrzeba rozpowszechnienia badań w zakresie geoinformacji do innych grup ISPRS.

Rekomendacje:

- zwiększenie kooperacji z innymi organizacjami w celu identyfikacji problemów badawczych,
- wspólne sympozja i warsztaty,
- zwiększenie atrakcyjności organizowanych kongresów i sympozjów, poprzez recenzowane publikacje i interaktywne warsztaty.

dr hab. Zygmunt Paszotta, prof. UWM
e-mail: paszotta@uwm.edu.pl
tel. 089 523 47 12
fax: 089 523 32 10

PRZEGLĄD NOWOCZESNYCH TECHNIK UDOSTĘPNIANIA DANYCH PRZESTRZENNYCH W INTERNECIE

OVERVIEW OF LATEST TRENDS IN SPATIAL DATA PRESENTATION ON THE INTERNET

Radosław Pawłowski, Zbigniew Malinowski

Geo-System Sp. z o.o.

SŁOWA KLUCZOWE: Internet, SDI, WMS, prezentacja danych przestrzennych, 3D, iGeoMap

1. WSTĘP

Dynamika rozwoju Internetu jako środka komunikacji i wymiany informacji między ludźmi stale rośnie, a nowe metody wykorzystania Internetu przełamują dotąd nieprzekraczalne bariery. Nieocenionym elementem składowym tego rozwoju jest aspekt przestrzenny. W ostatnim czasie prezentacja zdarzeń w odniesieniu przestrzennym nabrała na znaczeniu. Jeszcze kilka lat temu było niemożliwe wykorzystanie danych przestrzennych na taką skalę. Jednocześnie techniki prezentacji uległy standaryzacji, co zwiększyło potencjalne grono użytkowników na różny sposób zainteresowanych przestrzenną prezentacją danych. Również działania międzynarodowych organizacji jak OGC (Open Geospatial Consortium), czy wielkich firm jak Google i Microsoft sprzyjają rozwojowi tej dziedziny. Opracowanie standardu WMS (Web Map Service), czy też pojawienie się rozwiązania, jakim jest Google Earth nadają nowego wymiaru prezentacji, wymianie i udostępnianiu danych przestrzennych z wykorzystaniem Internetu i jednocześnie w pewnym stopniu zwalniają użytkownika z posiadania szczegółowej wiedzy technicznej. Niniejszy referat przedstawi istotę wymienionych rozwiązań, a także różne sposoby na wykorzystanie i połączenie tych standardów. Ośrodki Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej w Polsce również starają się wyjść naprzeciw potrzebom użytkowników. Prezentacja i udostępnianie podstawowych danych ewidencyjnych jest kluczowym elementem w budowie krajowej infrastruktury danych przestrzennych.

W chwili obecnej nowoczesne techniki pozwalają na prezentację i udostępnianie danych w Internecie oraz na integrację wielu różnych serwisów. Dane przestrzenne są prezentowane w Polsce zarówno przez firmy prywatne jak i instytucje rządowe i samorządowe. Stopień aktualności tych informacji trudno określić nie tylko w przypadku inicjatyw komercyjnych, ale też predestynowanych do zbierania i aktualizacji tych danych Ośrodków Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej.

2. iGeoMap

iGeoMap jest narzędziem dla wszystkich tych (osób fizycznych, firm, instytucji), którzy chcą posiadane dane przestrzenne udostępniać w sieci lokalnej lub Internecie. Z całą pewnością do grupy potencjalnych użytkowników systemu można zaliczyć Powiatowe Ośrodki dokumentacji Geodezyjnej Kartograficznej jako instytucje zarządzające zasobem numerycznym mapy zasadniczej i ewidencji gruntów, które w Polsce stanowią podstawę Krajowego Systemu Informacji o Terenie.



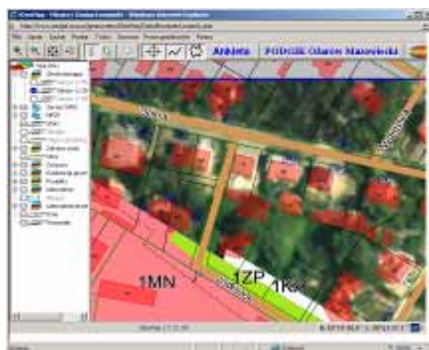
Rys. 1. iGeoMap.pl

Praktycznie wszystkie Ośrodki Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej prowadzone z wykorzystaniem Systemu Informacji o Terenie **GEO-MAP** używają do prezentacji danych przestrzennych w Internecie Serwisów iGeoMap. Wszystkie wdrożenia dostępne są pod adresem www.igeomap.pl (ilustracja po prawej). Dodatkowo dostęp możliwy jest ze stron www.podgikow.pl poszczególnych PODGiKów. Serwisy oferują szereg funkcjonalności związanych z przeglądaniem, wyszukiwaniem i przetwarzaniem aktualizowanych na bieżąco danych ewidencyjnych. Obecnie podstawowe informacje prezentowane w ramach serwisów to działki, budynki, kontury klasyfikacyjne, użytki gruntowe, zakresy prac geodezyjnych, osnowa geodezyjna oraz cyfrowa ortofotomapa.

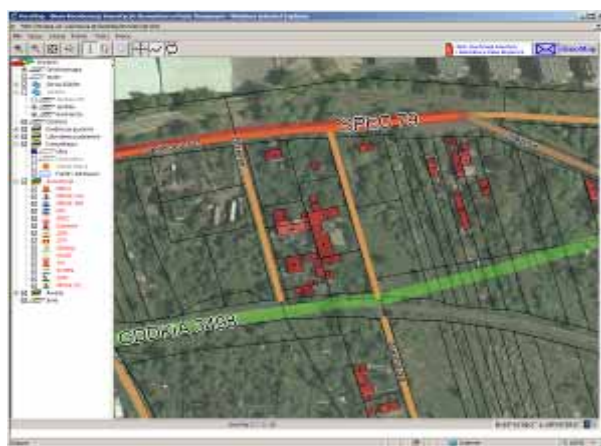
iGeoMap umożliwia użytkownikom znaczne poszerzenie zakresu danych w ramach przygotowanej prezentacji. Możliwe jest zarówno dodawanie w podstawowym formacie, jakim jest plik MAP, formacie Shapefile, jak też wykorzystanie danych pobieranych bezpośrednio z bazy danych PostgreSQL (z modułem PostGIS) oraz dodawanie danych serwowanych przez zewnętrzne serwisy WMS (więcej o WMS w kolejnych

rozdziałach). Dzięki temu możliwe jest wykorzystanie podstawowych danych ewidencyjnych jako podkład dla własnych rozwiązań.

Dobrym przykładem są serwisy iGeoMap dla gmin, które wykorzystują dane z PODGIK dodając specyficzne dla swoich i obywateli potrzeb dane przestrzenne. Gmina Łomianki wchodząca w skład powiatu warszawskiego zachodniego wykorzystuje dane ewidencyjne udostępniane przez ośrodek dokumentacji, ale dodaje szereg warstw tematycznych specyficznych dla jednostki jaką jest gmina. Uchwalone plany zagospodarowania przestrzennego oraz numeracja adresowa są prezentowane na tle danych ewidencyjnych z wykorzystaniem technologii WMS. Wymienione warstwy geometryczne są przechowywane w bazie danych PostgreSQL natomiast przesyłane do iGeoMap (czy też potencjalnie każdego innego oprogramowania) za pośrednictwem standardu WMS.



Rys. 2. Inwestycje w pasie



Rys. 3. Inwestycje w pasie drogowym

Warszawskie Biuro Koordynacji Inwestycji i Remontów w Pasie Drogowym zajmuje się planowaniem i zarządzaniem przeprowadzanymi pracami związanymi z pasem drogowym. **iGeoMap** jest częścią składową większego systemu informatycznego pełniąc w nim rolę kluczową. Poprzez iGeoMap jednostki podległe miastu mogą wprowadzać inwestycje do systemu i wykorzystywać wspólną prezentację wszystkich inwestycji.

Całe rozwiązanie oparte jest o bazę danych przestrzennych PostgreSQL, co pozwala – poza prezentacją inwestycji – na wykonywanie złożonych zapytań do bazy, jak też na prezentowanie inwestycji z bazy w standardzie WMS. Oczywiście tłem dla tej prezentacji są dane ewidencyjne m. st. Warszawy (będące własnością Biura Geodezji i Katastru) wraz z osiami ulic, numeracją adresową, uzbrojeniem terenu i ortofotomapą.

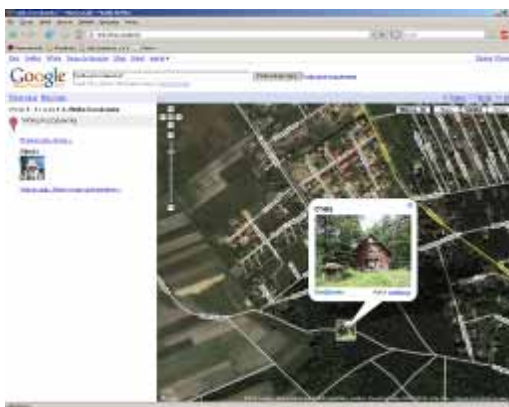


Rys. 4. Awarie wodociągowe

Serwis dodatkowo jest wspomagany przez dane dotyczące awarii wodociągowo-kanalizacyjnych udostępniane z serwisu zarządzania awariami oraz dane z Ewidencji Dróg i Obiektów Mostowych prezentowane w postaci WMS. Zatem serwis skupia w sobie dane branżowe z wielu instytucji, wykorzystuje jako podkład dane ewidencyjne i jednocześnie pozwala na koordynację inwestycji wykorzystując przejrzystą prezentację z wykorzystaniem iGeoMap.

3. Google (maps.google.pl)

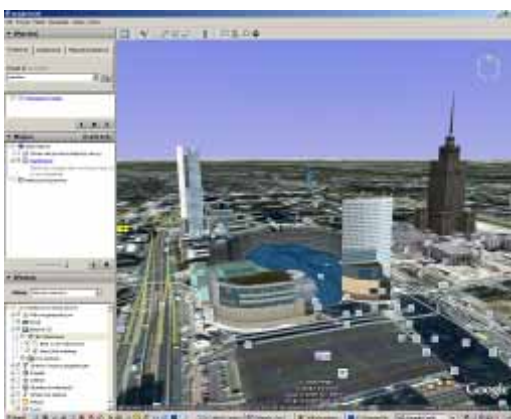
Na dzień dzisiejszy największy serwis mapowy światowa oferuje firma **Google Inc.**.



Rys. 5. Okno Google Maps

Możemy tam obejrzeć zdjęcia satelitarne z całego świata, sieć dróg, wyszukiwarke adresów, uproszczony model terenu. Serwis ten ma charakter otwarty, dzięki temu użytkownicy mogą dodawać informacje o ciekawych obiektach, opisach tras. Integracja z Wikipedią pozwala na szybkie znalezienie informacji. Język KML (oparty na XML) umożliwia użytkownikowi tworzenie własnych warstw, widoków i umieszczanie tych informacji w kontrolowany sposób dla wszystkich lub tylko wybranych użytkowników. Serwis ten w uproszczonej wersji dostępny przez przeglądarkę internetową.

Pełnię swoich możliwości uzyskuje po uruchomieniu programu Google Earth będącego wyrafinowanym klientem systemu pozwalającym na trójwymiarowe podróże po wirtualnym świecie. Serwis ten jest w chwili obecnej jedynym dostępnym dla każdego użytkownika Internetu dysponującym tak bogatym zasobem informacji. Wychodzi także daleko poza definicję serwisu mapowego tworząc „społeczność Google” dodającą coraz to nowe zasoby i weryfikując już istniejące.



Rys. 6. Budynki 3D w Warszawie

Istotnym elementem serwisu Google Earth jest prezentacja modeli budynków 3D. Wstępnie modele w większości składały się z obrysów budynków podniesionych o wysokość. Dobrym przykładem jest cały obszar Japonii, która jako jeden z pierwszych krajów otrzymała pokrycie modelami całego terenu (a nie tylko fragmentów, lub pojedynczych miast). Ilustrację pokazującą wybrany fragment Tokio przedstawiono obok. Zauważyć można, że w miarę dodawania modeli teksturowanych zastępują one modele proste.



Rys. 7. Modele w Tokio

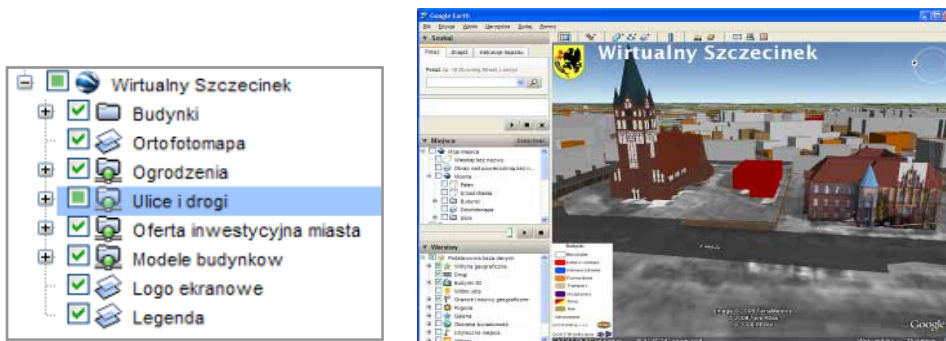
Od pewnego czasu pojawiają się opracowania całych miast prezentujące budynki z pełnym teksturowaniem (nałożonymi zdjęciami elewacji na bryłę). Są to zarówno przedsięwzięcia firmy Google (w większości w USA) jak też opracowania komercyjne innych firm, często na zamówienie władz miasta. Takie opracowania powstają głównie w Europie Zachodniej, gdzie Berlin, Hamburg, czy Drezno mogą być doskonałym przykładem możliwości drzemących w tym narzędziu.



Rys. 8. Berlin w Google Earth

Zarówno modele dla Tokio jak i teksturowane miasta Niemiec, Francji czy USA są stałym składnikiem warstwy „Budynki 3D”. Są one widoczne dla każdego użytkownika bez pobierania dodatkowych plików. Istnieje jednak możliwość tworzenia własnych prezentacji, niezależnych od istniejących modeli budynków. Rozbudowane możliwości języka KML pozwalają na tworzenie złożonych prezentacji wykorzystując zarówno modele „proste” jak i w pełni teksturowane. Przykład takiego opracowania zawierającego podstawowe elementy infrastruktury miejskiej zobaczyć można na stronie

Ośrodka Dokumentacji powiatu szczecineckiego. Podstawą dla tej prezentacji są proste, nieteksturowane modele budynków podzielone w/g funkcji oraz ortofotomapa pochodząca z serwera WMS (wykorzystanie tej ortofotomapy opisano również w dalszych rozdziałach). Aby odciążyć plik startowy wykorzystano zaprojektowane przez inżynierów Google funkcje linków sieciowych. Prosta w swej istocie możliwość pobierania danych już w trakcie oglądania odciąża program przy uruchamianiu oraz pozwala na zobaczenie przynajmniej części opracowania już od razu, a nie po wczytaniu wszystkich dostępnych danych. W skład obiektów, które dostarczane są do prezentacji właśnie za pomocą linka sieciowego (ikonka z żaróweczką w spisie warstw) wchodzi m.in. ogrodzenia, kontury jezdni, teksturowane modele budynków (których rozmiar wynosi ok. 10MB) oraz oferta inwestycyjna Miasta Szczecinek. Ostatnia pozycja odnosi się do nieruchomości oferowanych na sprzedaż będących obecnie własnością miasta. Każda oferta poza lokalizacją i kształtem posiada odniesienie do odpowiedniej pozycji na stronie www Miasta Szczecinek. Możliwe jest bezpośrednie przejście na tą stronę również w aplikacji Google Earth w celu pozyskania poszerzonych informacji o ofercie. Opracowanie Wirtualny Szczecinek powstało we współpracy z firmą **Geosystem** ze Szczecinka.



Rys. 9. Wirtualny Szczecinek

Należy też wspomnieć o kliencie Google Maps na telefon komórkowy, współpracującym z GPS. W razie braku GPS potrafi wskazywać przybliżoną pozycję na podstawie odległości od najbliższych nadajników. Wystarczy posiadać telefon z obsługą Javy.



Rys. 10. Oferta inwestycyjna w Szczecinku

W ramach całego środowiska Google Maps tworzone są różne projekty oparte na danych geograficznych np. **StreetView** pozwalający na wykonanie wirtualnego spaceru po ulicach miasta lub **Traffic** pokazujący aktualną informację drogową, **Weather** pokazujący aktualną i prognozowaną pogodę na całym świecie. Niestety ilość informacji przechowywanej w tym serwisie nie idzie w parze z jakością. Zobrazowania satelitarne są w różnym stopniu aktualne, mają różną rozdzielczość, kolorystykę. dla pewnych obszarów są zupełnie nieczytelne. Sieć drogowa w wielu miejscach odbiega od tego, co rzeczywiście istnieje w terenie. Informacje dodawane przez internautów czy odnośniki do Wikipedii też należy odpowiednio przefiltrować. Mimo tych wad jest to najpopularniejsze i najszybciej rozwijające się „środowisko mapowe” na świecie, a o potęgę projektów firmy Google niech świadczy powiedzenie internautów „Nie ma cię w googlach, to nie istniejez !!!”

4. Integracja danych w formacie KML z danymi z serwisów WMS

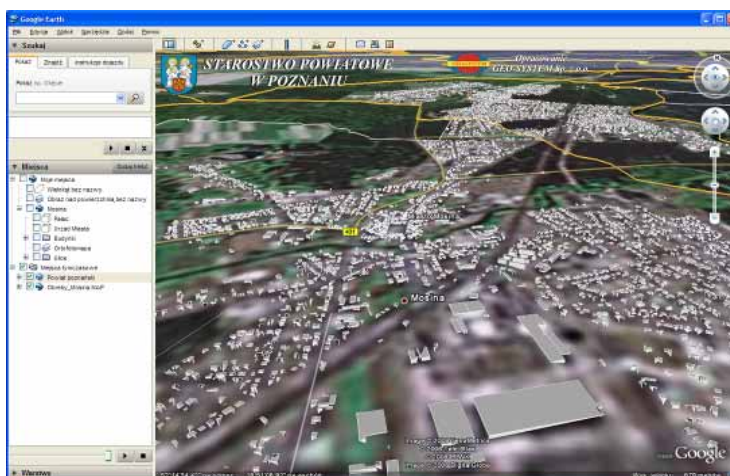
Połączenie danych przestrzennych rastrowych i wektorowych w Google Earth zostanie omówione na przykładzie powiatu poznańskiego, gdzie trójwymiarowa warstwa budynków została przedstawiona na tle ortofotomapy, która jest pobierana z serwisu WMS. Jest to jednak rozwiązanie (przynajmniej w chwili pisania niniejszego referatu) technologicznie nieco inne niż omawiany wcześniej Wirtualny Szczecinek.

Całość opracowania opiera się o serwer baz danych PostgreSQL z rozszerzeniem PostGIS, gdzie przechowywana jest geometria budynków oraz ich atrybuty. Dla każdego typu budynku można zastosować inny kolor, co spowoduje, iż prezentacja będzie bardziej przystępna dla oka odbiorcy. W przykładowym opracowaniu zdecydowano się jednak na to, aby wynik przypominał standardowe, nieteksturowane budynki znane z innych miast, które są prezentowane w aplikacji Google Earth.

Aby maksymalnie przyspieszyć wyświetlanie danych i ergonomię użytkownika poczyniono wiele operacji:

- założenie indeksu przestrzennego w bazie danych oraz wykonanie zabiegów, które przyspieszają jej działanie,
- dane przestrzenne nie są dynamicznie generowane na życzenie użytkownika, lecz raz dziennie przygotowywane automatycznie,
- kompresję danych na czas transferu (zastosowanie skompresowanych plików KMZ zawierających geometrię budynków i ich atrybuty),
- zastosowanie zaawansowanych opcji języka KML, które pozwalają na wyświetlanie tylko tych obiektów, które znajdują się w obszarze oglądanym przy określonym powiększeniu.

Podgląd wizualizacji 3D budynków dla obszaru powiatu poznańskiego (łącznie 173 116 obiektów) możliwy jest po zainstalowaniu aplikacji Google Earth. Oczywiście podstawowym wymaganiem jest dostęp do Internetu oraz pobranie pliku startowego. Projekt został odpowiednio przygotowany w taki sposób, że dopiero od pewnego przybliżenia zainicjowane zostanie doczytywanie budynków. Podział na obszary sprawił, że nie doczytujemy wszystkich budynków na raz, a jedynie te, które są w zasięgu naszego widoku w oknie aplikacji.



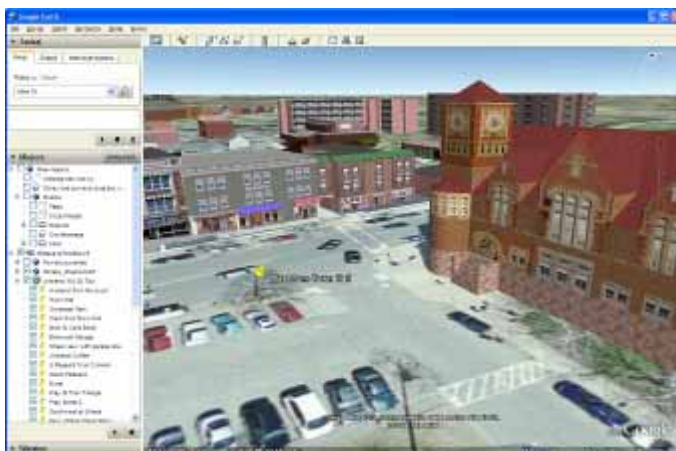
Rys. 11. Budynki w Poznaniu

Google Earth jest także prostym klientem WMS, który umożliwia proste przeglądanie danych. W taki sposób dystrybuowana jest ortofotomapa o wysokiej rozdzielczości, która jest dokładniejsza niż ta obecnie dostępna w aplikacji. Po przybliżeniu wybranego widoku jest ona doczytywana dynamicznie – obraz jest tworzony po stronie serwera w czasie rzeczywistym a następnie przesyłany do programu zainstalowanego na komputerze użytkownika. Wirtualny Szczecinek również posiada takie rozwiązanie – głównie ze względu na niskiej jakości sceny z Landsata na terenie opracowania.

5. Program „Miasta 3D” firmy Google

W marcu 2008 roku firma Google rozpoczęła nowe projekt, który miał na celu udostępnienie jeszcze większej ilości danych przestrzennych zintegrowanych w jednym środowisku, jakim jest aplikacja Google Earth. W chwili obecnej ponad 350 milionów użytkowników Internetu na całym świecie korzysta z Google Earth. Poprzez program „Miasta 3D” można znaleźć jeszcze więcej zastosowań tego narzędzia zarówno dla zwykłego obywatela jak i specjalistów z różnych dziedzin, turystów, a nawet organizacji publicznych i struktur państwowych.

„Miasta 3D” zakłada udostępnienie danych przestrzennych przez agencje rządowe lub inne organizacje sektora publicznego firmie Google, która jako dostawca technologii umieści je do powszechnego użytku w serwisach Google Earth i Google Maps. Dostawca danych nie ponosi żadnych kosztów za możliwość udostępnienia swoich danych. Nie jest podpisywana żadna umowa, która gwarantuje wyłączność dla firmy Google do prezentowania ich w Internecie. Po umieszczeniu zbioru danych w serwisie użytkownik będzie w stanie uzyskać informacje, przez kogo zostały one dostarczone. Aktualnie firma przyjmuje dane przestrzenne ze źródeł, jakimi są głównie agencje rządowe oraz inne organizacje sektora publicznego (poniżej przykład takiego opracowania dla miasta Amherst w stanie Massachusetts, USA).



Rys. 12. Amherst, Massachusetts

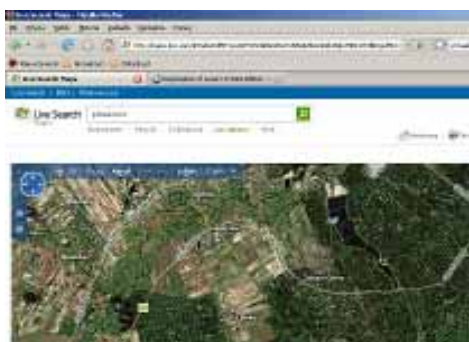
Warto nadmienić, że dane, jakie mogą zostać wykorzystane w programie „Miasta 3D” to (w/g propozycji firmy Google) głównie trójwymiarowe modele budynków, numeryczny model terenu oraz zdjęcia lotnicze i ortofotomapy. Trójwymiarowe modele budynków, zdjęcia lotnicze i numeryczny model terenu staną się dostępne dla turystów, deweloperów, inwestorów, konserwatorów, właścicieli nieruchomości, przedsiębiorców, urzędników publicznych i wielu innych zawodów. Ten rodzaj informacji powoduje wzrost intensywności turystyki, rozwoju gospodarczego, upraszcza nawigację i analizy geograficzne oraz promuje bezpieczeństwo. Stawni też to ogromne źródło korzyści także dla urbanistów.

Samo udostępnienie danych 3D przynosi wiele korzyści dla samorządów lokalnych, takich jak:

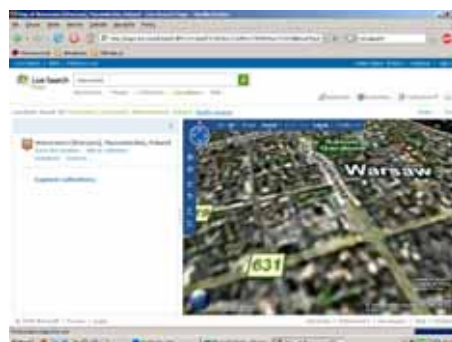
- zagospodarowanie terenu,
- ochrona zabytków,
- pozyskanie nowych inwestorów,
- pomoc w planowaniu lokalizacji nowych zakładów pracy,
- rozwój rynku nieruchomości,
- pokazanie turystom ciekawych miejsc i obiektów,
- planowanie wycieczek turystycznych,
- wykonywanie analiz sieciowych, które umożliwiają optymalizację dojazdu,
- poprawa zarządzania nieruchomościami,
- wspieranie bezpieczeństwa i zapobiegania przestępczości,
- ułatwienie zarządzania w sytuacjach kryzysowych.

6. Microsoft Virtual Earth (<http://maps.live.com/>)

Serwis Virtual Earth jest odpowiedzią firmy Microsoft na projekt Google, oferuje podobne możliwości, rozwija się, niestety w chwili obecnej można powiedzieć tylko że jest i ma możliwości.



Rys. 13. Live 2D

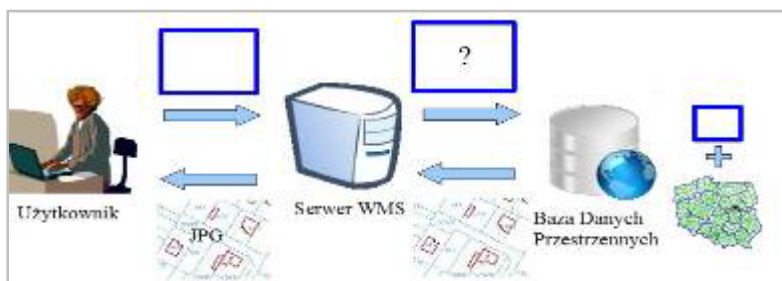


Rys. 14. Live 3D

W w/w serwisach czy innych o zasięgu krajowym lub lokalnym będących przedsiębiorstwami komercyjnymi nie znajdziemy **aktualnych** informacji o budynkach, działkach czy planach zagospodarowania przestrzennego, które powinny udostępnione ogółowi mieszkańców gminy, powiatu, kraju. Jednocześnie informacje te powinny być udostępnione w taki sposób by była możliwość integracji z innymi źródłami danych i ich wspólnej prezentacji. Założenie to może być spełnione tylko wtedy, gdy zarówno serwer jak i klient prezentujący dane potrafią obsługiwać wiele typów i formatów danych.

7. Serwisy WMS

Problem mnogości formatów i struktur danych przy zapisie geoinformacji został w pewien sposób rozwiązany przez **OGC** (<http://www.opengeospatial.org>) za pomocą standardu **WMS**. Standard ten opisuje komunikację pomiędzy serwerem i klientem. Te proste zasady pozwalają na integrowanie wielu źródeł danych w jednej przeglądarce (klientcie). Do tej pory podstawowym problemem są formaty wymiany, przepustowość łącz nadal nie pozwalała na przesyłanie dużych zestawów danych, a użytkownik końcowy często nie posiada stosownego oprogramowania. WMS stworzono właśnie w celu ominięcia tych przeszkód i łatwego oraz przede wszystkim szybkiego prezentowania danych.



Rys. 15. Schemat działania WMS

Istotę można przedstawić następująco (schemat na ilustracji na poprzedniej stronie):

1. użytkownik przeglądając mapę w dowolnej aplikacji lub specjalnie przygotowanej stronie internetowej nieświadomie określa zakres potrzebnych danych, jakim jest obszar mapy na monitorze.
2. Tak wybrany zakres jest następnie wysyłany do aplikacji nazywanej serwerem WMS. Aplikacja posiadając prostokąt ograniczający sięga do bazy danych i „pyta” o obiekty znajdujące się w obszarze zadanego prostokąta (ekranu użytkownika).
3. Baza danych określa, które spośród posiadanych danych znajdują się w żądanym obszarze.
4. Serwer WMS następnie zapisuje te obiekty w postaci obrazu o rozdzielczości takiej, jak ekran użytkownika (lub innej zależnie od ustawień). Tak przygotowany obraz posiadanych danych przesyła do użytkownika i wyświetla na ekranie.
5. Użytkownik końcowy patrząc na mapę, patrzy na obrazek (lub zbiór obrazków).

Dzięki temu unikamy przesyłania wszystkich danych, a plik graficzny (JPG, GIF, PNG,...) można odczytać bez wykorzystania specjalistycznego oprogramowania geodezyjnego, czy GISowego. Zwyczajna przeglądarka internetowa bez dodatkowych aplikacji jest w stanie wyświetlić mapę zadanego obszaru. Przykłady wykorzystania WMS na różne sposoby przedstawiono w tabeli poniżej:



Rys. 16. Przykłady wykorzystania WMS w różnych aplikacjach

Dane z serwisów WMS można łączyć i prezentować u użytkownika wraz z danymi w innych formatach. Możemy wykorzystywać dane dotyczące np. planowanego przebiegu autostrady z GDDKiA, ortofotomapę z Geoportalu oraz informacje o projekcie od dewelopera. A wszystko to zostanie zintegrowane z danymi lokalnymi (w tym przypadku ewidencja i uzbrojenie z ośrodka dokumentacji). Na ilustracji po prawej umieszczono schemat wykorzystania wielu serwisów WMS udostępniających dane w aplikacji typu desktop, jaką jest GEO-MAP.

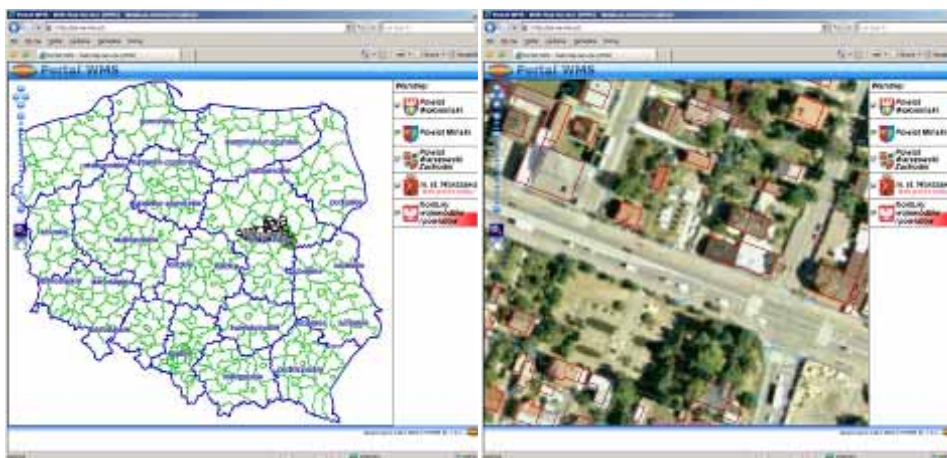


Rys. 17. Schemat działania Geo-Map w powiązaniu z serwisami WMS

Trzecią ogromną zaletą technologii WMS jest jej łatwość i powszechność wykorzystania. W Polsce liczba serwisów udostępniających dane z wykorzystaniem WMS jest w tej chwili skromna, ale zauważalny jest wzrost w miarę rosnącej popularności technologii WMS.

Inne kraje zdecydowanie prowadzą w tym wyścigu: np. Norwegia wykorzystuje jako podstawę krajowego geoportalu ponad 200 serwisów WMS od różnych dostawców integrując je w jednym miejscu. Szwecja, Hiszpania czy Holandia to kolejne przykłady popularności tej technologii.

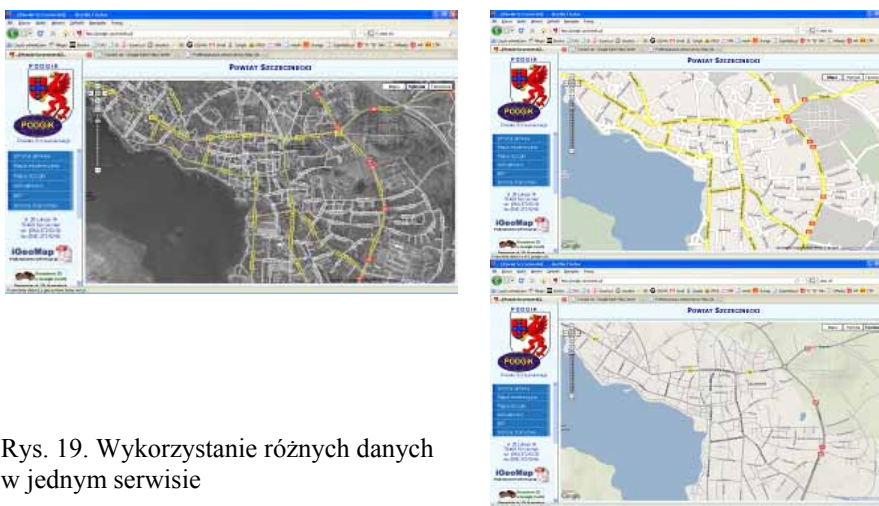
Poza wymienionymi przy okazji omawiania systemu iGeoMap zastosowaniami WMS firma Geo-System przygotowała również serwis prezentujący dotychczasowe wdrożenia WMS na tle granic administracyjnych Polski. Obecnie w serwisie dostępne są dane takie jak: działki, budynki, obręby ewidencyjne, granice gmin, powiatów, województw wraz z opisem oraz ortofotomapa dla ośrodków dokumentacji, które serwują już dane ewidencyjne w standardzie WMS (powiat miński, warszawski zachodni oraz wołomiński). Ilustracje serwisu przedstawiono poniżej (po lewej widok ogólny, po prawej widok działek ewidencyjnych na tle ortofotomapy).



Rys. 18. Przykładowy serwis WMS z danymi PODGiK

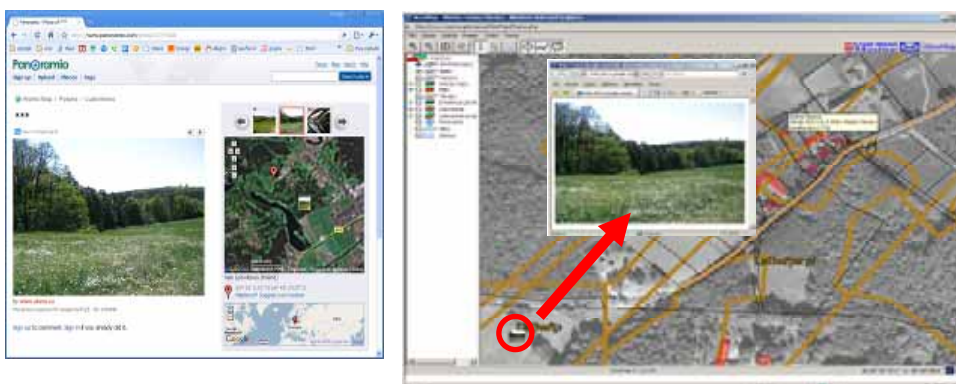
Pomimo oczywistych zalet, ta technologia ma też wady: prezentowane obrazy są rastrami (to tylko obrazek interpretowany przez obserwatora), nie niosą żadnej informacji opisowej, nie można na nim wykonywać analiz ani w prosty sposób (za pomocą uniwersalnej przeglądarki) wyszukiwać interesujących klienta danych. Do pewnych zastosowań standard WMS jest wystarczający (dla typowego użytkownika Internetu posiadającego tylko przeglądarkę internetową), ale do zastosowań specjalistycznych wymagających zaawansowanych funkcji konieczne są narzędzia specjalistyczne.

8. Łączenie danych z Google Maps i serwisów WMS



Rys. 19. Wykorzystanie różnych danych w jednym serwisie

Dzięki udostępnieniu przez firmę Google serwisu GoogleMaps oraz związanego z tym środowiska programistycznego GoogleMaps API, które pozwala na umieszczanie map internetowych na własnych stronach internetowych o bardzo zaawansowanych możliwościach dostosowania do swoich potrzeb można połączyć je ze swoimi danymi. Do korzystania z tej techniki jest tylko potrzeba przeglądarka internetowa (nie trzeba instalować dodatkowego oprogramowania). W przypadku, gdy dla obszaru w serwisie GoogleMaps jest ortofotomapa o niskiej rozdzielczości, możemy wykorzystać swoją, która jest dostępna przez serwis WMS. Przykład wykorzystania znajduje się na stronie internetowej PODGiK w Szczecinku. W tym przypadku wykorzystano ortofotomapę o wysokiej rozdzielczości z danych PODGiK oraz siatkę dróg i ulic z danych zawartych w Google Maps.



Rys. 20. Wybrane zdjęcie wraz z lokalizacją w serwisie Panoramio oraz w iGeoMap

Oprócz tego można nałożyć dane z innych serwisów – nie tylko w postaci WMS – ale także przy pomocy technologii AJAX. Taką możliwość daje np. serwis **Panoramio**, który umożliwia dodanie warstwy zdjęć wraz z ich lokalizacją geograficzną. Dzięki temu, że serwis ten pozwala na wykorzystanie tych danych na własnej stronie internetowej, została opracowana technologia prezentowania tych danych również w aplikacji iGeoMap. Dzięki temu serwis iGeoMap dla Miasta i Gminy Mosina zyskuje dodatkowe walory turystyczne – można zaplanować wycieczkę po zabytkach wykorzystując prezentowane zdjęcia.

9. LITERATURA

Waldemar Izdebski „Wykorzystanie zasobów PODGiK i technologii internetowej w tworzeniu lokalnych systemów informacji przestrzennej”, I Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Techniczna, Polańczyk 28-30 września 2000.

Wybrane wystąpienia podczas X Konferencji Ośrodki Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej "Rola geodezji w społeczeństwie informacyjnym" 17-18 kwietnia 2008r.

Strona internetowa serwisu iGeoMap www.igemap.pl

Strona internetowa PODGIK w Ożarowie Mazowieckim www.podgik.pwz.pl

Strona internetowa Serwis WMS www.serverwms.pl

Strona internetowa Serwisu Inwestycji inwestmapa.um.warszawa.pl

Strona internetowa Google Earth earth.google.com

Strona internetowa Google Maps mapy.google.pl

Strona internetowa Microsoft Live maps live.com

OVERVIEW OF LATEST TRENDS IN SPATIAL DATA PRESENTATION ON THE INTERNET

Radosław Pawłowski, Zbigniew Malinowski

KEY WORDS: Internet, SDI, WMS, spatial data visualisation, 3D

Summary

At time, a great progress is being made in Spatial Information Systems, a discipline forming a part of the Informational Technology (IT) in a wide sense. More and more users appreciate advantages and benefits of using spatial information. Those users not directly associated with land surveying, cartography or navigation are given an opportunity and the ability of seeing things 'spatially', i.e., in three dimensions.

This paper is aimed at stressing certain aspects of Spatial Information Systems and the role of presentation in those systems, with a particular reference to the Internet presentation. Tools designed for preparing a presentation of spatial information, including free and open source applications, have become more powerful and have more functions. On the other hand, a great effort is being put into development and maintenance of standards of spatial data presentation, such as WMS and WFS. The paper presents examples of application of those tools and standards, interrelated in many different ways.

Radosław Pawłowski,
Zbigniew Malinowski
Geo-System Sp. z o.o.

SATELITARNA INTERFEROMETRIA RADAROWA (INSAR) WYSOKIEJ ROZDZIELCZOŚCI Z WYKORZYSTANIEM DANYCH TERRASAR-X

HIGH RESOLUTION SAR INTERFEROMETRY (INSAR) WITH TERRASAR-X DATA

Zbigniew Perski¹, Artur Krawczyk², Petar Marinkovic³

¹ Katedra Geologii Podstawowej, Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski

² Katedra Ochrony Terenów Górniczych Geoinformatyki i Geodezji Górniczej,
Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska,
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie

³ Delft Institute of Earth Observation and Space Systems
Delft University of Technology

SŁOWA KLUCZOWE: interferometria radarowa, wysokorozdzielcze zobrazowania mikrofalowe, SAR, LGOM, TerraSAR-X, deformacje terenu

STRESZCZENIE: W artykule autorzy przedstawiono pierwsze spostrzeżenia na temat interferometrycznego przetwarzania danych TerraSAR-X, który jest pierwszym na świecie wysokorozdzielczym satelitą obrazującym w zakresie mikrofal. W opracowaniu zostały użyte dane SAR zarejestrowane w trybie StripMap o rozdzielczości przestrzennej ok. 3.3m. Dane te, obejmujące swym zasięgiem obszar LGOM posłużyły do wygenerowania interferogramu przedstawiającego deformacje terenu wywołane eksploatacją rud miedzi. Z uwagi na wysoką rozdzielczość przestrzenną i małą długość fali nie można było do danych tych wprost zastosować istniejących algorytmów interferometrycznych. Otrzymany interferogram TerraSAR-X charakteryzuje się bardzo dobrą koherencją. Wykazano, że dane radarowe w paśmie X bardzo dobrze nadają się do monitoringu deformacji, a wysoka rozdzielczość umożliwia również śledzenie bardzo drobnych zmian wysokościowych. Wskazano, że czynnikiem znacznie poprawiającym koherencję jest jak wysoka rozdzielczość przestrzenna danych: charakterystyka rozpraszania sygnału jest bowiem częściej zbliżona do odbicia typu powierzchniowego niż tzw. odbicia objętościowego.

1. CHARAKTERYSTYKA SYSTEMU TERRASAR-X

TerraSAR-X wyniesiony został na orbitę 15 czerwca 2007 roku za pomocą rosyjskiej rakiety DNEPR-1 i po zakończeniu fazy testowej od 9 stycznia 2008 dostarcza zobrazowań. Czas trwania misji przewidziano na 5 lat. Satelita został umieszczony na orbicie okołobiegunowej heliosynchronicznej o nachyleniu 97,44° i wysokości 515 km. Okres rewizyty (tj. powtórzenia tej samej ścieżki podsatelitarnej dla danego obszaru) wynosi 167 cykli czyli 11 dni. Podobnie jak w przypadku innych współczesnych satelitów, do kontroli położenia wykorzystywany jest system GPS. TerraSAR-X to lekki, specjalizowany satelita wyposażony w jedno urządzenie

do zbierania danych, którym jest wysokiej rozdzielczości radiolokator SAR pracujący w paśmie X. Zastosowana tu długość fali wynosi 3.1 cm a częstotliwość 9.65 GHz.

TerraSAR-X to pierwszy niemiecki satelita wybudowany w partnerstwie publiczno-prywatnym: państwowej DLR (Niemieckiej Agencji Kosmicznej) i paneuropejskiej firmy EADS Atrium. Umowę o utworzeniu konsorcjum podpisano w 2002 roku. Całość projektu kosztuje około 130 mln. euro. Firmy do obsługi projektu powołały spółkę zależną Infoterra GmbH. Spółka realizuje obsługę zamówień natomiast DLR koordynuje naukowe wykorzystanie danych z satelity.

Podstawową charakterystykę trybów obrazowania systemu SAR TerraSAR-X przedstawia tabela 1. Poszczególne tryby obrazowania pozwalają na uzyskiwanie produktów różniących się rozmiarami sceny i rozdzielczością.

Tabela 1. Porównanie charakterystyk produktów różnych trybów rejestracji TerraSAR-X

	Scan-SAR	Strip-Map	Spotlight	Hi-Res Spotlight
Pokrycie w kierunku azymutu	150 km	50 km	10 km	5 km
Pokrycie w kierunku zasięgu	100 km	30 km	10 km	10 km / 6-10 km
Rozdzielczość w kierunku azymutu	16 m	3.3 m	2 m	1.1 m
Rozdzielczość zasięgu	1,2 m	1.2 m	1.2 m	1.2 m / 0.6 m

2. OBSZAR BADAŃ

Na terenie Legnicko – Głogowskiego Zagłębia Miedziowego (LGOM) znajduje się 8 obszarów górniczych, w których prowadzona jest eksploatacja górnicza przez 3 zakłady górnicze (Rys. 1). Łącznie obszary górnicze kopalń LGOM zajmują teren ok. 400 km². W zasięgu wpływów bezpośredniej eksploatacji górniczej znajdują się dwa miasta: Lubin i Polkowice oraz kilkanaście wsi. Prowadzona od końca lat 60-tych eksploatacja rud miedzi powoduje powstanie deformacji ciągłych w postaci obniżenia terenu wywołanych zarówno eksploatacją podziemną jak i odwodnieniem górotworu. Wielkości obniżenia całkowitych na terenie LGOM w obszarach intensywnej eksploatacji prowadzonej systemem filarowo-komorowym osiągają średnie wartości od 1,8 do 2,6 m (Cuprum 2006). Pomiar geodezyjne jak i wyliczenia teoretyczne wskazują, że średnia prędkość ujawniania się tego typu obniżenia nad eksploatacją zawałową nie przekracza 1,25 mm/dobę.

Na obniżenia wywołane eksploatacją kopaliny nakładają się również zmiany wysokościowe powierzchni terenu powodowane tworzeniem się tzw. wielkopowierzchniowej niecki odwodnieniowej, której wartości obniżenia od rozpoczęcia odwadniania złoża nie przekraczają 3 m. Maksymalną wielkość obniżenia wywołanych odwodnieniem zanotowano w obszarze górniczym „Lubin I” i wyniosła ona 7,1 m. Maksymalna prędkość narastania obniżenia nie przekroczyła 30 mm/rok (Popiołek, 1997).

3. INTERFEROMETRIA TERRASAR-X

Interferometria SAR (InSAR) to technika służąca do uzyskiwania informacji dotyczących względnych danych wysokościowych (Goldstein et al., 1988). Wykorzystuje ona różnice fazy sygnałów radarowych pochodzących z dwóch obserwacji mikrofalowych typu SAR tego samego obszaru. Wynik tej operacji – interferogram, przedstawia różnice fazy „zawinięte” w cykle 2PI a dzięki zastosowaniu technik tzw. rozwijania fazy jest możliwe zrekonstruowanie pełnego sygnału. Dobry przegląd metodyki i obszarów zastosowań InSAR można znaleźć w (Bamler and Hartl, 1998; Massonnet and Feigl, 1998; Rosen et al., 2000).

System SAR satelity TerraSAR-X został zaprojektowany między innymi z myślą o zastosowaniach interferometrycznych i w zasadzie dane rejestrowane we wszystkich trybach nadają się dla potrzeb interferometrii (Adam et al., 2008). Z uwagi na wysoką rozdzielczość przestrzenną i małą długość fali nie można do danych TerraSAR-X wprost zastosować istniejących algorytmów interferometrycznych. Dotyczy to przede wszystkim trybów SL (*SpotLight*) i HS (*High Resoluituion SpotLight*). Według Adam et al. (2008) największy problem stanowi etap współrejestracji, która musi zapewnić maksymalny błąd nie większy niż dziesiąte części piksela. W przeciwnym przypadku prowadzi to do znacznego zredukowania koherencji interferometrycznej. W klasycznej technice InSAR przesunięcia pikseli wynikające z ukształtowania terenu są usuwane przy zastosowaniu wielomianu niskiego rzędu dla całej sceny. W przypadku sensora wysokiej rozdzielczości takie podejście nie jest wystarczające i stosuje się metody oparte na geometrii obrazowania, tj. obliczające prawidłowe położenie piksela w oparciu o model numeryczny terenu i parametry orbity (np. Huanyin et al., 2004). Drugą ważną sprawą jest zróżnicowanie tzw. częstotliwości dopplerowskiej w kierunku azymutu dla danych rejestrowanych w trybach SL i HS. W przypadku wykorzystywanych dotychczas danych rejestrowanych metodą StripMap problem ten nie istniał (częstotliwość ta ma stałą wartość dla całej sceny). Niesie to za sobą konieczność modyfikacji algorytmów zmiany częstotliwości próbkowania (*resampling*) i filtracji przesunąć spektrum.

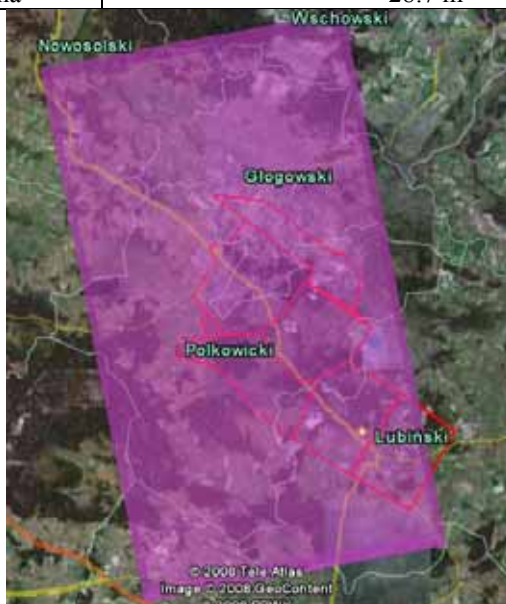
4. PRZETWARZANIE DANYCH DLA OBSZARU LGOM

Dla obszaru LGOM wykorzystano dwa zobrazenia TerraSAR-X wykonane w trybie StripMap (Tabela 1). Użyto produktów zawierających dane zespolone (*Single Look Complex*) w formacie COSAR (*COmplex SAR*) – Fritz (2005). Ich charakterystykę przedstawia Tabela 2 a zasięg przestrzenny Rys. 1.

Tabela 2. Charakterystyka scen TerraSAR-X wykorzystanych w opracowaniu

	1	2
Nr. Orbity	02408 ASCENDING	02575 ASCENDING
Data i czas rejestracji	2007-11-20 16:34:52.	2007-12-01 16:34:51
Kąt padania wiązki	31°	31°
Polaryzacja	HH	HH

Baza czasowa	11 dni
Baza geometryczna	-165.2 m
Czułość topograficzna	28.7 m

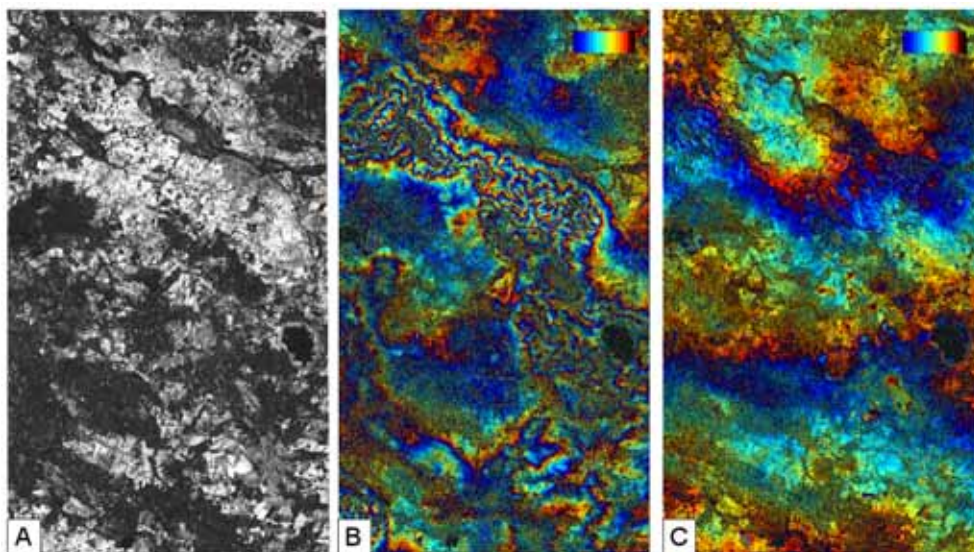


Rys. 1. Zasięg opracowanych danych TerraSAR-X na tle obszarów górniczych LGOM (dane prezentowane w systemie Googleearth)

Przetwarzanie interferometryczne przeprowadzono przy zastosowaniu dostępnego na licencji *Open Source* oprogramowania interferometrycznego DORIS (Kampes et al., 2003). Z uwagi na fakt, że użyto danych zarejestrowanych w trybie StripMap nie było konieczności wprowadzania istotnych ingerencji do zaimplementowanych w DORIS algorytmów (Marinković, 2008) a zmieniono jedynie szereg parametrów. Wprowadzone modyfikacje kodu polegały na stworzeniu modułu czytającego dane z formatu COSAR i konwertującego je na format wejściowy DORIS.

Współrejestrację przeprowadzono dwuetapowo. W etapie wstępnym wykorzystano dane o orientacji zewnętrznej sensora (tzw. orbity) zapisane w plikach nagłówkowych dostarczanych razem z danymi. W etapie współrejestracji precyzyjnej użyto znacznie większej aniżeli standardowa liczby okien (1000) oraz przeprowadzono optymalizację ich rozkładu przestrzennego (Perski et al., 2008). Takie rozwiązanie okazało się wystarczające dla rejestracji danych StripMap. Duża baza geometryczna pomiędzy rejestracjami sprawia, że topografia terenu jest bardzo silnie widoczna na otrzymanym interferogramie (Rys. 2). Wpłynęła na to tzw. czułość topograficzna (tzw. *Altitude of Ambiguity*) czyli wielkość deniwelacji terenu, jaka odpowiada zmianie fazy interferogramu o pełny cykl (2 PI). Do usunięcia składowej topograficznej z interferogramu użyto numerycznego modelu terenu o rozmiarach piksela odpowiadających 1 sekundzie kątowej. (DTED poziom 2). Z uwagi na znaczne różnice w rozdzielczości i szczegółowości pomiędzy DTED a danymi TerraSAR-X elementy topografii nie zostały w pełni usunięte. Transformację produktów interferometrycznych

do geometrii układu współrzędnych (Układ 2000 strefa 15°) dokonano w oparciu o parametry orientacji zewnętrznej (orbity) oraz dane wysokościowe DTED.



Rys. 2. Wyniki przetwarzania pełnych scen SAR TerraSAR-X: A – mapa koherencji; B – interferogram; C – skorygowany interferogram po odjęciu składowej topograficznej

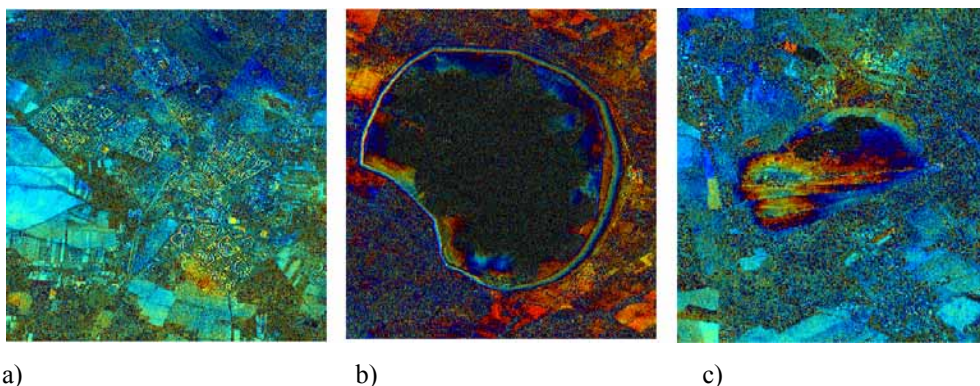
5. INTERPRETACJA OBRAZU INTERFEROMETRYCZNEGO TERRASAR-X

Obszar LGOM był już badany interferometrycznie przy wykorzystaniu danych SAR z satelity ERS-1 (Krawczyk, Perski, 2000a,b) a także ERS-2 i Envisat (Popiołek 2006). Wynikami bardzo szybko udało się zainteresować spółkę KGHM Polska Miedź SA w wyniku czego w latach 2003-2006 wykonano kilka opracowań naukowych z wykorzystaniem techniki InSAR. Ich wyniki zostały wykorzystane w monitorowaniu niecek obniżeniowych na terenach górniczych kopalń miedzi.

Otrzymany interferogram TerraSAR-X charakteryzuje się bardzo dobrą koherencją (Rys. 2). Pasma X mikrofal charakteryzuje się mniejszą długością fali aniżeli pasmo C wykorzystywane w systemach ERS i Envisat (5,7 cm). Sprawia to, że wiązka radarowa ulega rozproszeniu od znacznie mniejszych obiektów co powoduje znacznie silniejszą dekoherencję. Efekt ten jest kompensowany przez zastosowanie krótszej bazy czasowej 11 dni w porównaniu z 35 dniami dla ERS/Envisat. Czynnikiem znacznie bardziej poprawiającym koherencję jest jak się okazuje wysoka rozdzielczość przestrzenna danych: charakterystyka rozpraszania sygnału jest bowiem częściej zbliżona do odbicia typu powierzchniowego niż tzw. odbicia objętościowego (Perski et al., 2007). Na zjawisko to zwrócili uwagę Adam et al. (2008) wykonując pierwsze testy zastosowania techniki PSInSAR. W przypadku omawianego interferogramu należy

zwrócić uwagę, że do jego wygenerowania posłużyły dane zarejestrowane na przełomie listopada i grudnia a więc w okresie kiedy nie następuje wzrost roślinności.

Przy analizie danych TerraSAR-X warto także wspomnieć o kilku ich cechach nie mających odpowiednika w systemach o niższej rozdzielczości (Rys. 3):



Rys. 3. Szczegóły obrazu interferometrycznego TerraSAR-X

Rys. 3a przedstawia miasto Lubin. Na interferogramie wyraźnie widać różnice fazy wynikające ze zróżnicowania wysokościowego budynków. Budynki nie były uwzględnione w modelu DTED stąd efekt ten nie został usunięty w trakcie przetwarzania danych. Rysunek 3b uwiadamia o obwałowaniu składowiska Żelazny Most. I w tym przypadku widoczne są prążki interferometryczne. Nie są one jednak wywołane deformacją a podwyższeniem obwałowania jakiego dokonano w ostatnich latach. Dane DTED są nieaktualne w tym przypadku. Rys. 3c przedstawia obszar kopalni piasku „Obora”, podobnie jak w poprzednim przypadku i tutaj dane DTED są nieaktualne, a obraz interferometryczny ukazuje różnice w topografii terenu. Wszystkie powyższe przykłady ukazują, że dane interferometryczne TerraSAR-X mogą być również wykorzystywane do aktualizacji sytuacji topograficznej na obszarach działalności górniczej.

6. WNIOSKI

Zastosowanie obrazów radarowych z satelity TerraSAR-X w stosunku do obrazów ASAR przynosi następujące korzyści:

1. Radykalna poprawa jakości kalibracji geometrycznej obrazu radarowego w treść topograficzną danego terenu (dzięki większej rozdzielczości).
2. Możliwość rejestracji znacznie krótszych okresów przyrostu deformacji terenu (nawet do 11 dni) co należy wykorzystać przede wszystkim w obszarach eksploatacji górnictwa węglowego. W tych rejonach notujemy na mniejszych obszarach większe przyrosty obniżień.
3. Znacznie krótszy czas realizacji zlecenia wykonania skanowania radarowego, w wypadku TerraSAR-X zamówienie należy złożyć do 4 dni przed najbliższym

możliwym terminie przelotu satelity tak aby dane zostały zarejestrowane. W przypadku Envisat-a czas programowania bez dodatkowych kosztów wynosi 15 dni roboczych.

Badania sfinansowano w ramach projektu badawczego Ministerstwa Nauki nr 4T12E 001 26: „Możliwości wykorzystania satelitarnej interferometrii radarowej InSAR w monitoringu terenów górniczych i pogórnich”. Numeryczny model powierzchni terenu DTED poziom 2 został udostępniony przez Wojskowy Ośrodek Geodezji i Teledetekcji w ramach umowy o współpracy naukowej z Uniwersytetem Śląskim

7. LITERATURA

Adam N., Eineder M., Schatter B., Yague-Martines N. 2008. First TerraSAR-X interferometry evaluation, Fifth International Workshop on ERS/Envisat SAR Interferometry, 'FRINGE07', Frascati, Italy, CDROM.

Bamler R., Hartl P. 1998. Synthetic aperture radar interferometry. *Inverse Problems*, 14: R1-R54.

Cuprum 2008. Ocena wyników pomiarów sieci szczegółowej obserwacji wykonanych w 2007 roku przez CBPM Cuprum dla O/ZG „Rudna” Cuprum. Wrocław 2008, praca zbiorowa niepublikowana.

Fritz T., Eineder M. (red.) 2008. TerraSAR-X Ground Segment Basic Product Specification Document, TX-GS-DD-3302, http://www.dlr.de/tsx/documentation/SAR_Basic_Products.pdf

Fritz T. 2005. TerraSAR-X Ground Segment Level 1b Product Format Specification TX-GS-DD-3307, http://www.dlr.de/tsx/documentation/TX-GS-DD-3307_Level-1b-Product-Format-Specification_1.3.pdf

Goldstein R.M., Zebker H.A., Werner, C.L. 1988. Satellite radar interferometry: Two-dimensional phase unwrapping. *Radio Science*, 23(4): 713-720.

Huanyin Y., Hanssen R., Kianicka J., Marinkovic P., Leijen F., Ketellar G. 2004. Sensitivity of topography of InSAR data coregistration, ENVISAT & ERS Symposium, Salzburg, Austria, 6-10 September, 2004, CDROM..

Kampes B.M., Hanssen R.F., Perski Z. 2003. Radar Interferometry with Public Domain Tools, Third International Workshop on ERS SAR Interferometry, 'FRINGE03', Frascati, Italy, 1-5 Dec 2003, CDROM.

Krawczyk A., Perski Z. 2000a. Application of satellite radar interferometry on the areas of underground exploitation of copper ore in LGOM – Poland, 11th International Congress of the International Society for Mine Surveying. AGH, Kraków: 209-218.

- Krawczyk A., Perski Z. 2000b. Okiem radaru. Zastosowanie satelitarnej interferometrii radarowej na terenach eksploatacji rud miedzi w Legnicko-Głogowskim Okręgu Miedziowym, *Geodeta*, 10: 50-54
- Marinković P. 2008. New developments in Earth Observation: using TerraSAR-X satellite data for monitoring geophysical parameters. NAC-9, Netherlands Aardwetenschappelijk Congres, 18 - 19 March 2008, Veldhoven. – poster
- Massonnet, D. & Feigl, K.L. 1998. Radar interferometry and its application to changes in the earth's surface. *Reviews of Geophysics*, 36(4): 441-500.
- Perski Z. 1999. Osiadania terenu GZW pod wpływem eksploatacji pozdziemnej określane za pomocą satelitarnej interferometrii radarowej (InSAR). *Przegląd Geologiczny*, 2: 171-174.
- Perski Z., Hanssen R., Marinković P. 2008. Deformation of The Margin of Sudety Mountains (Southern Poland) Studied by Persistent Scatterers Interferometry, Fifth International Workshop on ERS/Envisat SAR Interferometry, 'FRINGE07', Frascati, Italy, CDROM.
- Perski Z., Ketelaar G., Mróz M., 2007. Interpretacja danych Envisat/ASAR o przemiennej polaryzacji na obszarach zurbanizowanych w kontekście charakterystyki stabilnych rozpraszaczy (persistent scatterers). *Archiwum Fotogrametrii i Teledetekcji*, 16: 467-482.
- Popiołek E. 1997. Analiza rozwoju wielkopowierzchniowej niecki obniżeniowej terenu na obszarze LGOM wywołanej odwodnieniem warstw trzeciorzędowych i czwartorzędowych AGH, Kraków 1997. Niepublikowane.
- Popiołek E. (red.) 2006 . Analiza przemieszczeń pionowych terenów górniczych kopalń KGHM „Polska Miedź S.A. z wykorzystaniem techniki interferometrii satelitarnej. Stowarzyszenie Naukowe im. S.Staszica w Krakowie. Niepublikowane.
- Rosen P.A., Hensley S., Joughin I.R., Li F.K., Madsen S.N., Rodriguez E., Goldstein R.M. 2000. Synthetic Aperture Radar Interferometry. *Proceedings of the IEEE*, 88(3): 333-382.

HIGH RESOLUTION SAR INTERFEROMETRY (INSAR) WITH TERRASAR-X DATA

KEY WORDS: SAR interferometry, InSAR, TerraSAR-X, Envisat, Legnica-Głogów Copper Ore Mining Area

Summary

The paper presents preliminary results of interferometric analysis of the high-resolution TerraSAR-X data for a deformation monitoring applications. The interferogram was computed for the Legnica-Głogów Copper Ore Mining Area with a dominant terrain deformation signal. This is the first interferogram of this type computed for any area in Poland. In addition, general characteristics of TerraSAR-X system were reviewed with a particular reference to different SAR acquisition modes and their significance for interferometric applications. Due to its shorter temporal baseline, the TerraSAR-X interferogram shows only a fraction of the deformation detected by Envisat, but the average velocity still remained almost identical, as shown by the selected examples. The comparison of the two SAR systems showed their detectability and measurability to be similar.

dr Zbigniew Perski
e-mail: Zbigniew.Perski@us.edu.pl
tel. +48 323689226
fax: +48 322915865

dr inż. Artur Krwczyk
e-mail: artkraw@agh.edu.pl
tel. +48 895234915
fax: +48 895233210

inż. Petar Marinković
e-mail: p.marinkovic@tudelft.nl
tel. +31 15 278 8143
fax: +31 15 278 3711

WSPÓŁCZESNA AKTYWNOŚĆ GEODYNAMICZNA WYBRZEŻA BAŁTYKU W ŚWIELE WYNIKÓW BADAŃ SATELITARNEJ INTERFEROMETRII RADAROWEJ INSAR I PSINSAR

RECENT GEODYNAMICS OF THE BALTIC COAST AS MEASURED WITH SAR INTERFEROMETRY INSAR AND PSINSAR

Zbigniew Perski¹, Marek Mróz²

¹ Katedra Geologii Podstawowej, Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski

² Zakład Fotogrametrii i Teledetekcji, Uniwersytet Warmiński - Mazurski w Olsztynie

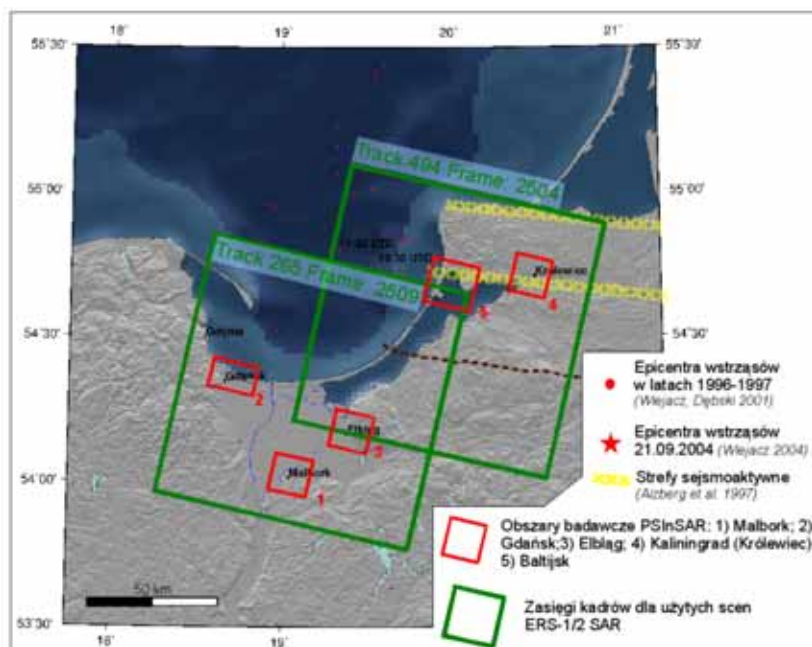
SŁOWA KLUCZOWE: satelitarna interferometria radarowa (InSAR), pionowe ruchy skorupy ziemskiej, pomiary deformacji, teledetekcja satelitarna, geodynamika

STRESZCZENIE. Badania rejonu Zatoki Gdańskiej oraz Półwyspu Sambijskiego prowadzone były w ramach projektu GEO-IN-SAR, którego celem było wykorzystanie najnowocześniejszych osiągnięć satelitarnej interferometrii radarowej (InSAR) do pomiaru zachodzących współcześnie, naturalnych ruchów powierzchni terenu na obszarze Polski i terenach przygranicznych. Dla badań wytypowane zostały trzy poligony badawcze: rejon półwyspu Sambia nawiedzonego przez silne trzęsienie Ziemi we wrześniu 2004 oraz rejon Gdańska i Elbląga. W ramach projektu została przeprowadzona analiza PSInSAR dla scen satelitarnych obejmujących swym zasięgiem rejon półwyspu Sambia i Gdańska, na poligonach badawczych zlokalizowanych w rejonach Kaliningradu, Bałtyjska, Gdańska i Elbląga. Do analiz wykorzystano łącznie 117 obrazów z satelitów ERS-1 i ERS-2, na podstawie których wygenerowano odpowiednio 57 interferogramów dla obszaru Gdańska i 60 dla rejonu płw. Sambia. Dla wszystkich poligonów uzyskano zadowalające zagęszczenie rozpraszaczy stabilnych. Wyniki pomiarów deformacji wskazują na istnienie pionowych ruchów terenu o genezie geodynamicznej jak i antropogenicznej.

1. WSTĘP

Obszar półwyspu Sambia był miejscem jednego z najsilniej odczuwalnych na terenie Polski trzęsień Ziemi. Wstrząsy, o magnitudzie dochodzącej do 5.0 (Wiejacz 2004, Gregersen et al. 2007) miały miejsce 21 września 2004 roku i zlokalizowane były pod dnem Bałtyku u wybrzeża półwyspu (Rys. 1). Lokalizacja wstrząsów pokrywa się z opisywaną w literaturze tak zwaną Kaliningradzko-Litewską strefą potencjalnie sejsmoaktywną (Aizberg et al. 1999). Strefa została zidentyfikowana na podstawie przesłanek geologicznych tj. występowania silnych deformacji neotektonicznych oraz przesłanek teledetekcyjnych - lineamentów satelitarnych. Dla strefy tej magnitudę potencjalnych wstrząsów określono na $M_{max} = 4.0$. Geneza zaistniałych we wrześniu 2004 wstrząsów ma najprawdopodobniej związek z izostatycznym post-glacialnym podnoszeniem się półwyspu skandynawskiego (Nikonov 2006). Występowanie wstrząsów jak i stref sejsmoaktywnych sugeruje, że ruchy izostatyczne mogą zachodzić blokowo, a różnice prędkości podnoszenia poszczególnych bloków mogą powodować

wstrząsy tektoniczne. W ramach pomiarów deformacji metodą InSAR podjęto próbę określenia deformacji regionalnych obszaru Sambii przy zastosowaniu technologii InSAR dla danych archiwalnych, mającą na celu odtworzenie przebiegu deformacji w ciągu ostatnich 10 lat. Celem tych badań było zweryfikowanie hipotezy o blokowym charakterze ruchów izostatycznych.



Rys.1. Lokalizacja użytych scen satelitarnych oraz obszarów badawczych dla PSInSAR

Badania prowadzono w ramach projektu GEO-IN-SAR, którego celem jest wykorzystanie najnowocześniejszych osiągnięć satelitarnej interferometrii radarowej (InSAR) do pomiaru, zachodzących współcześnie, naturalnych ruchów powierzchni terenu na obszarze Polski i terenach przygranicznych. W ramach projektu GEO-IN-SAR wytypowane zostały trzy poligony badawcze: rejon Półwyspu Sambia, wraz z obszarem Warmii i Pomorza, obszar Wrocławia wraz z terenem rowu tektonicznego Paczkowa, charakteryzujący się występowaniem współcześnie aktywnych uskoków tektonicznych (Perski et al. 2007, Perski, Mróz 2007) a także rejon Podhala (Perski 2008).

2. METODYKA I PRZETWARZANIE DANYCH SATELITARNYCH SAR

2.1. Metody InSAR i PSInSAR

Interferometria SAR (InSAR) to technika służąca do uzyskiwania informacji dotyczących względnych danych wysokościowych w oparciu o różnice faz satelitarnych zobrażeń mikrofalowych SAR (*Synthetic Aperture Radar*) rejestrowanych w różnym

czasie. Największe ograniczenia metody InSAR wiążą się z tzw. dekorrelacją czasową, która związana jest ze zmianami właściwości elektromagnetycznych lub/i pozycją rozpraszacza w obrębie obszaru odpowiadającego rozdzielczości terenowej piksela. Kolejnym ograniczeniem metody InSAR jest występowanie tzw. artefaktów atmosferycznych, które w przypadku pojedynczego lub kilku interferogramów są bardzo trudne lub wręcz niemożliwe do usunięcia. Z powodu wymienionych ograniczeń praktyczne użycie tej metody jest w większości przypadków zredukowane do danych o małych bazach czasowych, przypadków badania zjawisk o silnych deformacjach zachodzących w czasie pomiędzy kolejnymi rejestracjami, badania obszarów pozbawionych roślinności, przypadków, gdy oba obrazy użyte do konstrukcji interferogramu zostały zarejestrowane w tych samych bądź bardzo zbliżonych warunkach atmosferycznych.

Ominięcie podstawowych ograniczeń metody InSAR okazało się możliwe dzięki zastosowaniu metod punktowych, opartych na selekcji rozpraszaczy stabilnych. Pierwsze tego typu metody zostały opracowane w końcu lat '90 XX wieku przez zespół POLIMI z Politechniki w Mediolanie (Ferretti et al. 2001). Metody te wykorzystują właściwości naturalnych reflektorów radarowych zwanych rozpraszaczami stabilnymi PS (Persistent Scatterers, Permanent Scatterers), stąd ich nazwa PSInSAR (Persistent Scatterers SAR interferometry). Rozpraszacze takie, których właściwości omówiono w (Perski et al. 2007) charakteryzują się bardzo stabilną fazą sygnału radarowego, praktycznie niewrażliwą na zmiany geometrii obrazowania oraz warunki atmosferyczne. Nawet na terenach rolniczych, charakteryzujących się zwykle słabą koherencją w przypadku klasycznej metody InSAR liczba znajdowanych PS jest zazwyczaj znacznie większa w stosunku do możliwych do pomierzenia punktów metodami tradycyjnymi (Ketelaar et al. 2006). Podstawy metodyczne i teoretyczne zostały przedstawione szczegółowo w literaturze np. Perski, Mróz (2007), Porzycka, Leśniak (2007).

2.2 Przetwarzanie danych

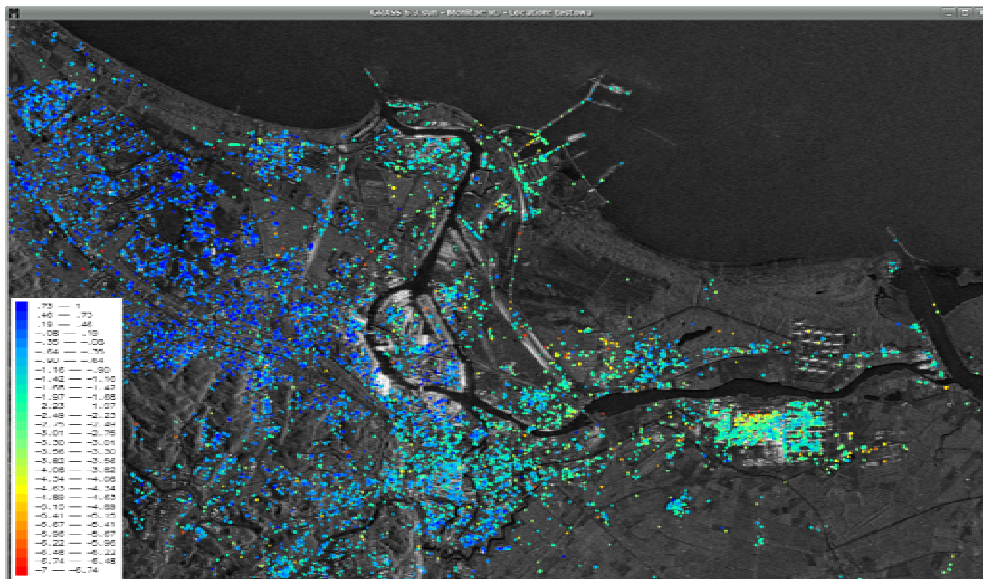
Obszar badawczy SAMBIA/WARMIA jest na tyle rozległy, że dla uzyskania pokrycia wszystkich interesujących obiektów powstała konieczność pozyskania danych SAR z dwóch niezależnych ścieżek i dwóch niezależnych, przesuniętych względem siebie kadrów (Rys. 1). Dla kadru „Warmia” pozyskano łącznie 57 rejestracji SAR z satelitów ERS-1 i ERS-2. Dla kadru „Sambia” pozyskano 60 rejestracji. Badania PSInSAR dla rejonu Malborka miały charakter metodyczny i zostały omówione już wcześniej (Perski et al. 2007).

3. OTRZYMANE WYNIKI I ICH WSTĘPNA INTERPRETACJA

3.1. Polygon badawczy „Gdańsk”

Dla obszaru Gdańska przeprowadzono przetwarzanie danych metodą PSInSAR w ramach obszaru „Warmia”. Otrzymano zbiór 25287 punktów PS (Rys. 2) rozmieszczonych w obrębie miasta i przyległych terenach przemysłowych. Rozkład przestrzenny wykazuje, że istnieją obszary podlegające stosunkowo dużym deformacjom w obrębie obszaru badań. Wielkości deformacji wykazują, że największemu obniżaniu podlegają tereny położone w dolinie Motławy i dolinie Wisły. Największe obniżanie

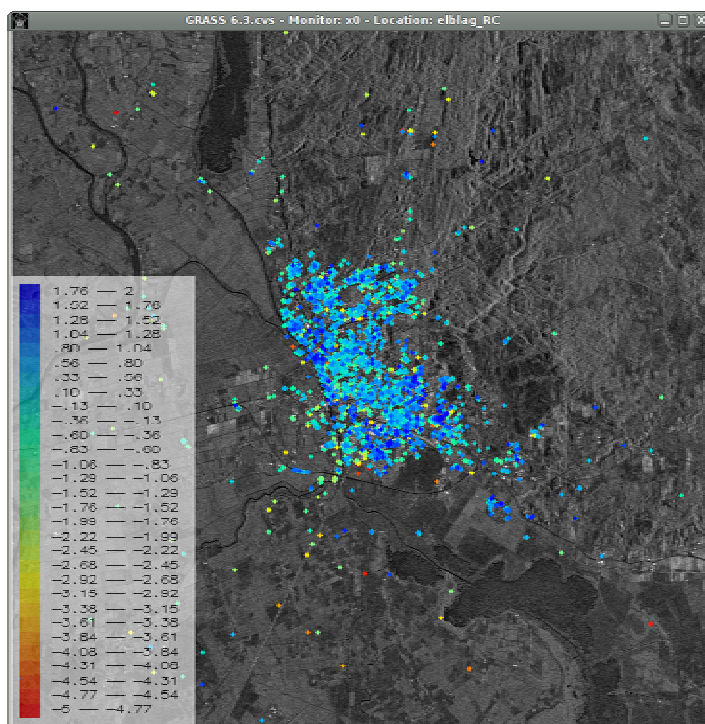
do 7 mm/rok zarejestrowano na terenach rafinerii LOTOS. Przy czym wzrost prędkości deformacji następuje wraz ze spadkiem odległości od Wisły. Duże obniżenia wykazują ponadto Westerplatte, Wisłoujście i rejon portu – do ok. 6 mm/rok. Rozmieszczenie terenów podlegających istotnemu obniżaniu związane jest z występowaniem utworów aluwialnych w dolinach rzek. Podobnie jak w omawianym poniżej rejonie Elbląga obniżanie to ma swoje przyczyny geologiczne (kompakcja i zwiększona podatność gruntu) jednak raczej nie związane z aktywnością neotektoniczną. Wskutek ograniczeń technicznych nie udało się jeszcze przeprowadzić regionalnej analizy PSInSAR dla całego obszaru Żuław. Autorzy mają jednak nadzieję na wykonanie takiej analizy w przyszłości z wykorzystaniem większych jednostek obliczeniowych.



Rys. 2. Rozmieszczenie punktów PS dla rejonu Gdańska. Kolory punktów oznaczają prędkości deformacji [mm/rok] obliczone z wykorzystaniem modelu liniowego

3.2. Poligon badawczy „Elbląg”

Dla tego samego zestawu scen SAR obliczono zbiór punktów PS dla obszaru wokół miasta Elbląga. Uzyskano łącznie 9034 punktów, co daje 28 PS/km² (z czego ok. 400 PS/km² na obszarze miasta). Większość punktów zlokalizowana jest na terenie miasta Elbląga (Rys. 3). Nieliczne punkty otrzymano na terenach wokół miasta. Odległości pomiędzy tymi punktami są bardzo duże, przez co otrzymane wyniki charakteryzują się dużymi błędami. Otrzymany rozkład przestrzenny prędkości deformacji nie wykazuje istotnych anomalii. Większość punktów charakteryzują się prędkościami od -2 do +2 mm/rok. W rozkładzie przestrzennym punktów, można jedynie zauważyć nieco zwiększone prędkości w rejonach doliny rzeki Elbląg i lokalnych potoków. Jest to spowodowane występowaniem tam utworów aluwialnych, które stanowią mniej stabilne podłoże budowlane.



Rys. 3. Rozmieszczenie punktów PS dla rejonu Elbląga. Kolory punktów oznaczają prędkości deformacji [mm/rok] obliczone z wykorzystaniem modelu liniowego

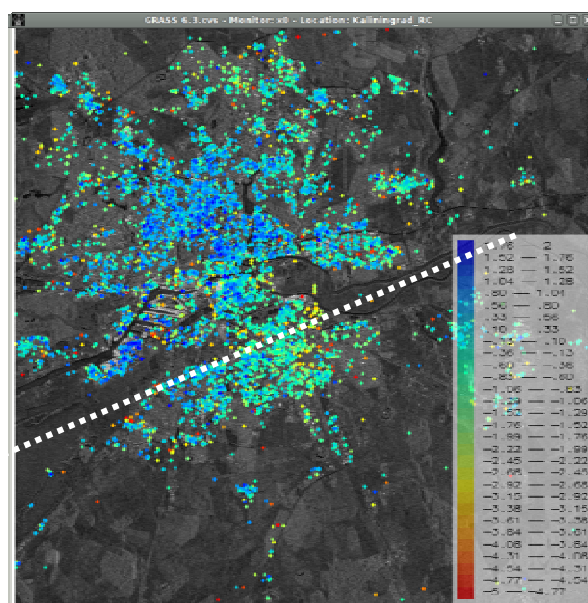
3.3. Poligon badawczy „Kalininograd” (Królewiec)

Jak już wspomniano głównym powodem podjęcia badań w obrębie półwyspu Sambijskiego było zweryfikowanie hipotezy o związku stref potencjalnie sejsmoaktywnych z silnymi trzęsieniami Ziemi, jakie miały miejsce 21.09.2004. Strefa sejsmoaktywna kaliningradzko-litewska została opisana przez Aizberga i współautorów (Aizberg et al. 1999). Rys. 1. przedstawia fragment mapy sejsmotektonicznej z oryginalnej publikacji. Położenie i przebieg strefy i jej pod-strefy północnej i południowej wyraźnie nawiązuje do przebiegu linii brzegowej i ukształtowania terenu.

Skutki trzęsienia Ziemi były badane przez zespół dr B. Assinovskiej z Laboratorium Geodynamiki Centralnego Obserwatorium Astronomicznego Rosyjskiej Akademii Nauk Pulkowo (Assinovskaya, Gorshkov 2005). Efektem tych prac było opracowanie mapy siły trzęsienia Ziemi w skali MSK-64 (Medvedev’a-Sponheuer’a-Karnik’a) oraz dokumentacja zdjęciowa deformacji i zniszczeń. Zanotowano uszkodzenia budynków w postaci pęknięć i zarysowań ścian i kominów. Zarejestrowano również deformacje powierzchni w postaci przecinających się uskoków o przebiegu NW-SE i NE-SW o długości 120m i rozwarciu szczelin do ok. 2 cm. Ze zdjęć wynika, że uskoki te o rzucie ok. 20 cm mają charakter normalny i są raczej powierzchniową manifestacją osunięć skarp rzecznych.

Dla rejonu półwyspu sambijskiego przeprowadzono przetwarzanie PSInSAR serii obrazów ERS-1/2 SAR ze ścieżki 494 (Rys. 1). Wykorzystano 59 interferogramów.

Dla Kaliningradu (Królewc), podobnie jak w innych przypadkach, uzyskano bardzo dużą gęstość punktów PS na obszarze zwartej zabudowy miejskiej. Było to 147 punktów PSC i 25 991 punktów PS. Do obliczeń zastosowano liniowy model deformacji. Uzyskane względne prędkości deformacji wahają się w granicach -5 do +2 mm/rok. Przestrzenny rozkład tych prędkości jest bardzo charakterystyczny (Rys. 4). W świetle danych neotektonicznych (Aizberg et al. 1999) przez środek miasta, wzdłuż doliny Pregoly przebiega południowa gałąź Kaliningradzko-Litewskiej strefy sejsmoaktywnej. Rozkład przestrzenny względnych prędkości deformacji w latach 1992-2000 wykazuje, że po północnej stronie doliny Pregoly dominuje ruch wznoszący (1-2 mm/rok) w stosunku do strony południowej, która ulega względnemu obniżaniu o ok. -1 do -2 mm/rok. Wskutek ograniczeń technicznych nie udało się dotychczas przeprowadzić podobnej analizy dla większego obszaru, jednak przedstawione tu wyniki wskazują na istnienie aktywności tektonicznej w rejonie Kaliningradzko-Litewskiej strefy sejsmoaktywnej. Analiza porównawcza wyników z rejonu Kaliningradu wykazuje, że raczej nie mamy tu do czynienia z efektami antropogenicznymi bądź hydrogeologicznymi. Ostateczne określenie, czy charakter stwierdzonego ruchu ma charakter uskoku normalnego czy przesuwczego będzie wymagało dalszych studiów.



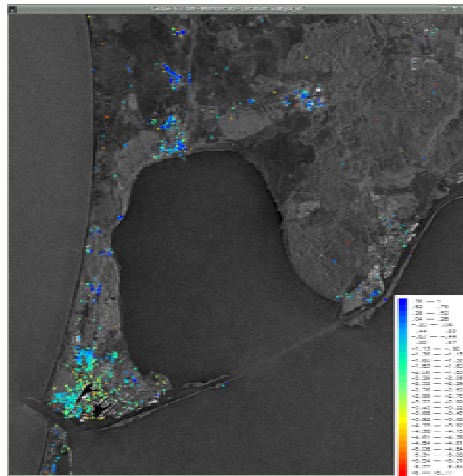
Rys. 4. Rozmieszczenie punktów PS dla rejonu Kaliningradu. Kolory punktów oznaczają prędkości deformacji [mm/rok] obliczone na podstawie modelu liniowego. Biała linia przedstawia przebieg strefy sejsmoaktywnej (Ajzberg 1999)

3.4. Poligon badawczy „Bałtijsk”

Dla potwierdzenia obserwacji z rejonu Kaliningradu przeprowadzono analizę PSInSAR dla najbardziej na zachód wysuniętego lądowego sektora strefy sejsmoaktywnej w rejonie miejscowości Bałtijsk. Bałtijsk to port wojenny u wejścia do Zalewu Wiślanego (Obwód Kaliningradzki), i jednocześnie najbardziej na zachód położone miasto Rosji. Miejscowość ta położona jest na przedłużeniu strefy

sejsmoaktywnej przechodzącej przez Kaliningrad. W stosunku do trzęsienia Ziemi z 21.09.2004 miejscowość ta powinna znajdować się najbliżej epicentrum (Rys. 5) jednak czysto wojskowy charakter obszaru sprawia, że brak jest szczegółowych danych na temat uszkodzeń jak i odczuwalności wstrząsów w tym rejonie. Mapa siły wstrząsów (Assinovskaya, Gorshkov 2005) wskazuje jednak, że wstrząsy były silniej odczuwalne w Kaliningradzie niż w Bałtysku.

Przetwarzanie danych PSInSAR dla rejonu Bałtyska prowadzono również w oparciu o dane ze ścieżki 494 i jako podstawę opracowania użyto również 59 interferogramów. Z uwagi na niski stopień zabudowania pokrycie obszaru punktami PS jest nierównomierne. Uzyskano jedynie kilka skupisk punktów PS w rejonach miejscowości Bałtysk, Primorsk i Svetłyj. Sieć PSC dla tego obszaru charakteryzuje się więc niską redundancją i słabym połączeniem pomiędzy poszczególnymi grupami punktów PS. Z tego powodu nie należy prowadzić interpretacji ruchu względnego pomiędzy poszczególnymi skupiskami, gdyż prawdopodobnie jest on obarczony bardzo dużymi błędami. Ciekawe rezultaty przynosi za to interpretacja ruchu względnego w obrębie poszczególnych skupisk. Rejony Primorska i Svetłego zawierają niewiele punktów i z tego powodu zostały pominięte w analizie szczegółowej. Na obszarze Bałtyska, bazy floty bałtyckiej Federacji Rosyjskiej zarejestrowano dużą liczbę punktów rozmieszczonych na większym obszarze. Z rozkładu prędkości w samym Bałtysku wynika, że szybszemu obniżaniu podlega najdalej wysunięta na południe część półwyspu. Obniża się ona o ok. 4mm/rok w stosunku do północnej nasady. Zmiana prędkości następuje gradacyjnie, co wskazuje na to, że nie mamy tu do czynienia z błędami przetwarzania (głównie rozwijania fazy). Jeśli przyjmiemy, że strefa sejsmoaktywna przebiega na przedłużeniu wylotu doliny Pregoly czyli gdzieś w okolicach cypla półwyspu, otrzymany rozkład przestrzenny deformacji jest niemal taki sam jak w rejonie Kaliningradu: północne skrzydło strefy podnosi się o ok. 4 mm względem skrzydła południowego. Przetwarzanie danych dla rejonu Bałtyska przeprowadzono zupełnie niezależnie w stosunku do rejonu Kaliningradu. Potwierdza to prawidłowość wcześniejszych obserwacji.



Rys. 5. Rozmieszczenie punktów PS dla rejonu Bałtyska. Kolory punktów oznaczają prędkości deformacji [mm/rok] obliczone na podstawie modelu liniowego

4. PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono z konieczności jedynie bardzo ogólnikowy opis i interpretację otrzymanych prędkości przemieszczeń. Wyniki mają charakter wstępny i wymagają dalszego opracowania. Opracowano jedynie małe obszary na podstawie pojedynczej serii danych stąd przedstawiona próba ich interpretacji ma charakter nieco hipotetyczny, choć pozostający w zgodności z istniejącą wiedzą na temat dynamiki obszaru. Dalsze prace polegać będą przede wszystkim na weryfikacji wyników poprzez porównanie ich z wynikami przetwarzania tego samego zestawu danych SAR przy zmienionych parametrach takich jak: inna scena referencyjna lub/i punkt referencyjny. Konieczna jest także wnikliwa analiza i weryfikacja założonych punktów odniesienia dla konstrukcji sieci PS oraz zasadność użycia modelu liniowego. Planuje się także wykonanie testów z innymi modelami deformacji oraz algorytmami adaptatywnymi (tj. pozwalającymi testować wiele modeli).

Metoda PSInSAR jest techniką oportunistyczną, wykorzystującą właściwość danych jaką jest obecność rozpraszaczy stabilnych. Rozmieszczenia i liczby rozpraszaczy nie da się określić przed przetworzeniem danych. Rozpraszacze reprezentują bowiem obiekty o dobrej co prawda charakterystyce odbicia sygnału radarowego ale o bardzo różnej genezie i mechanice przemieszczeń (Perski et al. 2007). Potrzebne jest ponadto opracowanie efektywnej i wiarygodnej metodyki porównywania danych PSInSAR z danymi niwelacyjnymi.

Prace badawcze sfinansowano w ramach projektu badawczego MNiSW : 4T12E 043 29.

5. LITERATURA

- Aizberg R., Garetsky R., Aronov A., Karabanov A., Safonov O., 1999. Sesmotectonics of Belarus and the Baltic Sea Region. *Technika Poszukiwań Geologicznych. Geosynoptyka I Geotermia* 1, 28-37.
- Assinovskaya B.A., Gorshkov V.L. 2005. 2004 September 21 Kaliningrad earthquake and its manifestations in Saint-Petersburg. *Life and security*. 2005, Vol. 1, 25-30 (<http://www.gao.spb.ru/personal/assin/>).
- Ferretti, A., Prati, C., Rocca, F., 2001. Permanent Scatterers in SAR Interferometry. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 39(1), s. 8-20.
- S. Gregersen, P. Wiejacz, W. Dębski, B. Domanski, B. Assinovskaya, B. Guterch, P. Mäntyniemi, V.G. Nikulin, A. Pacesa, V. Puura, A.G. Aronov, T.I. Aronova, G. Grünthal, E.S. Husebye and S. Sliupa 2007. The exceptional earthquakes in Kaliningrad district, Russia on September 21, 2004. *Physics of The Earth and Planetary Interiors*, Vol. 164, (1-2), 63-74.
- Ketelaar, G., Leijen, F.v., Marinkovic, P., Hanssen, R., 2006. On the use of Point Target Characteristics in the Estimation of Low Subsidence Rates due to Gas Extraction in Groningen, the Netherlands, *Fourth International Workshop on ERS/Envisat SAR Interferometry, 'FRINGE05'*, Frascati, Italy, 28 Nov-2 Dec 2005, s. 6 CD-ROM.
- Nikonov A. A. 2006. Source Mechanism of the Kaliningrad Earthquake on September 21, 2004 *Doklady Earth Sciences*, 2006, Vol. 407, No. 2, pp. 317–320.

Perski, Z., Ketelaar, G., Mróz, M., 2007. Interpretacja danych Envisat/ASAR o przemiennej polaryzacji na obszarach zurbanizowanych w kontekście charakterystyki stabilnych rozpraszaczy (persistent scatterers). *Archiwum Fotogrametrii i Teledetekcji*, Vol. 16, s. 467-482.

Perski, Mróz 2007. Zastosowanie metod interferometrii radarowej InSAR do badania naturalnych ruchów powierzchni terenu w Polsce. Projekt GEO-IN-SAR. *Archiwum Fotogrametrii i Teledetekcji*, 17: 613 –624.

Perski 2008. Współczesna aktywność tektoniczna Tatr i Podhala w świetle wyników badań satelitarnej interferometrii radarowej InSAR i PSInSAR. W: Tatrzańskie Mapy Geologiczne, Zakopane 27-29.05.2008. (Abstrakt)

Porzycka, S., Leśniak, A., 2007. Przetwarzanie obrazów radarowych techniką PSInSAR - opis metody. *Archiwum Fotogrametrii i Teledetekcji*, Vol. 17, 661 –670.

Wiejacz P. 2004. Preliminary investigation of the September 21, 2004, earthquakes of Kaliningrad region Russia. *Acta Geoph. Polonica* vol. 52, no.4,

Wiejacz P. Dębski W. 2001. New observations of Gulf of Gdansk seismic events. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 123, 233–245.

RECENT GEODYNAMICS OF THE BALTIC COAST AS MEASURED WITH SAR INTERFEROMETRY INSAR AND PSINSAR

KEY WORDS: SAR interferometry (InSAR), vertical earth crust movements, deformation measurements, satellite-aided remote sensing, geodynamics

Summary

Within the framework of the GEO-IN-SAR project, a study was carried out in the Gulf of Gdańsk and on the Sambia Peninsula. The project was aimed at applying the newest achievements in SAR interferometry to measure recent natural terrain vertical movements in Poland and in adjacent areas. Three areas in which substantial movements were expected selected as study sites: Sambia/Gdansk, Wrocław and Podhale, and Sambia Warmia. An additional reason for including the Sambia/Gdansk area was its high seismic activity: on 21 September 2004, the area was affected by a relatively strong ($M=4$ to 5) earthquake.

PSInSAR analysis was completed for the ERS-1/2 SAR scenes (two separate frames) covering the Sambia Peninsula and the Gulf of Gdańsk coast. 117 SAR scenes were used and detailed analyses were performed for the following locations: Gdańsk, Elbląg, Kaliningrad, and Baltijsk. PSInSAR results for all the locations mentioned showed evidence of surface movements. The origin of that deformation might be related to shallow geology and industrial activity (Gdańsk, Elbląg) as well as to seismotectonics (Kaliningrad and Baltijsk).

dr Zbigniew Perski
e-mail: Zbigniew.Perski@us.edu.pl
telefon: +48 323689226
fax: +48 322915865

dr hab. inż. Marek Mróz
e-mail: Marek.Mroz@uwm.edu.pl
telefon: +48 895234915
fax: +48 895233210

**BAZY DANYCH PRZESTRZENNYCH I KARTOGRAFIA CYFROWA
W ŚWIELE ZAGADNIEN IV KOMISJI XXI KONGRESU ISPRS**

**SPATIAL INFORMATION SYSTEMS AND DIGITAL MAPPING
IN THE LIGHT OF TOPICS OF COMMISSION IV
OF THE 21st ISPRS CONGRESS**

Ryszard Preuss

Zakład Fotogrametrii, Teledetekcji i SIP, Wydział Geodezji i Kartografii Politechnika
Warszawska

SŁOWA KLUCZOWE: Infrastruktura Danych Przestrzennych, sieciowe serwisy GIS, modelowanie krajobrazu, mapy zniszczeń

STRESZCZENIE: W niniejszym referacie przedstawiona została problematyka badawcza obejmująca zakres działalności IV Komisji Międzynarodowego Towarzystwa Fotogrametrii i Teledetekcji (ISPRS) w latach 2004 ÷ 2008. Wyniki tych badań zostały zaprezentowane na XXI Kongresie w Pekinie, w lipcu 2008 roku. Prace badawcze IV Komisji, były wykonywane w ramach dziewięciu grup roboczych, zostały opublikowane w tomie B4 Międzynarodowego Archiwum Fotogrametrii i Teledetekcji, oraz przedstawione w ramach 140 referatów na 20 sesjach technicznych (w tym 6 specjalnych) i 343 referatów na 16 sesjach posterowych. Główna problematyka wystąpień dotyczyła następujących zagadnień: znaczenie danych obrazowych w budowie krajowych infrastruktur danych przestrzennych, potrzeba standaryzacji i harmonizacji danych w bazach GIS, zastosowanie baz danych topograficznych do georeferencji pozyskiwanych obrazów, tworzenie aplikacji dla udostępniania ortomozaik w czasie prawie rzeczywistym do systemów monitorowania i ostrzegania przed zagrożeniami. Duża liczba referatów była poświęcona aktualnemu potencjałowi informacyjnemu wysokorozdzielczych systemów obrazowania (VHRS) dla zasilania wektorowych baz danych topograficznych i tworzenia numerycznych modeli terenu jak również możliwości pomiarowych zdjęć pozyskiwanych cyfrowymi kamerami lotniczymi. Kolejna grupa referatów była poświęcona metodyce integracji różnych typów danych obrazowych w celu zwiększenia zakresu pozyskiwanych informacji. Prezentowane były również badania prowadzone nad nowymi sposobami modelowania krajobrazu oraz efektywnego udostępniania danych obrazowych w serwisach sieciowych. W tym zakresie znaczącym było przedstawienie prac związanych z tworzeniem modeli 3D dla 3000 miast w ramach firmy Microsoft planowane na okres najbliższych 5 lat. Problematyka badawcza poruszana w ramach tej Komisji ISPRS jest bardzo szeroka i w niniejszym referacie jest tylko zasygnalizowana. Przedstawione na Kongresie referaty zostały wydane w postaci elektronicznej na płycie DVD i przekazane wszystkim jego uczestnikom.

1. WPROWADZENIE

Działalność komisji IV Międzynarodowego Towarzystwa Fotogrametrii i Teledetekcji (ISPRS) jest zogniskowana na problematyce cyfrowego kartowania powierzchni Ziemi oraz innych planet układu słonecznego. Aktualnie najistotniejszymi zagadnieniami są efektywne zasilanie i aktualizacja baz danych topograficznych i środowiskowych. Sposoby zapisu tych baz w sieciach rozproszonych w odpowiednich standardach w celu ułatwienia udostępniania tych danych w serwisach internetowych i systemach mobilnych. Problematyka efektywnego udostępniania danych nabiera istotnego znaczenia w świetle wzrastających zagrożeń na skutek globalnego ocieplenia i narastania zjawisk ekstremalnych takich jak trzęsienia Ziemi, powodzie, huragany czy tsunami. Czynniki te stworzyły również zapotrzebowanie na ciągłe monitorowanie powierzchni Ziemi i tworzenie systemów wczesnego ostrzegania. Na to zapotrzebowanie odpowiadają inicjatywy GEOOS i GMES. Tworzone są globalne bazy danych obrazowych o charakterze 4D. Dzięki obrazom historycznym podnoszona jest wiarygodność prognoz budowanych w czasie prawie rzeczywistym. Właśnie tej tematyce głównie były poświęcone referaty prezentowane w omawianej komisji. Prezentowano wyniki badań teoretycznych i aplikacyjnych osiągniętych w różnych ośrodkach na świecie w latach 2004 – 2008. W ramach IV komisji na XXI Kongresie w Pekinie zostało zaprezentowanych 140 referatów w 20 półtora godzinnych sesjach technicznych (w tym 6 sesjach specjalnych) oraz 343 referaty w 16 dwugodzinnych sesjach posterowych. Łączny tekst referatów tej komisji opublikowanych w materiałach kongresowych (Archives of XXI ISPRS Congress) przekracza 1200 stron (postać drukowana i elektroniczna).

2. CHARAKTERYSTYKA ZAGADNIENÍ PREZENTOWANYCH W RAMACH SESJI IV KOMISJI

Dominująca liczba referatów prezentowana na sesjach technicznych i posterowych w ramach Komisji IV była pogrupowana w 9 grup o następującej tematyce:

- WG IV/1 – Infrastruktura Danych Przestrzennych (SDI),
- WG IV/2 – Zastosowanie danych obrazowych do zarządzania geoinformacją,
- WG IV/3 – Pozyskiwanie automatyczne geodanych i cyfrowe kartowanie,
- WG IV/4 – Metodyka wizualizacji i modelowania krajobrazu (DSM),
- WG IV/5 – Aplikacje i serwisy sieciowe dla udostępniania geoinformacji,
- WG IV/6 – Serwisy lokalizacyjne,
- WG IV/7 – Kartowanie planet układu słonecznego,
- WG IV/8 – Systemy Informacyjne dla systemów bezpieczeństwa,
- WG IV/9 – Zastosowanie wysokorozdzielczych danych obrazowych do cyfrowego kartowania,

Dodatkowo w tej komisji wyodrębniono 6 bloków referatowych dla których odbyły się specjalne sesje techniczne i posterowe o następującej tematyce:

- SS - 2 Cyfrowy Świat - stan obecny i perspektywy,
- SS - 3 Kierunki rozwoju systemów udostępniania informacji w sieci (SDI),
- SS - 6 Zastosowanie geoinformacji do inwentaryzacji szkód wywołanych klęskami żywiołowymi,

- SS - 10 Standaryzacja w zakresie geoinformacji,
- SS - 17 Potencjał informacyjny systemów VHRS do zasilania baz danych,
- SS -14 Cyfrowa olimpiada.

Referaty w grupie roboczej WG IV/1 były omawiane na 2 sesjach technicznych (10 referatów) oraz prezentowane na 1 sesji posterowej (33 postery). Dominująca tematyka tej grupy roboczej to:

- stan zaawansowania budowy baz danych topograficznych i tematycznych (środowiskowych) i sposoby udostępniania tych danych w sieci wielu krajów,
- zakres wykorzystania danych obrazowych w strukturze SDI,
- problematyka standaryzacji geodanych, tworzenie standardów dla danych i sposobów zasilania baz GIS,
- zagadnienie wykorzystania produktów fotogrametrycznych do kontroli jakości baz GIS.

Referaty w grupie roboczej WG IV/2 były omawiane na 1 sesji technicznej (5 referatów) oraz prezentowane na 1 sesji posterowej (16 posterów). Kluczowa tematyka tej grupy roboczej to:

- zakres wdrażania technologii cyfrowych w nowych krajach EU,
- stan obecny w zakresie wykorzystania obrazów radarowych w systemach ostrzegania przed zagrożeniami,
- wykorzystanie baz danych do georeferencji obrazów,
- tworzenie ortomozaik w trybie on-line na serwerze obrazowym (ArcGIS),
- problematyka automatycznego wyrównania radiometrycznego bloku ortomozaik,
- efektywność automatycznej ekstrakcji obiektów dla aktualizacji baz danych topograficznych.

Referaty w grupie roboczej WG IV/3 były omawiane na 2 sesjach technicznych (9 referatów) oraz prezentowane na 1 sesji posterowej (42 postery). Dominująca tematyka tej grupy roboczej to:

- automatyczny monitoring na podstawie danych obrazowych i jednoczesna aktualizacja baz danych,
- problematyka wykorzystania sieci neuronowych do detekcji zmian,
- stan w zakresie metod aktualizacji typu 2D baz danych sieci drogowej,
- metodyka aktualizacji danych topograficznych w bazach danych GIS,
- metodyka wyrównania radiometrycznego bloku obrazów VHRS.

Referaty w grupie roboczej WG IV/4 były omawiane na 2 sesjach technicznych (9 referatów) oraz prezentowane na 1 sesji posterowej (26 postery). Dominująca tematyka tej grupy roboczej to:

- rozwój metod wizualizacji terenów zurbanizowanych,
- zastosowanie modeli krajobrazu do wspomagania analiz przyrodniczych i klasyfikacji terenu,
- sposoby wizualizacji w czasie rzeczywistym danych tematycznych na modelu typu 3D,
- precyzyjne łączenie danych wektorowych i rastrowych,
- problematyka jakości w łącznym modelowaniu różnych typów danych obrazowych,

- zastosowania danych LIDAR do generowania numerycznych modeli terenu.

Referaty w grupie roboczej WG IV/5 były omawiane na 2 sesjach technicznych (9 referatów) oraz prezentowane na 1 sesji posterowej (49 postery). Dominująca tematyka tej grupy roboczej to:

- nowe sposoby udostępniania serwisów GIS w sieciach internetowych,
- wykorzystanie „wolnego oprogramowania” przy budowie serwisów sieciowych,
- wpływ aplikacji Google na rozwój rynku SDI,
- pomiary na obrazach w aplikacjach sieciowych,
- sieciowe aplikacje do automatycznej analizy obrazów i zasilania systemów wczesnego ostrzegania.

Referaty w grupie roboczej WG IV/6 były omawiane na 1 sesji technicznej (5 referatów) oraz prezentowane na 1 sesji posterowej (19 postery). Dominująca tematyka tej grupy roboczej to:

- rozwiązania aplikacji programowych do serwisów mobilnych typu GIS,
- aplikacje do georeferencji zdjęć w trybie on-line,
- zastosowania mobilnego GIS w czasie podróży, urlopu,
- wykorzystanie techniki mobilnego GIS do aktualizacji systemów informacyjnych i GIS,
- wspomaganie nawigacji technikami mobilnego GIS.

Referaty w grupie roboczej WG IV/7 były omawiane na 1 sesji technicznej (5 referatów) oraz prezentowane na 1 sesji posterowej (12 postery). Dominująca tematyka tej grupy roboczej to:

- wykorzystanie fotogrametrii radarowej do kartowania planet układu słonecznego,
- tworzenie precyzyjnego DEM planet i automatyczna redukcja szumów,
- zastosowanie obrazów stereoskopowych z systemu HiRISE do tworzenia mapy topograficznej Marsa,
- synergia danych (obrazy panchromatyczne + radarowe) w procesie kartowania planet,
- podsumowanie czteroletniego stosowania systemu HRSC do kartowania planety Mars i innych planet układu słonecznego,

Referaty w grupie roboczej WG IV/8 były omawiane na 1 sesji technicznej (5 referatów) oraz prezentowane na 1 sesji posterowej (11 postery). Dominująca tematyka tej grupy roboczej to:

- automatyzacja procesów przetwarzania danych radarowych (RadarSAT-2) w systemach monitorowania środowiska naturalnego,
- zastosowanie danych obrazowych do wspomagania procesów decyzyjnych,
- tworzenie systemów prognozowania sytuacji zagrożeń naturalnych (powódź, tsunami itp.) na bazie analizy obrazów dostępnych w sieci,
- modelowanie danych obrazowych dla potrzeb zarządzania kryzysowego.

Referaty w grupie roboczej WG IV/9 były omawiane na 2 sesjach technicznych (10 referatów) oraz prezentowane na 1 sesji posterowej (61 postery). Dominująca tematyka tej grupy roboczej to:

- zastosowania systemów VHRS do zasilania bazy topograficznej typu 3D,
- aktualizacja map topograficznych w skali 1:25 000 na bazie IRS-P5 stereo,
- generowanie automatyczne NMT z obrazów VHRS,
- wykorzystanie baz danych do georeferencji satelitarnych danych obrazowych,
- budowa precyzyjnego DSM dla terenów zurbanizowanych na podstawie obrazów z cyfrowych kamer lotniczych,
- rozwój technologii TrueOrtho,
- automatyczna ekstrakcja danych wektorowych z zdjęć lotniczych i rejestracji LiDAR,
- aspekty techniczne i ekonomiczne pozyskiwania danych wektorowych w technice monoplotingu i stereoplotingu.

Tematyka sesji specjalnych była poświęcona najistotniejszym trendom w zakresie zasilania baz danych danymi obrazowymi oraz standaryzacji tego procesu. Bardzo aktualnym zagadnieniem była również problematyka udostępniania danych obrazowych w sieci Internet oraz technikach mobilnych.

W ramach sesji specjalnej **SS-2 Cyfrowy Świat - stan obecny i perspektywy**; został przedstawiony aktualny stan zaawansowania tworzenia „wirtualnych światów” w takich krajach jak: Japonia, Stany Zjednoczone, Australia czy Chiny. Zaprezentowano technologie wizualizacji i prezentacji tego świata w Internecie. Do tej grupy tematycznej należy zaliczyć prezentacje firmy Microsoft, która zamierza w okresie najbliższych 5 lat stworzyć cyfrowe modele 3000 miast na całym świecie. Omówiono pełne rozwiązanie technologiczne tego zamierzenia od procesu pozyskiwania zdjęć cyfrowych kamerą UltraCam-X, procesu automatycznego przetwarzania w celu utworzenia modelu o rozdzielczości terenowej 15 cm i udostępnianiu go w Internecie. Już obecnie możemy wirtualnie przemieszczać się po tak utworzonych modelach głównie miast amerykańskich.

Artykuły i wystąpienia w ramach sesji specjalnej **SS - 3 Kierunki rozwoju systemów udostępniania informacji w sieci (SDI)** są głównie poświęcone następującej tematyce:

- stan zaawansowania budowy europejskiej infrastruktury informacji przestrzennej zgodnej z wymogami dyrektywy INSPIRE,
- nowe sposoby zarządzania i udostępniania obrazów w sieci,
- metodyka integracji i generalizacji geodanych dla dystrybucji w Internecie,
- budowa i rozwój globalnych systemów archiwizacji satelitarnych danych obrazowych,
- optymalizacja procesu zasilania rozproszonej baz GIS w sieci Internet.

W ramach sesji specjalnej **SS - 10 Standaryzacja w zakresie geoinformacji** przedstawiono aktualne zaawansowanie prac w zakresie opracowywania standardów ISO dla fotogrametrii i teledetekcji. Omówiono również wyniki prac w ramach EuroSDR

w zakresie kalibracji i certyfikacji lotniczych kamer cyfrowych oraz zaprezentowano propozycję modyfikacji i rozszerzenia standardu CityGML o atrybuty opisowe używanego do tworzenia modeli 3D miast.

W referatach i publikacjach prezentowanych w ramach sesji specjalnej **SS - 6 Zastosowanie geoinformacji do inwentaryzacji szkód wywołanych klęskami żywiołowymi** można wyróżnić następującą tematykę:

- monitorowanie obszarów objętych klęskami żywiołowymi metodami teledetekcji i GIS,
- budowa systemów wczesnego ostrzegania na bazie danych obrazowych (wykorzystanie systemu GEOSS),
- metody semi-automatyczne ortorektyfikacji obrazów satelitarnych do systemu monitoringu,
- synergia danych teledetekcyjnych i GIS do oceny i weryfikacji scenariuszy zagrożeń,
- prognozowanie zmian erozyjnych terenu na podstawie klasyfikacji teledetekcyjnej.

Problematyce efektywności wykorzystania wysokorozdzielczych systemów satelitarnych była poświęcona sesja specjalna **SS - 17 Potencjał informacyjny systemów VHRS do zasilania baz danych**. Do głównych tematów poruszanych w tej sesji należy zaliczyć:

- zastosowanie obrazów Spot 5 do aktualizacji map topograficznych w skali 1:50000,
- przegląd zastosowań fotogrametrycznych i teledetekcyjnych do aktualizacji baz danych o szczegółowości tradycyjnych map 1:50 000 i 1:25 000,
- narodowy plan aktualizacji bazy danych topograficznych 1:50 000 w Chinach,
- georeferencja obrazów VHRS w oparciu o liniowe elementy bazy danych (sieć drogowa),
- możliwość geokodowania na podstawie obrazów Spot bez osnowy terenowej.

Publikacje prezentowane na sesji specjalnej **SS -14 Cyfrowa olimpiada** omawiały wykorzystanie technik fotogrametrycznych i teledetekcyjnych do organizacji olimpiady letniej w Pekinie. Na bazie danych obrazowych stworzono aplikację GIS wspomagającą organizatorów w budowie systemu bezpieczeństwa tej imprezy. Utworzono również system informacyjny na bazie aplikacji Google. Prezentowano także fotogrametryczne rozwiązania technologiczne w zakresie wspomagania procesu treningu zawodników chińskich.

Przedstawiona charakterystyka tematyki poruszanej w ramach grupy roboczej IV na kongresie ISPRS w Pekinie ma charakter ogólny. Autor tej publikacji ma nadzieję, że ten przegląd pozwoli osobom zainteresowanym konkretną problematyką na łatwiejsze jej wyszukanie spośród ogromu publikacji, które zostały zawarte w materiałach kongresowych.

3. REZOLUCJE I POSTANOWIENIA KONGRESU W ZAKRESIE DZIAŁALNOŚCI KOMISJI IV

Rezolucje dotyczące IV komisji zawierają ogólne spostrzeżenia oraz rozpoznanie koniecznych dalszych badań w pięciu następujących obszarach tematycznych:

(1) Przestrzenno - czasowe modele danych i baz danych obrazowych

Spostrzeżenia:

- zwiększająca się potrzeba na modele danych dla kompleksowego wsparcia i stałego zbierania i aktualizacji danych,

- znaczne zwiększenie pozyskiwania danych obrazowych o wysokiej rozdzielczości przestrzennej, spektralnej i czasowej, połączonych z archiwami zobrazowania historycznego,
- dostępność takich obrazów jako geograficznie zorganizowanych sieciowych reprezentacji 'Digital Earth' i obrazów dynamicznych połączonych z globalnymi archiwami wiedzy;

Kierunki koniecznych badań:

- ogromny potencjał wysokorozdzielczych obrazów dla automatycznego generowania, oczyszczania i zarządzania aktualizowanymi geoprzestrzennymi bazami danych,
- potrzeba zwiększenia stopnia automatyzacji w przetwarzaniu 3D i 4D geoprzestrzennych danych w celu wykorzystania pełnych zalet obrazów,
- potrzeba stałego monitorowania powierzchni Ziemi dla lepszego uporania się ze zmianami klimatycznymi, wpływami ludzkimi, chorobami zakaźnymi, oraz innymi społecznymi problemami i środowiskowymi wyzwaniami;

Rekomendacje:

- zwiększenie badań stosując wysokorozdzielcze obrazy dla aktualizacji baz danych referencyjnych,
- rozwój modeli dla wydajnego zarządzania informacją przestrzenno-czasową,
- rozwój innowacyjnych metod dla tworzenia, indeksowania i analizowania przestrzenno-czasowych obrazowych baz danych, włączając uzyskiwanie przestrzennych danych poprzez analizy obiektowe obrazu i źródła zewnętrzne.

(2). Reprezentacja geoprzestrzennych danych oraz wizualizacja i analiza kontekstowa

Spostrzeżenia:

- zwiększenie zainteresowania w badaniach dotyczących koncepcyjno/semantycznych aspektów nauk informacyjnych dla budowania rzeczywistych 3D i 4D geobaz danych,
- zauważalny postęp w geowizualnej analityce, oprogramowaniu i sprzęcie dla przetwarzania, zarządzania, wizualizacji i analizy obszarów lądu, oceanu, atmosfer i modeli miast,
- ogromne zainteresowanie procesami planetarnymi, które bazują na ponadziemskim mapowaniu;

Kierunki koniecznych badań:

- potrzeba stosowania konceptów geoprzestrzennej nauki informacyjnej dla reprezentacji danych,
- kontekstowa wizualizacja i analiza ziemskiego i planetarnego krajobrazu, mórz i modeli atmosferycznych,
- konieczność tworzenia międzyoperacyjnych standardów w celu poparcia rozwoju wszystkich graficznych urządzeń interfejsu (GDI),
- ostatnie trendy w geotechnologii dla usług w zakresie kontekstowego lokalizowania i poruszania się obiektów;

Rekomendacje:

- zwiększyć badania w zakresie 3D/4D modelowania i reprezentacji zjawisk dynamicznych (tj. 4D fizycznych procesów, wpływu wiatru, zanieczyszczeń i tp.), związanych z ziemsko planetarnymi powierzchniami i obiektami (naturalnymi i tworzonymi przez człowieka),

- stałe badania w zakresie zarządzania 3D/4D danymi oraz sposobami ich modelowania dla wizualizacji i analizy dynamicznej i kontekstowej.

(3). Integracja i harmonizacja heterogenicznych danych

Spostrzeżenia:

- zwiększenie rangi danych geoprzestrzennych jako powszechnej bazy dla integrowania odmienności i heterogenicznych danych z różnych źródeł i dyscyplin,
- zwiększenie potrzeby na geoprzestrzenne dane w czasowo krytycznych zastosowaniach, takich jak, usługi ratunkowe w niebezpieczeństwach, choroby zakaźne, etc,
- zwiększenie geotechnologii i geoinformacji dla szerokiego zakresu zastosowań, począwszy od badania wnętrza budynków, a skończywszy na badaniach globalnych Ziemi i planet;

Kierunki koniecznych badań:

- potrzeba zwiększenia poziomu automatyzacji przetwarzania geoprzestrzennych danych w celu pełnego wykorzystania zalet obrazów i danych przestrzennych Ziemi i innych planet,
- potrzeba lepszego zarządzania i analizy wszystkich typów danych,
- potrzeba pełnego zrozumienia nowych koncepcji nauk informacji geoprzestrzennej w celu zastosowania tych koncepcji w praktycznych pracach;

Rekomendacje:

- koordynacja z Komisją II w zakresie rozwoju ontologii w różnych dziedzinach,
- harmonizacja źródeł danych, w szczególności obrazów, CAD, AEC, informacji z modelowania budynków (BIM), danych topograficznych i biologiczno/fizycznych dla globalnych procesów w kooperacji z Komisją II.

(4). Integracja i harmonizacja heterogenicznych danych

Spostrzeżenia:

- zwiększająca się świadomość, a także zapotrzebowanie na informację geoprzestrzenną ze strony urzędów państwowych, przemysłu, uczelni i społeczności,
- ostatnie postępy w zakresie integracji zobrazowania, danych GIS i danych terenowych dla wirtualnych obiektów rozproszonych w sieci,
- zwiększone zapotrzebowanie na otwarte i geoprzestrzenne standardy przez profesjonalnych sprzedawców,
- w pełni rozwinięte systemy zarządzania geoprzestrzennymi danymi,
- postępy w cyber-infrastrukturalnych sieciach i technologiach komunikacyjnych;

Kierunki koniecznych badań:

- rozwój działań na poziomie narodowym i międzynarodowym w zakresie harmonizacji danych geoprzestrzennych i konstruowania cyber-infrastruktury danych przestrzennych takich inicjatyw jak: GMES, INSPIRE, UNSDI i Digital Earth,
- zwiększenie świadomości i międzynarodowego wysiłku do koordynacji w zakresie systemu globalnego monitorowania Ziemi oraz inicjatyw takich jak: GEOSS,

- międzynarodowe inicjatywy dla standaryzacji usług, systemu architektonicznej i geoprzestrzennej informacji, takich jak tych z ISO lub OGC;

Rekomendacje:

- wkład w kierunku międzynarodowych poczynań takich jak INSPIRE, GMES, UNSDI, Digital Earth i w zakresie standaryzacji geoprzestrzennej informacji (np. ISO, OGC),
- dalszy rozwój server-based, location-based, internet, dystrybujących architekturę dla geoprzestrzennych serwisów i analiz,
- intensyfikacja badań nad systemami wiedzy w z zakresie ułatwienia przesyłania danych z centrali do ośrodków wykorzystujących te dane.

(5). Sieci Geo-sensorowe

Spostrzeżenia:

- zwiększająca się dostępność małych sensorów do pozyskiwania i analizy danych przestrzennych na drodze współpracy,
- zwiększona dojrzałość takich sensorowych sieci w zakresie zasilania bateriami, komunikacji i miniaturyzacji,
- zwiększone zainteresowanie w monitorowaniu, w czasie rzeczywistym, zjawisk dynamicznych i poruszających się obiektów;

Kierunki koniecznych badań:

- możliwości potencjalne takich sensorowych sieci do rozwiązania odpowiednich geoprzestrzennych problemów,
- potrzeba lepszego zrozumienia różnych aspektów geosensorowych sieci w celu pełniejszego ich wykorzystania;

Rekomendacje:

- badanie geosensorowych sieci, włączając ich użycie w scenariuszach dynamicznych;
- badanie wydajnych sposobów dla wizualizacji i analizy wyników niekonwencjonalnych strumieni danych,
- badanie modeli danych dla dynamicznego zarządzania, analizy i przetworzenia danych sensorowych.

4. LITERATURA

Artykuły Komisji IV Archiwum XXI Międzynarodowego Kongresu Fotogrametrii i Teledetekcji, lipiec 20008, Pekin.

Rezolucje Kongresu zatwierdzone przez Zgromadzenie Ogólne ISPRS – 9 lipiec 2008 r.

dr inż. Ryszard Preuss
e-mail: ryszard.preuss@wp.pl
telefon: 601-143-570, (22) 234 6794

BADANIE DYSPERSJI MAŁYCH OBIEKTÓW DLA POTRZEB MORSKICH SYSTEMÓW GEOINFORMATYCZNYCH

EXAMINATION OF DISPERSION OF SMALL OBJECTS FOR THE NEEDS OF MARINE GEOINFORMATIC SYSTEMS

Marek Przyborski

Studium Szkolenia Ogólnomorskiego, Akademia Marynarki Wojennej

SŁOWA KLUCZOWE: dyspersja obiektów, turbulencja, SAR

STRESZCZENIE: Turbulentne mieszanie płynów i gazów jest wszechobecne w naturze. Jest ono podstawą wielu procesów technologicznych, determinuje rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń oraz przemieszczanie się pyłków roślinnych jak również zachowanie się tak złożonych systemów jak atmosfera ziemska czy też oceany. Jednym z najbardziej podstawowych elementów turbulentnego mieszania płynów jest separacja dwóch sąsiednich elementów. Artykuł przedstawia wyniki badań dyspersji małych obiektów na powierzchni wzburzonego morza. Badania tego typu dają bardzo istotną informację z punktu widzenia osoby planującej przeprowadzenie akcji ratunkowej na morzu. Uzyskane wyniki potwierdzają potrzebę wykorzystania tego typu danych w morskich systemach geoinformatycznych pracujących w polskim ratownictwie okrętowym.

1. WPROWADZENIE

Turbulencja jest zjawiskiem powszechnym w otaczającym nas świecie. Mamy z nią do czynienia gdy mieszamy kawę do której dolaliśmy śmietankę jak również obserwując nieustawicznie zmieniającą się pogodę za oknem i pędzące po niebie chmury. Patrząc na sztormowe wzburzone morze również mamy do czynienia z chaotycznym mieszaniem mas wody. Badania nad zjawiskiem turbulencji są szeroko prowadzone na świecie od wielu lat jednakże nadal nie dały jednoznacznej odpowiedzi na pytanie jaki mechanizm daje początek temu zjawisku oraz jak ono przebiega i w jaki sposób można je przewidywać. Obecnie naukowcy są w stanie doświadczalnie weryfikować długo znane teorie jednakże droga do pełnego zrozumienia fenomenu turbulencji jest jeszcze bardzo daleka. Turbulencja jest odpowiedzialna za wiele zjawisk zachodzących w procesach technologicznych, determinuje rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń w atmosferze i wodzie.

Na spokojnej powierzchni płynu dyspersja dwóch sąsiednich obiektów jest zdominowana przez zjawisko dyfuzji. Obiekty poruszają się zgodnie z ruchem Browna, i średnio kwadratowa separacja pomiędzy nimi rośnie liniowo w czasie. W przepływie turbulentnym z jakim mamy do czynienia obserwując powierzchnię morza w czasie sztormu, jeżeli odległość pomiędzy obiektami na tej powierzchni jest mniejsza niż wielkość największych wirów w tym przepływie, wówczas obiekty te będą oddalały się szybciej. W przypadku większych odległości oraz czasu separacji, lokalne korelacje

odpowiedzialne za superdyfuzyjną separację nie będą dłużej obecne, stąd też uśredniając relatywna dyspersja nadal będzie liniowa w czasie.

2. SFORMUŁOWANIE PROBLEMU BADAWCZEGO

Fundamentalnym składnikiem turbulentnego mieszania płynów jest separacja dwóch sąsiednich elementów płynu znana jako dyspersja par. Pomimo wielu lat naukowych poszukiwań nie znaleziono prostego i klarownego wytłumaczenia tego fundamentalnego aspektu zjawiska turbulencji. Jednym z najważniejszych pytań jest kwestia wpływu jaki na prędkość ruchu ma odległość początkowa pomiędzy analizowanymi cząsteczkami płynu. Znaczny postęp w tej dziedzinie został poczyniony przez zespół prof. Eberharda Bodenschatza z Max-Planck Institut for Dynamics and Self-Organization w Getyndze, któremu udało się przeprowadzić doświadczenie [1,2] podczas ktorego rejestrowane były trasy poruszania się małych elementów imitujących cząsteczki płynu. Uzyskane rezultaty odpowiadały przewidywaniom opartym na prawie Batchelora [4], jednakże nie zaobserwowano prawa Richardсона-Obukova[3]. Pozostaje nadal otwartym pytanie jak wyglądałaby sytuacja w przypadku innego niekontrolowanego środowiska jakim może być na przykład powierzchnia wzburzonego sztormem morza. Zrozumienie mechanizmów kierujących tym procesem zaowocowałoby znacznym postępem w walce z wyciekami substancji szkodliwych w rejonach przybrzeżnych, usprawniłoby również proces przygotowywania i prowadzenia operacji ratowniczych na morzu. W przypadku zaistnienia katastrofy morskiej należy liczyć się z rozbitkami, którzy znajdują się w wodzie. W tak złożonej sytuacji trudno zachować przytomność umysłu i postępować zgodnie z instrukcjami, zatem istnieje duże prawdopodobieństwo, że będą oni luźno porozrzućani na powierzchni morza. Określenie w jakim stopniu ich początkowy rozrzut będzie miał wpływ na trajektorie ruchu poszczególnych rozbitków będzie miało decydujące znaczenie dla powodzenia akcji ratowniczej, czyli uratowania życia ludzkiego.

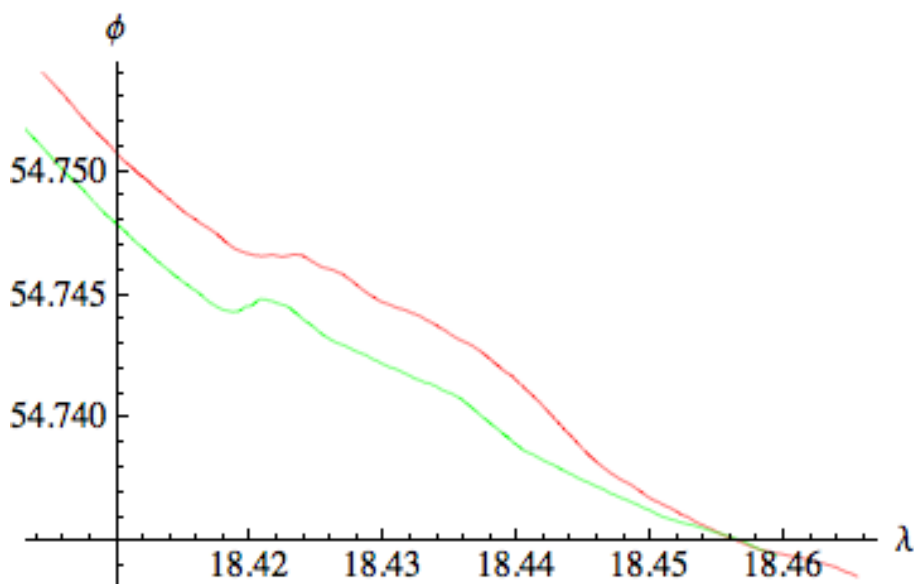
3. METODYKA BADAŃ

Jako baza wyjściowa do badań separacji małych obiektów na powierzchni morza posłużą pomiary zrealizowane w ramach projektu badania prądów powierzchniowych w rejonach zatoki puckiej, gdańskiej oraz ławicy słupskiej oraz projektu dotyczącego separacji małych obiektów. Podstawą systemu pomiarowego stworzonego w tym celu są boje pomiarowe, które drogą radiową transmitują swoją pozycję do centrum odbiorczego, w którym powstaje mapa obrazująca trasę poruszania się boi. System składa się z 5 takich urządzeń, które mogą być wykorzystywane jednocześnie, zatem istnieje aparatura pomiarowa zdolna do przeprowadzenia eksperymentu dotyczącego separacji małych obiektów na powierzchni morza. Boje pomiarowe wyposażone są w akumulatory umożliwiające pracę przez okres 5 dni. System monitoringu ruchu boi wykorzystuje telefonię GSM do transmitowania pozycji poprzez sieć internet do centrum odbiorczego. Wykorzystywany jest system stosowany do monitorowania ruchu pojazdów kołowych, bardzo ważną cechą tego rozwiązania która ułatwia prowadzenie badań jest fakt, iż dryftery mogą gromadzić dane o swoich pozycjach w przypadku utraty łączności z siecią i wysyłać całość zgromadzonych danych po odzyskaniu łączności. Jako element kontrolny wykorzystywana jest boja wyposażona w modem

radiowy jej pozycja śledzona jest na statku badawczym (który nie posiada łącza z internetem), dzięki czemu możliwe jest odnalezienie grupy dryfterów na powierzchni morza. Eksperymenty z „flotą” dryfterów są nadal prowadzone, a gromadzone dane posłużą do weryfikacji uzyskanych do tej pory wyników.

W trakcie prowadzonych eksperymentów zmierzono dyspersję obiektów znajdujących się na powierzchni sztormowego morza w następujących warunkach – stan morza 6 B, siła wiatru 8 B. Zarejestrowanych zostało 6 tras dryfterów. System ten został po raz pierwszy wykorzystany w celu określenia rozkładu prądów powierzchniowych w czasie realizacji projektu badawczego nr O T00A 013 28. Wyniki wówczas uzyskane wskazywały na ogromne znaczenie początkowego rozrzutu dryfterów na trasy ich poruszania się.

Przykład dwóch tras dryfterów równocześnie zarejestrowanych w trakcie wykonanych w nowym projekcie eksperymentów przedstawiony jest na rys. 1, rys. 2 oraz Rys. 3.

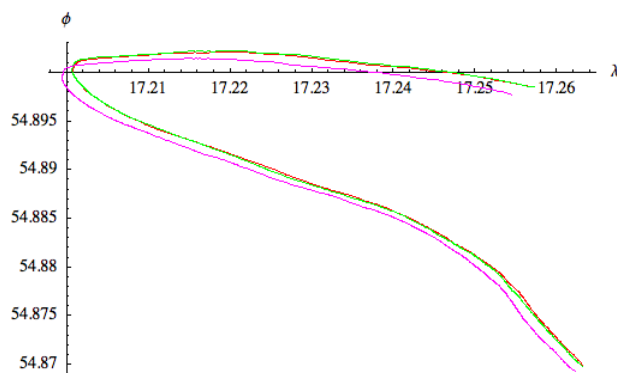


Rys. 1. Trasy dryfterów w trakcie jednego z eksperymentów

4. ANALIZA WYNIKÓW I DYSKUSJA

Analizując zgromadzone dane, badano ewolucję średnio-kwadratowej separacji pomiędzy dryfterami znajdującymi się na powierzchni morza. Superdyfuzja w przepływach turbulentnych znalazła swój początek w pracach Richardsona, który w roku 1926 zasugerował, iż powinna ona rosnąć z t^3 . Następnie wykorzystując elementy teorii Kołmogorowa, w 1941 Obukow stwierdził, iż w inercyjnym zakresie turbulencji jedynym znaczącym parametrem przepływu jest dysypacja na jednostkę masy ε , dyspersja par powinna rosnąć zatem jak $g\varepsilon^3$, gdzie g jest stałą uniwersalną. Batchelor w 1950 rozwinął tą teorię, przewidując zarówno, że średnio-kwadratowa

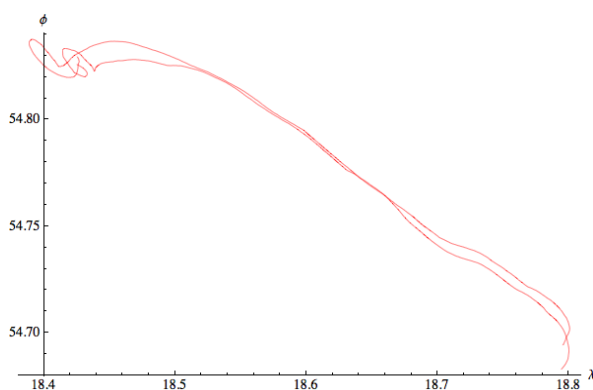
separacja powinna rosnąć z t^2 dla krótkich czasów oraz małej separacji początkowej. Definiując $\Delta_i(t)$ jako separację dwóch obiektów w czasie t wzdłuż koordynaty i i Δ_{0i} jako separację początkową pomiędzy dowolnymi małymi obiektami np: na powierzchni morza, Batchelor przewidział że, dla Δ_0 w inercyjnym zakresie uzyskujemy



Rys. 2. Trasy dryfterów w trakcie jednego z eksperymentów

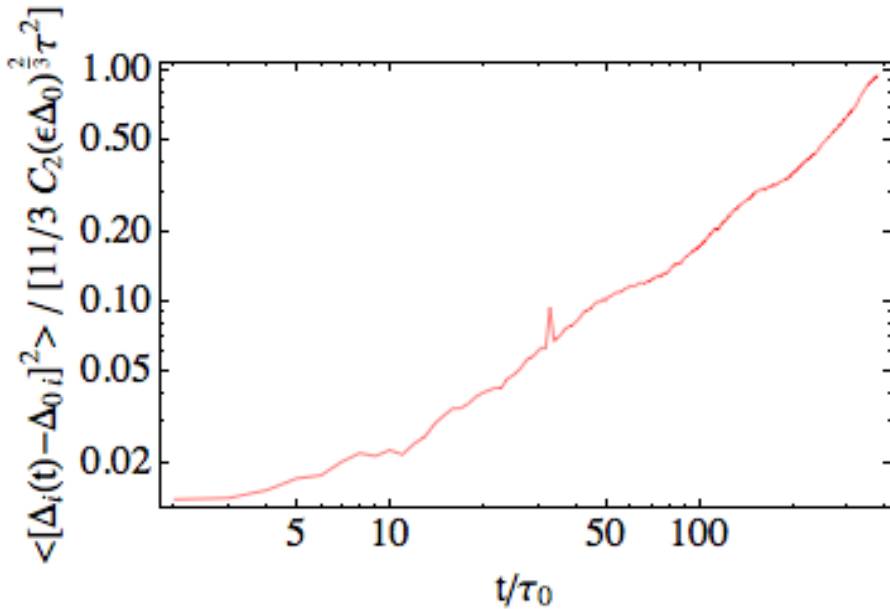
$$\langle [\Delta_i(t) - \Delta_{0i}]^2 \rangle = \frac{11}{3} C_2 (\varepsilon \Delta_0)^{2/3} t^2, \quad t < t_0 = \left(\frac{\Delta_0^2}{\varepsilon} \right)^{1/3}, \quad (1)$$

Gdzie C_2 jest uniwersalną stałą z wartością przybliżoną 2.13 [2]. Sumowanie jest wykonane poprzez powtarzalny index i . t_0 może być interpretowane jako czas po którym dwa elementy na powierzchni płynu pamiętają swoją względną prędkość, zakładając że poruszają się w tym samym wirze o wielkości Δ_0 .



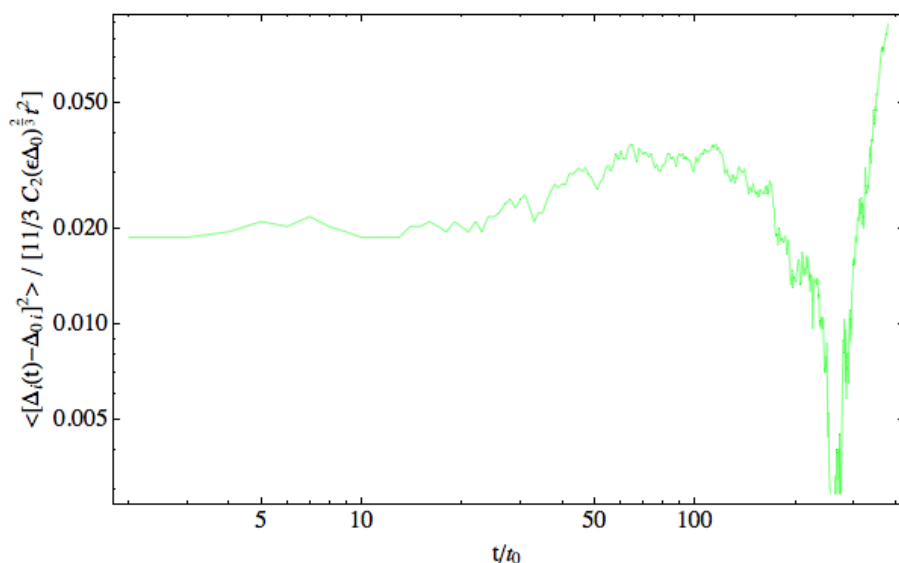
Rys. 3. Trasy dryfterów w trakcie jednego z eksperymentów

Aby rozróżnić skale Batchelora i Richardsona-Obukowa musimy dysponować dużym zakresem inercyjnym, który implikuje dużą separację pomiędzy czasem trwania wiru T_L a tzw. czasem Kołmogorowa τ_η . Aby osiągnąć tak szeroki zakres skal, poziom turbulencji musi być bardzo wysoki $R_\lambda \approx (T_L / \tau_\eta)$. Uzyskane wyniki w trakcie przeprowadzonych eksperymentów dotyczące relatywnej dyspersji obiektów w przepływie o wysokim poziomie turbulencji (powierzchnia wzburzonego sztormem morza) przedstawiono na rys. 4. Uzyskane wyniki układają się zgodnie z t^2 . Nie odnotowano zachowania przewidzianego przez Richardsona i Obukowa - t^3 . Należy podkreślić, iż wykres przedstawiony na rys. 4 nie jest dopasowaniem lecz rzeczywiście odzwierciedla wartości $(11/3)C_2(\varepsilon\Delta_0)^{2/3}t^2$.



Rys. 4. Ewolucja dyspersji średnio-kwadratowej pomiędzy dryfterami

Na Rys. 4 czas przedstawiony jest w jednostkach τ_η , dane dla różnych separacji początkowych odbiegają od prawa t^2 , jeśli natomiast przeskalujemy czas zgodnie z $t_0 = (\Delta_0^2 / \varepsilon)^{1/3}$ jak to przedstawiono na rys. 5



Rys. 5. Ewolucja dyspersji średnio-kwadratowej pomiędzy dryfterami dla czasu wyrażonego w jednostkach t_0

Wyniki dla każdej początkowej separacji odbiegają od przewidywań Batchelora począwszy od wartości około $100 t/t_0$.

5. WNIOSKI

Przedstawiony eksperyment z przepływem o wysokim poziomie turbulencji jest jednym z unikalnych osiągnięć jakie udało się dokonać zespołowi pracującemu nad projektami badawczymi dotyczącymi badań dynamiki środowiska morskiego. Przepływy turbulentne są jednymi z najbardziej dramatycznych zjawisk z jakimi mamy do czynienia na Ziemi. Obserwujemy je zarówno w ruchu płynnego jądra Ziemi jak i w zachowaniu naszej atmosfery, ich wpływ na wszystko co nas otacza jest dominujący. Względę o których wspomniano we wstępie dotyczące wiadomości priorytetowych dla organizowania akcji ratowniczych na morzu w dużej mierze zależą od wiedzy na temat separacji małych obiektów na powierzchni wzburzonego morza. Zaprezentowane badania i uzyskane wyniki potwierdzają znaczenie tego typu informacji na każdym etapie organizowania i przeprowadzania akcji ratunkowych na morzu. Bardzo ważnym następstwem przeprowadzonych badań jest stwierdzenie, że początkowa separacja wpływa na rozprzestrzenianie się dwóch sąsiednich obiektów na powierzchni morza w każdych warunkach pogodowych. Uzyskane rezultaty są efektem wykorzystania systemu dryfterów, dzięki któremu możliwe się stało zgromadzenie tak unikalnego materiału. Dalsze prace zespołu będą się również skupiały na unowocześnianiu i rozbudowie posiadanych boi pomiarowych.

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

6. LITERATURA

OTT, S. & MANN, J. 2000. An experimental investigation of the relative diffusion of particle pairs in three-dimensional turbulent flow. *J. Fluid Mech.* 422, 207-223.

SREENIVASAN, K. R. 1995. On the universality of the Kolmogorov constant. *Phys. Fluids* 7, 2778-2784.

HEPPE, B. M. O. 1998. Generalized Langevin equation for relative turbulent dispersion. *J. Fluid Mech.* 357, 167-198.

EXAMINATION OF DISPERSION OF SMALL OBJECTS FOR THE NEEDS OF MARINE GEOINFORMATIC SYSTEMS

KEY WORDS: pair dispersion, turbulence, SAR

Summary

Turbulent mixing of liquids and gases is ubiquitous in nature. It is the basis of all industrial fluid mixing processes, and determines the spread of pollutants or bioagents in the atmosphere and oceans. A fundamental component of turbulent mixing is the separation of two adjacent fluid elements, *i.e.*, a pair dispersion. Despite of years of intense scientific inquiry, no clear understanding of this fundamental aspect of turbulence has emerged. One critical unresolved question is the extent to which the initial separation of the fluid particles influences their subsequent motion.

dr inż. Marek Przyborski
e-mail: marekprzyborski@gmail.com

PORÓWNANIE JAKOŚCI RADIOMETRYCZNEJ ZDJEĆ LOTNICZYCH WYKONANYCH KAMERĄ ANALOGOWĄ I CYFROWĄ

COMPARISON OF RADIOMETRIC QUALITY OF IMAGES TAKEN WITH ANALOGUE AND DIGITAL CAMERAS

Krystian Pyka

Katedra Geoinformacji, Fotogrametrii i Teledetekcji Środowiska, AGH

SŁOWA KLUCZOWE: szum, falki, dekompozycja obrazu, jakość radiometryczna, wariancja

STRESZCZENIE: Dla potrzeb badań zebrano materiał składający się z par zdjęć zarejestrowanych kamerą analogową (LMK1000) i cyfrową (DMC). Było to zdjęcia wyselekcjonowane z wykonanych uprzednio prac fotolotniczych, przy czym materiał dobierano tak, aby w miarę możliwości porównywać zdjęcia wykonane w podobnym okresie wegetacyjnym i posiadające zbliżoną rozdzielczość geometryczną. Na zdjęciach wybierano fragmenty o jednolitym użytkowaniu terenu, np. budynki, parkingi, pola, lasy. W ten sposób zgromadzono materiał badawczy liczący 25 par obrazów o rozmiarach 1024 x 1024 pikseli. Jako metodę badań jakości radiometrycznej obrazów wybrano analizę ich transformat falkowych. Na podstawie analizy równania zachowania wariancji względnej stwierdzono następujące prawidłowości: (1) w obrazach z kamery cyfrowej względna wariancja detali sukcesywnie rośnie wraz ze wzrostem poziomu dekompozycji, (2) w obrazach z kamery analogowej względna wariancja maleje pomiędzy 1. i 2. poziomem rozdzielczości a potem powoli rośnie lub jest stabilna. Sukcesywny wzrost wariancji detali, obserwowany dla obrazów z kamery cyfrowej, świadczy o bardzo niskim poziomie szumów przypadkowych. Z kolei niestabilne zmiany wariancji dla obrazów z kamery analogowej dowodzą wysokiej zawartości szumów.

1. WPROWADZENIE

Od kilku lat kamery cyfrowe sukcesywnie zastępują kamery analogowe, stosowane dotąd w fotogrametrii lotniczej. Oczywiście zaletą kamer cyfrowych jest wyeliminowanie z procesu technologicznego etapu skanowania zdjęć. Producenci kamer cyfrowych zapewniają, że - w stosunku do skanowanych materiałów analogowych - obrazy cyfrowe rejestrowane bezpośrednio posiadają znacznie lepszą jakość radiometryczną.

Jakość radiometryczna obrazu to pojęcie, które nie zostało do tej pory jednoznacznie zdefiniowane. Jeśli za podstawowe zadanie teledetekcji uznamy rekonstrukcję promieniowania elektromagnetycznego pochodzącego od rejestrowanych obiektów, wówczas miarą jakości radiometrycznej jest stosunek luminancji energetycznej obiektów do natężenia napromienienia, jakie mierzy detektor. W metodach ilościowych dąży się do znalezienia funkcji wiążącej te energie. W metodach jakościowych nie jest istotna bezwzględna wartość mierzonego promieniowania a zachowanie wzajemnych relacji jasności pomiędzy detalami obiektów, odwzorowanych w obrazie. Przy fotogrametrycznym pomiarze szczegółów

terenowych, zarówno manualnym jak i automatycznym, interpretacja detali ma charakter jakościowy – umiemy je wskazać lub wykryć bo posiadają autonomiczne cechy widoczne dzięki różnicom jasności w stosunku do otoczenia.

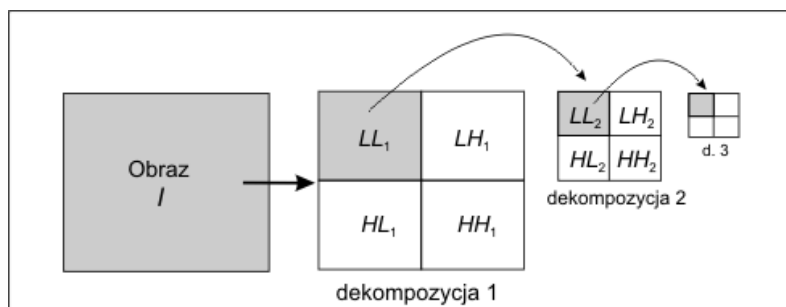
Dla potrzeb fotogrametrycznych wystarczy operować pojęciem wewnętrznej jakości radiometrycznej obrazu, zdefiniowanym następująco: jest to właściwość obrazu polegająca na szczegółowości odwzorowania lokalnych zmian napromienienia rejestrowanego przez system obrazowania przy jednoczesnym zachowaniu continuum jasności obrazu, adekwatnym dla odwzorowanej sceny (Pyka, 2005).

Lista elementów kształtujących wewnętrzną jakość radiometryczną obejmuje co najmniej: kontrast lokalny obrazu, rozpiętość tonalną, szum przypadkowy i rozdzielczość radiometryczną (Pyka, 2005). W pracy skupiono się na jedynie na analizowaniu zawartości szumów losowych w obrazach cyfrowych uzyskanych w sposób pośredni (fotografowanie na materiale srebrnym i skanowanie) i bezpośredni (kamera cyfrowa).

Praca stanowi kontynuację badań nad przydatnością dekompozycji falkowej obrazu do formułowania wskaźników wewnętrznej jakości radiometrycznej. W stosunku do poprzednich publikacji poświęconych tej tematyce (Pyka, 2005), (Pyka, 2007), niniejsza praca koncentruje się na wykorzystaniu równania zachowania wariancji falkowej do porównawczej analizy zawartości szumów losowych. Artykuł rozszerza badania przedstawione w (Pyka, 2008) o analizy komponentów R,G,B.

2. HIPOTEZA BADAWCZA

Na wstępie zostanie przypomniana idea falkowej dekompozycji obrazu. Matematyczne podstawy transformacji falkowej obrazu podał Mallat (1998). Polega ona na częstotliwościowo-przestrzennej dekompozycji obrazu na cztery składowe, z których pierwsza jest nazywana składową zgrubną (LL), a pozostałe to tzw. detale: pionowy (LH), poziomy (HL) i diagonalny (HH). Wykorzystanie falkowej reprezentacji obrazu do oceny jakości radiometrycznej obrazu po raz pierwszy zaproponował Simoncelli (1996, 1999), który zauważył, że rozkład współczynników falkowych komponentów detalicznych wykazuje ostre maksimum w zerze i dobrą symetrię, natomiast spłaszczenie histogramu jest skorelowane z obecnością szumów w obrazie.



Rys. 1. Klasyczny schemat dekompozycji falkowej obrazu

Pyka (2005) potwierdził hipotezę Simoncellego i zaproponował, aby jako parametr opisujący kształt histogramów komponentów detalicznych stosować kurtozę (iloraz

momentu czwartego rzędu przez kwadrat wariancji). Propozycja została przetestowana poprzez badania licznych obrazów lotniczych i satelitarnych (Pyka 2005). Zauważono przy tym, że do analizy szumu obrazowego powinny być wybierane tylko takie fragmenty obrazu, w których nie występują obszary o naturalnej strukturze drobnoziarnistej. Konieczność pomijania miejsc drobnoziarnistych jest niewątpliwie wadą zaproponowanej metody detekcji szumów losowych. Jak wykazano w kolejnych badaniach (Pyka, 2008), lepszą metodą jest analiza równania zachowania wariancji względnej, prowadzona dla kilku poziomów dekompozycji. O niskim poziomie szumów świadczy stabilny wzrost wariancji detali jaki ma miejsce ze wzrostem poziomu dekompozycji. Wzrost ten nie jest zakłócony w przypadku drobnoziarnistej struktury obrazu (Pyka, 2008).

Jedną z fundamentalnych cech dekompozycji falkowej jest zachowanie energii obrazu (Mallat, 1998), z czego wynika także stałość wariancji obrazu, co można zapisać następująco (Pyka, 2005), (Pyka, 2008):

$$V(I) = V(LL_R) + \sum_1^R [V(LH_r) + V(HL_r) + V(HH_r)] \quad (1)$$

gdzie: $V(I)$ – wariancja obrazu I ,
 R – poziom dekompozycji (na rysunku 1 R wynosi 3),
 $V(LL_R)$ – wariancja komponentu zgrubnego LL dla dekompozycji R
 (ostatniej z rozważanych),
 $V(LH_r)$, $V(HL_r)$, $V(HH_r)$ - wariancje detali LH , HL , HH dla kolejnych
 dekompozycji od 1 do R .

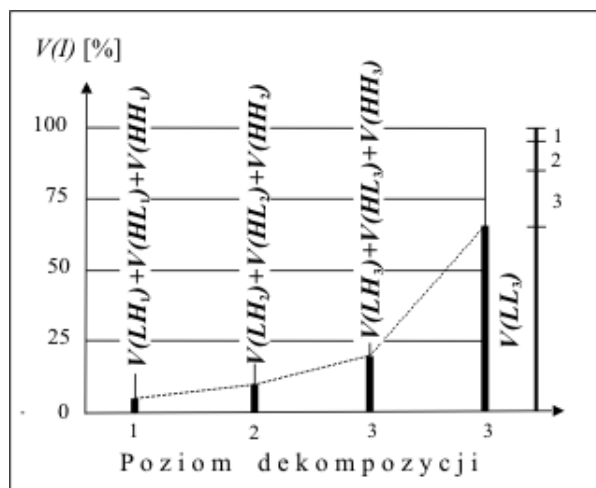
Po dokonaniu normalizacji równania (1), polegającej na podzieleniu obu stron przez $V(I)$, uzyskujemy następującą postać:

$$1 = \frac{V(LL_R)}{V(I)} + \frac{1}{V(I)} \sum_{r=1}^R [V(LH_r) + V(HL_r) + V(HH_r)] \quad (2)$$

Z równania (2) wynika, że podczas dekompozycji falkowej suma wariancji komponentów, normalizowanych wariancją obrazu, jest zawsze równa 1. Zasada ta zachodzi niezależnie od tego, na ilu poziomach dekomponujemy obraz.

Analiza równania (2) pozwala prześledzić, jak zmieniają się wariancje względne na kolejnych poziomach rozdzielczości. Zauważmy, że kolejne komponenty falkowe LL_r , LH_r , HL_r , HH_r cechuje dwukrotne (liniowo) zmniejszenie rozmiaru w stosunku do poprzedniej dekompozycji. Zwróćmy także uwagę, że schemat dekompozycji przedstawiony na rysunku 1 (teoretycznie istnieje wiele innych), zakłada sukcesywne rozkładanie komponentu zgrubnego. Kolejne komponenty zgrubne LL_1 , LL_2 , itd., są wygładzane, co wynika z faktu, że w odniesieniu do tych komponentów transformacja falkowa jest filtracją dolnoprzepustową (dla komponentów detalicznych zachodzi filtracja górnoprzepustowa). Podczas każdego wygładzania komponentu zgrubnego zanikają miejsca o słabych kontrastach a pozostają tylko te, w których kontrast jest wysoki. Silne kontrasty ulegają sukcesywnej progresji, gdyż równocześnie z filtracją zachodzi wspomniana diadyczna redukcja rozmiarów obrazu. Innymi słowy, kolejne komponenty zgrubne przenoszą mocne kontrasty a wygaszają słabe. W konsekwencji

wariancje względne detali powinny stopniowo rosnąć i taka sytuacja jest oczekiwana podczas analizy równania (2) na kolejnych poziomach rozdzielczości.



Rys. 2. Oczekiwany przebieg równania zachowania wariancji podczas dekompozycji falkowej

Powstaje pytanie czy opisana powyżej prawidłowość będzie zachowana dla obrazu obciążonego szumem losowym. W takim przypadku szumy powinny zawyżać wariancję na pierwszym poziomie rozdzielczości, co spowoduje, że będzie ona większa niż na następnym poziomie. Po kolejnej filtracji dolnoprzepustowej sytuacja powinna wrócić do oczekiwanej i wariancja powinna rosnąć. W przypadku bardzo silnego szumu zachwianie tendencji wzrostu wariancji może być kontynuowane dla większej liczby poziomów dekompozycji. Hipoteza ta była przedmiotem przeprowadzonych badań porównawczych, w których spodziewano się, że pomiędzy obrazami z kamery analogowej (poddanymi skanowaniu) i obrazami z kamery cyfrowej wystąpi istotna różnica w zawartości szumu losowego.

Transformację falkową cechuje tzw. jednorodność. Objawia się ona w tym, że transformatę falkową obrazu stanowiącego funkcję liniową innego obrazu (wyjściowego) można uzyskać wykonując to samo przekształcenie liniowe na komponentach falkowych obrazu wyjściowego. Zasada ta może być wykorzystana przykładowo do generowania transformaty obrazu luminancji na podstawie transformat falkowych komponentów R,G,B (bez konieczności uprzedniego utworzenia obrazu luminancji). Praktyczne sprawdzenie tej zasady było dodatkowym elementem badań opisanych w dalszej części.

3. MATERIAŁ I NARZĘDZIA BADAWCZE

Jako materiał badawczy wykorzystano zbiór obrazów tego samego terenu wykonanych kamerą LMK 1000 (Zeiss Jena) i DMC (Z/I Imaging), dostępny w archiwum firmy MGGP AERO. Zdjęcia z LMK były wykonane na filmie AGFA Aviphot Color X100 a do skanowania użyto DELTA SCAN (piksel 12 μm i 14 μm). Wybrano obrazy o zbliżonych rozmiarach piksela terenowego (ang. GSD) i wykonane w podobnym okresie wegetacyjnym (niestety w różnych latach).

Dla każdej pary zdjęć (LMK i DMC) zostały wybrane odpowiadające sobie fragmenty tak, aby zawierały tę samą treść. W miarę możliwości wybierano fragmenty o jednolitym użytkowaniu terenu, np. budynki, parkingi, pola, lasy. Dzięki temu obserwowano, jaki wpływ na transformację falkową ma rodzaj użytkowania terenu. W sumie do badań wybrano 25 fragmentów ze zdjęć w skali średniej (GSD 12-14 cm) i 9 ze zdjęć w skali małej (GSD 36-46 cm).

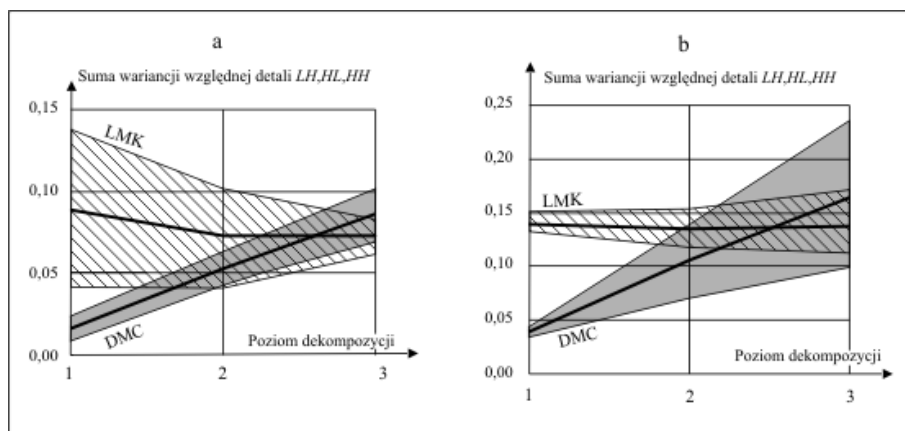
W transformacji falkowej zastosowano algorytm macierzowy z filtrami Coiflet-a 3. rzędu (Mallat, 1998). Dekompozycję realizowano przy pomocy procedur napisanych w środowisku R. Wybierane fragmenty miały wielkość 1024 x 1024 pikseli. Dodatkowo stosowano maskowanie kadrów w poszczególnych parach obrazów tak, aby zawierały one tę samą treść. Było to konieczne ze względu na różne rozmiary GSD obrazów z LMK i DMC.

W przypadku obrazów barwnych, jakimi dysponowano, dekomponować można albo poszczególne kanały R,G,B albo można ograniczyć się do wypadkowego obrazu luminancji. Wyniki badań wykonanych na obrazach luminancji opisano w (Pyka, 2008). W kolejnych, opisywanych w niniejszej pracy badaniach, zdecydowano skonfrontować analizy prowadzone tylko dla obrazu luminancji z analizami dla poszczególnych kanałów składowych. Spowodowało to zwielokrotnienie materiału badawczego, ale w zamian uzyskano możliwość wnioskowania o jakości składowych oraz zgromadzono materiał badawczy do praktycznego potwierdzenia jednorodności transformacji falkowej (opisanej w rozdziale 2).

4. WYNIKI BADAŃ

Najbardziej przejrzystą formą zestawienia wyników jest graficzne przedstawienie równania zachowania wariancji dla 3. badanych poziomów dekompozycji, gdyż szybko można stwierdzić, czy zachodzi podobieństwo do sytuacji oczekiwanej, pokazanej na rysunku 2. Duża ilość badanych obrazów nie pozwala na pokazanie wszystkich wykresów osobno. Jednakże okazało się, że bardzo łatwo można je podzielić na dwie grupy – jedną zgodną z zasadą systematycznego wzrostu wariancji a drugą z odstępstwem od tej zasady, zawsze wypadającym pomiędzy pierwszym a drugim poziomem rozdzielczości a czasami kontynuowanym dalej tj. do ostatniego z analizowanych poziomów. W pierwszej grupie mieściły się wszystkie obrazy z kamery DMC a w drugiej - z kamery LMK. Należy podkreślić, że ta prawidłowość nie napotkała na żadne odstępstwo, co w obliczu różnych skal badanych obrazów oraz fragmentów obrazujących różne krajobrazy jest mocnym potwierdzeniem innej reakcji zdjęć LMK i DMC na dekompozycję falkową.

Na rysunku 3 przedstawiono syntetyczne wyniki dla wszystkich badanych obrazów (dotyczy wypadkowych obrazów luminancji) z podziałem na zdjęcia w średniej i małej skali (odpowiednio część a i b rysunku 3). W obrazach z kamery cyfrowej względna wariancja detali rośnie wraz ze wzrostem poziomu dekompozycji – pokazuje to szara strefa na rysunku 3a i 3b, wewnątrz której mieściły się wyniki dla wszystkich przebadanych fragmentów zdjęć. Natomiast w przypadku obrazów z kamery analogowej względna wariancja maleje pomiędzy 1. i 2. poziomem rozdzielczości a potem albo powoli rośnie albo maleje do 3. poziomu (taka sytuacja wystąpiła głównie dla zdjęć małoskalowych, dla terenów zielonych). Pokazuje to strefa pokryta szrafują na rysunkach 3a i 3b, wewnątrz której mieściły się wyniki dla wszystkich przebadanych fragmentów zdjęć.

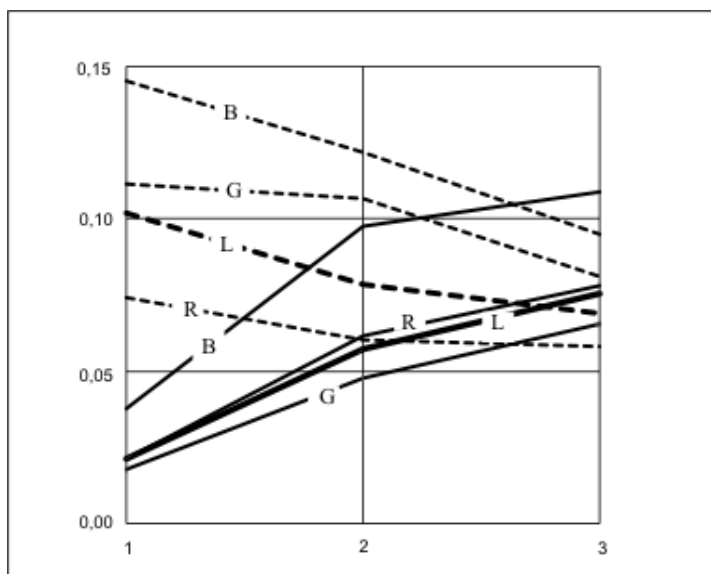


Rys.3. Syntetyczne wyniki analizy równania zachowania wariancji względnej dla obrazów w średniej (a) i małej skali (b)

Aby lepiej zaznaczyć zmiany wariancji dla kolejnych poziomów dekompozycji, na rysunkach 3a i 3b pokazano wytłuszczoną linią łamaną średnią tendencję zmian. Z teoretycznego punktu widzenia poprawniejszy jest rysunek 2, gdzie pokazano wartości wariancji względnej, mające charakter dyskretny a nie ciągły. Ponadto rysunki 3a i 3b nie zawierają (dla większej przejrzystości) wariancji komponentu zgrubnego, która wraz z wariancjami detali tworzy analizowane równanie (2).

Analogiczne do wyżej opisanych badania przeprowadzono dla składowych R,G,B wszystkich badanych obrazów. I w tym przypadku rezultaty poddają się łatwemu podziałowi na dwie grupy, odpowiadające kamerom LMK i DMC. Przebieg krzywych obrazujących równanie wariancji względnej składowych R,G,B jest zgodny z uzyskanym dla wypadkowych obrazów luminancji i potwierdza właściwość jednorodności transformacji falkowej. Na rysunku 4 przedstawiono wyniki dla jednego z badanych obrazów, które można uznać za reprezentatywne dla całej badanej populacji obrazów

w aspekcie wzajemnej relacji wariancji komponentów R,G,B (wybrany obraz LMK należy do podzbioru tych obrazów, dla których tendencja spadku wariancji utrzymuje się aż do 3. poziomu dekompozycji).



Rys. 4. Ilustracja równania zachowania wariancji względnej dla wybranej pary obrazów LMK (linie przerywane) i DMC (linie ciągłe); R,G,B – składowe, L - obraz luminancji

5. PODSUMOWANIE

Praca nie wyczerpuje problemu jakości radiometrycznej zdjęć lotniczych. Porównano zdjęcia wykonane kamerą LMK ze zdjęciami wykonanymi kamerą cyfrową DMC tylko w aspekcie zawartości szumów losowych. Pominięto inne elementy kształtujące jakość radiometryczną.

Analiza przebiegu równania wariancji względnej podczas dekompozycji falkowej okazała się skuteczną metodą wykrywania szumów losowych. O niskim poziomie szumów świadczy stabilny wzrost wariancji detali, jaki ma miejsce ze wzrostem poziomu dekompozycji. Metoda nie wykazuje korelacji z naturalną, drobnoziarnistą strukturą, co było wadą wcześniej stosowanej przez autora metody wykrywania szumów na podstawie kształtu rozkładu falkowych komponentów detalicznych.

Porównanie obrazów z kamery analogowej i cyfrowej potwierdziło ogromną różnicę w zawartości szumów przypadkowych na korzyść kamery cyfrowej, która zawiera ich zdecydowanie mniej. Taki wniosek był oczekiwany, gdyż bezpośrednia rejestracja cyfrowa eliminuje szereg źródeł szumów, jakie występują przy pozyskiwaniu obrazów cyfrowych na drodze skanowania zdjęć analogowych. W badaniach nie dociekano, co było przyczyną wysokiego zaszumienia zdjęć zarejestrowanych na materiale srebrnym i przekształconych do postaci cyfrowej na drodze skanowania. Na podstawie wniosków płynących z literatury wiadomo, że obok ziarnistości emulsji fotograficznej, obok uchybień w procesie wywoływania, prawdopodobnym źródłem szumów jest także skanowanie. Problem ten musiałby być rozstrzygnięty poprzez skanowanie tego samego zdjęcia na różnych skanerach. Również w stosunku do obrazów z kamery cyfrowej poczyniono pewne umowne założenia upraszczające. Jednym z nich było badanie obrazów przekształconych z 12-bitowego zapisu

oryginalnego do konwencjonalnego zapisu 8. bitowego. Ciekawa byłaby analiza szumów pomiędzy obrazami źródłowymi DMC a przetworzonymi (zastosowany algorytm falkowy umożliwia dekompozycję obrazów zapisanych na dowolnej liczbie bitrów). Autor przypuszcza, że transformacja falkowa może być także zastosowana do optymalizacji mapowania tonalnego jakie zachodzi przy transformacji sygnału z szerokiego zakresu dynamicznego kamery cyfrowej do zakresu 8. bitowego. W trakcie badań zauważono stosunkowo małą rozpiętość tonalną obrazów z DMC, znacznie mniejszą niż badane obrazy pochodzące z kamery LMK. Intrygująca jest także zauważona wielomodalność histogramów obrazów DMC. Są to problemy warte podjęcia w następnych badaniach.

Praca wykonana w ramach badań statutowych AGH 11.11.150.949/08

6. LITERATURA

Mallat S., 1998: *A Wavelet Tour of Signal Processing*. Academic Press, ISBN 0-12-466605-1.

Pyka K., 2005. Falkowe wskaźniki zmian radiometrycznych zachodzących w procesie opracowania ortofotomapy. UWND AGH Kraków, 2005.

Pyka K., 2007: Zastosowanie transformacji falkowej do detekcji i usuwania szumów z danych rastrowych i pseudo-rastrowych, *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, vol. 17.

Pyka K., 2008: The Use of Wavelets for Noise Detection in the Image Taken by the Analog and Digital Photogrammetric Cameras. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVII-B1.

Simoncelli E.P., Adelson E.H., 1996: Noise removal via Bayesian Wavelet Coding. *Proceedings of 3rd IEEE International Conference on Image Processing*, vol. I, pp. 379-382. Lausanne, Switzerland. 16-19 September 1996. IEEE Signal Processing Society, 1996.

Simoncelli E.P., 1999: Modeling the Joint Statistic of Images in Wavelet Domain. *Proc. SPIE 44th Annual Meeting*, vol. 3813 Denver, Colorado. July 1999

COMPARISON OF RADIOMETRIC QUALITY OF IMAGES TAKEN WITH ANALOGUE AND DIGITAL CAMERAS

KEY WORDS: Noise, Wavelets Transform, Decomposition, Radiometric Quality, Variance

Summary

A set of aerial images taken by two cameras, analogue (LMK 1000) and digital photogrammetric (DMC), was used to compare radiometric quality of images obtained. Pairs consisting of analogue and digital images showing corresponding fragments of identical contents were selected for comparisons. As far as possible, fragments showing homogenous land use, e.g. buildings, parking lots, fields, forests, were selected, which made it possible to observe how the land use affected the wavelet transform. A total of 25 and 9 fragments of medium- and small-scale images, respectively were subjected to comparisons. The fragments selected were 1024 * 1024 pixels in size.

The wavelet transformation was chosen as a method with which to compare radiometric image quality. Analysis of the equation for relative image variance preservation allowed to reveal the following patterns: (1) the relative variance of details in digital camera images was found to increase with the decomposition level, (2) the relative variance in analogue camera images was observed to decrease between the first and the second decomposition level.

In all the cases examined, the digital camera produced better parameters of noise evaluation. The DMC images contained several times less random noise than those taken with the analogue camera. The study confirmed that it was possible to define the noise content indicators by analysing the wavelet detail coefficients.

dr hab. Krystian Pyka
e-mail: krisfoto@agh.edu.pl
tel. 012 617 3826
fax: 012 617 3993

**DZIAŁALNOŚĆ I BADANIA KOMISJI V
„DETEKCJA BLISKIEGO ZASIĘGU: ANALIZY I APLIKACJE”
W ŚWIELE XXI KONGRESU ISPRS**

**COMMISSION V
"CLOSE RANGE SENSING: ANALYSIS AND APPLICATIONS"
- ACTIVITY AND RESEARCH IN THE LIGHT
OF THE 21st ISPRS CONGRESS**

Piotr Sawicki

Zakład Fotogrametrii i Teledetekcji, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

SŁOWA KLUCZOWE: sensor wizyjny, skaner laserowy, bliski zasięg, detekcja, analiza, aplikacja

STRESZCZENIE: Opracowanie przedstawia syntetyczne omówienie głównych kierunków i zakresu działalności w latach 2004-2008 Komisji Technicznej V „Detekcja bliskiego zasięgu: Analizy i aplikacje” Międzynarodowego Towarzystwa Fotogrametrii i Teledetekcji (ISPRS). W artykule przedstawiono tematykę badań oraz rozwiązań technicznych, które dotyczyły nowych sensorów, systemów, metod i technik pomiarowych oraz aplikacji bliskiego zasięgu. Omówiono wyniki prac naukowo-technicznych, które zaprezentowano w ramach XXI Kongresu ISPRS w Pekinie w 2008 r. i opublikowano (ogółem 189 prac) w cyklu wydawniczym Archiwum ISPRS, Vol. XXXVII, Part B5.

1. KOMISJA V – STRUKTURA ORGANIZACYJNA W LATACH 2004-2008

Komisja Techniczna V Międzynarodowego Towarzystwa Fotogrametrii i Teledetekcji (ISPRS) działała w kadencji 2004-2008 pod nazwą „Detekcja bliskiego zasięgu: Analizy i aplikacje” (*Close Range Sensing: Analysis and Applications*). Jej pracom przewodniczył prof. Hans-Gerd Maas z Instytutu Fotogrametrii i Teledetekcji Uniwersytetu Technicznego w Dreźnie. Komisja V swoją działalność realizowała w następujących 6. podstawowych grupach roboczych WG oraz dodatkowo w 3. międzykomisyjnych grupach roboczych ICWG, utworzonych we współpracy z Komisją I oraz Komisją III:

- WG V/1 – Przemysłowe wizyjne systemy metrologiczne i aplikacje.
- WG V/2 – Dokumentacja dziedzictwa kultury.
- WG V/3 – Naziemny skaning laserowy.
- WG V/4 – Rzeczywistość wirtualna (VR) i animacja komputerowa.
- WG V/5 – Rozwój technologii sensorów obrazowych.
- WG V/6 – Analiza obrazów medycznych, pomiar ruchu i ciała człowieka.
- ICWG V/I – Systemy zintegrowane dla mobilnej kartografii.
- ICWG I/V – Nawigacja autonomicznych pojazdów.
- ICWG III/V – Sekwencja obrazów.

2. KOMISJA V – DZIAŁALNOŚĆ W LATACH 2004-2008

Główny obszar aktywności Komisji V w latach 2004-2008, uwzględniając prace przedstawione podczas XXI Kongresu ISPRS w Pekinie (3-11.07.2008 r.), obejmował następującą problematykę naukowo-techniczną:

- Nowe cyfrowe sensory wizyjne oraz techniki ich kalibracji.
- Naziemny skaningu laserowy (TLS) i jego aplikacje.
- Integracja wielu sensorów w jeden hybrydowy system pomiarowy oraz łączenie danych z różnych sensorów.
- Algorytmy i systemy dla pomiarów *on-line* oraz w czasie rzeczywistym.
- Automatyzacja przetwarzania danych fotogrametrycznych i zaawansowana ekstrakcja informacji o obiektach.
- Technologia metrologii wizyjnej wspomagana systemami CAD/CAAD oraz systemami informacji przestrzennej.
- Metody fotogrametrii bliskiego zasięgu w przemyśle, robotyce, mobilnej kartografii, oraz w innych obszarach zastosowań technicznych.
- Systemy, techniki oraz aplikacje w rejestracji i dokumentowaniu dziedzictwa kultury.
- Techniki fotogrametryczne w aplikacjach medycznych i biometrycznych.
- Akwizycja danych 3D/4D w celu tworzenia aplikacji w środowisku rzeczywistości wirtualnej (VR), wizualizacji i animacji komputerowej.
- Procedury analizy sekwencji obrazów.

XXI Kongres ISPRS był odzwierciedleniem szerokiego zakresu prac badawczych i aplikacyjnych realizowanych w obszarze tematycznym związanym z działalnością Komisji V. Przedstawiono ogółem 189 prac (tabela 1), które zakwalifikowano do 7. tematycznych grup roboczych WG V/1÷V/6, ICWG V/I oraz dodatkowo do 1. sesji tematycznej ThS 14 („Kamery 3D”) i 3. sesji specjalnych SS 9 („Rejestracja dziedzictwa kultury i szlaku jedwabnego”), SS 16 („Techniki kalibracji naziemnych skanerów laserowych”), SS 19 („Rejestracja i dokumentacja Akropolu w Atenach – Od klasycznej, antycznej Grecji do współczesnej Olimpiady”). Zaprezentowane na kongresie prace naukowe i techniczne opublikowane zostały w cyklu wydawniczym Archiwum ISPRS Vol. XXXVII, Part B5. Prace międzykomisyjnej grupy roboczej ICWG I/V przyporządkowane zostały Komisji I (7 referatów opublikowano w Vol. XXXVII, Part B1), natomiast prace zaprezentowane w grupie ICWG III/V zostały opublikowane w Komisji III (9 referatów opublikowano w Vol. XXXVII, Part B3b).

Tabela 1. Liczba prac opublikowanych w Archiwum ISPRS Vol. XXXVII, Part B5

Grupa Robocza Sesja Th/SS	WG V/1	WG V/2	WG V/3	WG V/4	WG V/5	WG V/6	ICWG V/I	ThS 14	SS 9	SS 16	SS 19
Liczba prac	33	42	37	15	10	9	15	5	13	5	5

Poniżej, w kolejnych podrozdziałach, omówiona zostanie zasadnicza problematyka naukowo-badawcza realizowana w poszczególnych grupach roboczych Komisji V w latach 2004-2008 (ISPRS Highlights, 2005, 2006, 2007, 2008), ze szczególnym uwzględnieniem tematyki referatów (Archives ISPRS, 2008), które zaprezentowano w trakcie trwania XXI Kongresu ISPRS w Pekinie.

2.1. WG V/1 – Przemysłowe wizyjne systemy metrologiczne i aplikacje

W zakresie optycznych systemów metrologicznych i ich przemysłowych aplikacji zakres aktywności grupy roboczej WG V/1 obejmował następujące zagadnienia badawcze:

- Pasywne i aktywne systemy wizyjne w metrologii przemysłowej, automatyzacja w metrologii wizyjnej, inżynieria obrazowa.
- Systemy multisensoralne i hybrydowe.
- Kalibracja sensorów i systemów, szacowanie i weryfikacja dokładności, dyskusja nad standardami.
- Techniki pomiaru powierzchni o dowolnych kształtach, metody projekcji i oświetlenia (światło strukturalne, algorytmy oświetlenia).
- Systemy *on-line* oraz działające w czasie rzeczywistym, procesy dynamiczne o dużej częstotliwości i prędkości zmian.
- Maszynowe widzenie, przemysłowa kontrola jakości i robotyka przemysłowa.
- Integracja i modelowanie CAD/CAM, zastosowanie domeny wiedzy w automatyzacji.
- Określenie nowych obszarów aplikacji.
- Kooperacja z organizacją CMSC (*Coordinate Metrology Systems Conference*) i narodowymi/międzynarodowymi komitetami standaryzacji.
- Integracja producentów systemów i dostawców serwisu.

W ostatnich latach pojawiły się cyfrowe sensory wizyjne nowej jakości: sensory CCD/CMOS nowej generacji, wysokorozdzielcze *still-video* aparaty cyfrowe SLR (*Single Lens-Reflex Camera*) o matrycy 40 MP, wielkoformatowe sensory o rozdzielczości powyżej 100 MP, cyfrowe kamery wideo 1.5 MP. Powstały nowe konstrukcje sensorów: kamery 3D TOF (*Time-of-Flight*), typu SOC/COC (*System/Camera on Chip*), szybkie kamery cyfrowe (*High-Speed Cameras*), kamery „inteligentne” (posiadają wbudowany moduł przetwarzania danych) oraz cyfrowe systemy skanujące (*Line-Scanning Camera*), w tym kamery rotacyjne. Szybkie interfejsy transferu danych (*CameraLink*, karty *Ethernet Gigabit*) umożliwiły rozwój systemów *on-line* oraz działających w czasie rzeczywistym.

Automatyczna kalibracja wizyjnych sensorów cyfrowych jest możliwa przy zastosowaniu różnych strategii, np. przy użyciu płaskiego pola testowego (Douskos *et al.*, 2008) lub przy wykorzystaniu sztucznych sieci neuronowych (Kavzoglu, Karsli, 2008). W kalibracji i ocenie potencjału pomiarowego sensorów zastosowano błąd pomiaru długości (LME), jako podstawową miarę oceny dokładności (Rieke-Zapp *et al.*, 2008) lub dyskusyjną koncepcję średniego błędu RMS współrzędnych obrazowych (Fekete, Schrott, 2008). Ważny przedmiot badań stanowiła ewaluacja sprawności, dokładności i niezawodności optycznych systemów pomiarowych 3D (Li, 2008; Luhmann *et al.*, 2008; Rova *et al.*, 2008; Touminen, Niini, 2008).

Automatyczny pomiar stał się obecnie standardem w zastosowaniach przemysłowych, dzięki sygnalizacji obiektów odbijającymi światło punktami kodowanymi. Nową ideą jest zastosowanie barwnych kodowanych sygnałów i algorytmu do ich detekcji (Moriyama *et al.*, 2008). Powstały systemy hybrydowe, łączące różne sensory i techniki pomiaru (skaner laserowy, metoda projekcji prążków, GPS/INS), które znalazły zastosowanie przede wszystkim w metrologii wielkoskalowej.

Znaczący rozwój technologii sensorów wizyjnych określił z jednej strony nowe potrzeby w zakresie oprogramowania, metod przetwarzania fotogrametrycznych danych cyfrowych oraz technik kalibracji, z drugiej zwiększył potencjał nowych zastosowań.

2.2. WG V/2 – Dokumentacja dziedzictwa kultury

Działalność grupy roboczej WG V/2 koncentrowała się na zagadnieniach z zakresu fotogrametrii, teledetekcji i GIS, które znajdują zastosowanie w dokumentacji dóbr światowego dziedzictwa kultury. Jako główne zadania do realizacji zdefiniowano:

- Rozwój i integracja wizyjnych technik bliskiego zasięgu i systemów informacji przestrzennej w celu rejestracji, kartografii, modelowania 3D i wizualizacji struktur o architektonicznym znaczeniu oraz obiektów ważnych dla dziedzictwa kultury.
- Promocja innowacyjnych technologii i rozwój nowych produktów wspierających techniki zobrazowania, przetwarzanie danych, modelowanie, wizualizację, zarządzanie informacją w archeologii, architekturze i konserwacji.
- Integracja grafiki komputerowej z wizyjnymi technikami bliskiego zasięgu dla cyfrowej archiwizacji lub tworzenia wirtualnego (VR) muzeum.
- Rozwój i integracja zobrazowań bliskiego zasięgu z obrazami lotniczymi i satelitarnymi oraz systemy informacji przestrzennej w celu rekonstrukcji 3D i dokumentacji obszarów, zabytków oraz budowli o znaczeniu w dziedzictwie kultury.
- Rozwój strategii i rozwiązań w celu wieloletniego przechowywania i archiwizacji cyfrowych zobrazowań z zakresu dziedzictwa kultury.
- Rozwój tanich i szybkich technik dokumentacji i monitorowania dziedzictwa kultury.
- Rozwijanie we współpracy z pokrewnymi dyscyplinami standardowych procedur i produktów.
- Promocja i użycie technik internetowych, technik i animacji VR w celu propagowania dziedzictwa kultury.
- Bliska kooperacja z pokrewnymi dyscyplinami, narodowymi, międzynarodowymi, np. CIPA (*International Committee for Documentation of Cultural Heritage*) oraz regionalnymi organizacjami, jak również grupami roboczymi ISPRS.

Zakres problemów naukowo-technicznych w tej grupie roboczej obejmował badania i praktyczne prace w zakresie modeli matematycznych i algorytmów, pomiaru i przetwarzania danych, integracji różnych sensorów i łączenia danych, dokumentacji, modelowania i wizualizacji obiektów oraz integracji wyników opracowania ze środowiskiem systemów CAD/CAAD oraz GIS/SIP.

W dokumentacji dóbr dziedzictwa kultury światowej stosowane są współcześnie wszystkie nowoczesne fotogrametryczne i geodezyjne techniki pomiaru (Gruenkeimer, 2008). Naziemny skanowanie laserowe dostarcza danych 4D i jest bardzo często podstawowym źródłem danych (Baz *et al.*, 2008; Egglezos *et al.*, 2008; Grussenmeyer *et al.*, 2008; Kegin *et al.*, 2008; Kersten *et al.*, 2008). Następuje łączenie obrazów bliskiego zasięgu z wieloczasowymi i różnoskalowymi zdjęciami lotniczymi (Alamouri *et al.*, 2008; Zhu *et al.*, 2008;) oraz z wysokorozdzielczymi zobrazowaniami satelitarnymi (Külür, Sahin, 2008), które łączone są w środowisku systemu GIS (Lerma *et al.*, 2008; Mao *et al.*, 2008; Moullou *et al.*, 2008). Połączenie fotogrametrycznej akwizycji

cyfrowej z techniką skanowania laserem umożliwia kompleksową rejestrację i modelowanie obiektów (Chevier, Perrin, 2008), ortorektyfikację obrazów cyfrowych (Agnello *et al.*, 2008) oraz wielkoskalowych cyfrowych ortofotomap (Georgopoulos, Natsis, 2008). Integracja danych ze skaningu laserowego z pomiarami fotogrametrycznymi zapewnia kompletny NMT/NMPT (DTM/DSM) i ułatwia modelowanie 3D (D'Urso, Russo, 2008). Tanią i szybką rejestrację w celu monitoringu i archiwizacji zabytków jest zastosowanie kamer będących na standardowym wyposażeniu współczesnych telefonów komórkowych (Artese, Gencarelli, 2008).

W aplikacjach stosowane są nowoczesne metody kalibracji, algorytmy filtracji, automatycznego dopasowania obrazów (*matching*) (Artese, Gencarelli, 2008; Bujakiewicz *et al.*, 2008) oraz techniki teksturowania (El-Hakim *et al.*, 2008; Grün, Hanusch, 2008). Modelowanie (Hanke *et al.*, 2008; Paguet *et al.*, 2008; Remondino *et al.*, 2008; Tsingas *et al.*, 2008), w tym z zastosowaniem hierarchicznej techniki teksturowania powierzchni 3D (Marinov, 2008) oraz wizualizacja scen 3D wspomagana komputerowo (Duran, Aydar, 2008), stały się standardem w prezentacji wyników fotogrametrycznego opracowania obiektów architektonicznych i archeologicznych. Szczególnie dynamicznie rozwija się zastosowanie technik rzeczywistości wirtualnej VR (Bastanier *et al.*, 2008; Carra *et al.*, 2008; Salemi *et al.*, 2008; Takasa *et al.*, 2008) i rozszerzonej rzeczywistości AR (*Augmented Reality*) (Guo *et al.*, 2008) sprzężonych z systemem GIS. W wielu aplikacjach percepcję stereoskopowych obrazów scen 3D umożliwia wirtualny monitor typu HMD (*Head Mounted Display*).

2.3. WG V/3 – Naziemny skaning laserowy

Grupa robocza WG V/3 realizowała następujące zadania z zakresu techniki i aplikacji naziemnego skaningu laserowego (TLS):

- Automatyczne techniki orientacji sensora, łącznie z praktyczną oceną algorytmów rejestracji.
- Klasyfikacja sceny i ekstrakcja cech (współpraca z grupą WG III/3).
- Integracja danych TLS z innymi źródłami danych, szczególnie z zobrazowaniami wideo, w celu opracowania tekstury oraz z innymi sensorami do określenia elementów orientacji zewnętrznej.
- Modelowanie błędów systematycznych i rozwój procedur kalibracji.
- Wewnętrzne i zewnętrzne modelowanie w stosunku do sensora procesu pomiaru skanerem laserowym.
- Praktyczne aplikacje naziemnego skaningu laserowego w inżynierii, dziedzictwie kultury, leśnictwie i innych dziedzinach.
- Współpraca z zespołem zadaniowym FIG „Naziemny skaning laserowy w monitoringu deformacji” (FIG Task Force 6.1.5 „*Terrestrial Laser Scanning for Deformation Monitoring*”).

Pojawienie się naziemnego skaningu laserowego (TLS) stworzyło nowy wymiar aktywności Komisji V. Powstały nowe konstrukcje skanerów i metody ich kalibracji, nowe algorytmy opracowania danych: orientacji, automatycznej rejestracji chmur punktów, automatycznej segmentacji i ekstrakcji cech.

Wśród nowych konstrukcji pojawił się prototypowy naziemny skaner laserowy Riegl LPM-321, który umożliwia skanowanie na odległość do 4 km (Schwalbe *et al.*, 2008). Kalibracja parametrów geometrycznych skanera laserowego może bazować na pomiarze względnej odległości referencyjnej (Salo *et al.*, 2008). Kalibrację

radiometryczną intensywności odbicia przeprowadzono w oparciu o znane wartości odbicia punktów referencyjnych (Pfeifer *et al.*, 2008). Analizowane były też wartości intensywności odbicia od powierzchni z różnych materiałów (Voegtle *et al.*, 2008). Łączenie modelu geometrycznego pozyskanego z danych TLS, z danymi obrazowymi pozyskanymi kamerą wyposażoną w obiektyw typu „rybie oko” (*Fisheye*), pozwoliło na łączną kalibrację obu sensorów w jednym procesie blokowego wyrównania metodą wiązek (Schneider, Schwalbe, 2008).

Automatyczny tryb pomiaru jest możliwy poprzez zastosowanie metod segmentacji grupy punktów w niezależnych skanach laserowych i dopasowanie wydzielonych cech, np. metodą LS3D (*Least Squares 3D Surface Matching*). Jednym z przykładów zastosowania metody LS3D jest *matching* krzywych i powierzchni w pomiarze deformacji (Monserrat *et al.*, 2008). Nowe podejście, to określenie orientacji wzajemnej poszczególnych skanów przy pomocy funkcji oceny (Dold, Brenner, 2008). Inna technika służąca automatyzacji pomiarów polega na wygenerowaniu histogramów orientacji (Chibunichev, Velizhev, 2008) lub zastosowaniu techniki IBR (*Image Based Registration*), tj. oryginalnych panoramicznych obrazów odbicia (Kang, 2008).

Automatyczna procedura generowania z chmury punktów różnych konturów modeli budynków może być wykonana na podstawie znanych cech (Pu, 2008). Pełna automatyczna procedura modelowania linii możliwa jest na podstawie wykonanej ekstrakcji segmentów grupujących lokalne cechy linii (Briese, Pfeifer, 2008). Zastosowanie narzędzia PCA (*Principal Component Analysis*) do przetwarzania chmury punktów polega na określeniu lokalnej charakterystyki punktu poprzez sprawdzenie lokalnego sąsiedztwa punktu i zostało wykorzystane do detekcji krzywych i ich parametrów (Belton, 2008). Automatyczna wektoryzacja obiektów jest realizowana algorytmem do ekstrakcji i wygładzania profili (Bienert, 2008). Algorytm bazujący na M-estymacji służy natomiast do określenia współrzędnych środka obiektów w kształcie kuli (Zhou *et al.*, 2008). Referencję obrazów cyfrowych z naziemnymi danymi LiDAR w środowisku CAD umożliwiając algorytmy *point-to-line* oraz *line-to-line* (Meyerhold *et al.*, 2008).

Technika naziemnego skaningu laserowego znalazła zastosowanie w inwentaryzacji inżynierskiej (Kim *et al.*, 2008; Lovas *et al.*, 2008; Sithole, 2008), w tworzeniu dokumentacji typu *as-built* (Seo *et al.*, 2008), w rejestracji dziedzictwa kultury (Becker *et al.*, 2008), monitoringu deformacji 3D obiektów inżynierskich (Alba *et al.*, 2008; Bu, Zhang, 2008; Miller *et al.*, 2008; Qiu, Wu, 2008; Zogg, Ingensand, 2008) i specjalnych, np. lodowców (Schwalbe *et al.*, 2008), w modelowaniu obiektów 3D (Hu *et al.*, 2008; Pop, 2008), detekcji upraw rolniczych (Lumme *et al.*, 2008), w leśnictwie, itd.

Integracja danych TLS z sensorami GPS oraz IMU/INS pozwala na skanowanie dynamiczne (rejestracja chmur punktów z pojazdu będącego w ruchu), np. do kolekcji danych 3D w obszarach zurbanizowanych (Haala *et al.*, 2008) lub wsparcie naziemnych, zintegrowanych systemów nawigacji GPS/INS/pseudolity (Wang *et al.*, 2008).

Należy oczekiwać, że w najbliższej przyszłości wiodącym tematem badań dotyczących naziemnego skaningu laserowego będzie dopasowanie (*matching*) wieloczasowych chmur punktów 3D.

2.4. WG V/4 – Rzeczywistość wirtualna (VR) i animacja komputerowa

W obszarze badawczym grupy roboczej WG V/4 działalność odnosiła się do integracji metod fotogrametrii, przetwarzania obrazów cyfrowych, metod grafiki komputerowej i technik internetowych. W tym obszarze realizowano następujące zadania:

- Automatyzacja w kreowaniu treści wirtualnego środowiska VE, zwiększanie efektywności procesu kreowania kompleksowych środowisk na podstawie różnorodnych źródeł danych, definiowanie i ocena dokładności.
- Wizualizacja w czasie rzeczywistym oraz interaktywne manipulowanie szczegółowymi i mocno teksturowanymi powierzchniami, określenie i ocena realizmu oraz stopnia szczegółowości.
- Użycie wizyjnych technik fotogrametrycznych i komputerowych w celu analizy ruchu człowieka oraz animacji o wirtualnym charakterze.
- Promocja aplikacji VR, dotyczących człowieka kreowanego w przestrzeni scen 3D, które wymagają modeli 3D zrekonstruowanych fotogrametrycznymi albo innymi zintegrowanymi technikami.
- Usługi lokalizacyjne (*Location Based Services*) (kombinacja możliwości mobilnych obliczeń, zobrazowań, urządzeń do pozycjonowania i dostępu do sieci), aplikacje dla technik wirtualnej i rozszerzonej rzeczywistości AR (miks obrazów żywych z grafiką komputerową) oraz mobilnych systemów informacji.
- Współpraca ze środowiskiem grafiki komputerowej, widzenia komputerowego, inżynierii medycznej i biomedycznej, inżynierii zajmującej się istotą ludzką (projektowanie odzieży, ergonomia), współpraca z organizacjami CIPA (*International Committee for Documentation of Cultural Heritage*), ISB (*International Society of Biomechanics*) oraz ACM-SIGGRAPH (*Association for Computing Machinery's Special Interest Group on Graphics and Interactive Techniques*).

Wzrastający realizm wizualizowanych scen jest uzyskiwany przez zwiększony poziom szczegółowości detali geometrycznych. Efekt ten uzyskiwany jest przez stosowanie specjalnych metod dopasowania obrazów (*stereomatching* lub *multimatching*). Nowym obszarem badań staje się poszukiwanie odpowiednich i intuicyjnych metod reprezentacji danych i kreacji modelu, szczególnie dla modeli 4D (3D + czas).

Skaning laserowy stał się często stosowanym narzędziem do akwizycji danych 4D dla aplikacji tworzących rzeczywistość wirtualną VR (Böhm, 2008; Brechtken *et al.*, 2008). Rejestracja sekwencji zdjęć jest możliwa za pomocą małego, lekkiego systemu UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) z kamerą 1 MP. Dopasowanie obrazów metodą LSM (*Least Squares Matching*) pozwala na automatyczną rekonstrukcję 3D obiektu (Mayer, Bartelsen, 2008). W praktyce stosowane są zaawansowane metody geometrycznego modelowania: technika modelowania LOD (*Level of Detail*) (Du *et al.*, 2008), metoda pojedynczego zdjęcia oparta na rekonstrukcji punktów zbiegu (Wang, Ferie, 2008). Zaawansowane techniki przetwarzania obejmują: teksturowanie, mapowanie oraz rendering obiektów i scen 3D.

Technika VR umożliwia łączenie danych 2D pochodzących z systemów CAD/GIS z wizualizacją 3D obiektów inżynierskich (Li *et al.*, 2008). Wizualizacja obiektów

geograficznych, dzięki wykorzystaniu falkowej kompresji typu SPIHT (*Set Partitioning in Hierarchical Trees*), ewoluuje w kierunku VR-GIS (Li, Gong, 2008).

W odniesieniu do geometrii i tekstury dużych modeli (charakteryzuje je bardzo duża liczba poligonów) problem fotorealizmu i ruchu w czasie rzeczywistym w przestrzeni sceny został rozwiązany przez opracowanie wydajnych metod teksturowania (Hanusch, 2008; Tan *et al.*, 2008) oraz renderingu (Web *et al.*, 2008).

Jednak przy obecnym stanie wiedzy, w pełni realistyczne oświetlenie i odbicie w czasie rzeczywistym jest jeszcze trudne do implementacji. Metody wizualizacji, animacji i prezentacji VR, powszechnie używane w środowisku grafiki komputerowej, nie są jednak dostatecznie często stosowane w rzeczywistych fotogrametrycznych aplikacjach bliskiego zasięgu.

2.5. WG V/5 – Rozwój technologii sensorów obrazowych

Zakres aktywności w grupie roboczej WG V/5 koncentrował się na rozwiązaniu problemów związanych z konstrukcją nowych sensorów wizyjnych:

- Projektowanie, charakterystyka, kalibracja i ocena sensorów obrazowych dla fotogrametrii i aplikacji bliskiego zasięgu.
- Ocena sensorów obrazowych (CCD, CMOS, IR-Balometr), systemów termalnych i kamer 3D, bazujących na pomiarze odległości według zasady TOF (*Time-of-Flight*).
- Ocena niestandardowych zasad obrazowania (kamery panoramiczne, systemy wyposażone w obiektywy typu „rybie oko” (*Fisheye*), sensory katadioptryczne i inne wielokierunkowe systemy wizyjne.
- Integracja sensorów i systemów, aplikacja sieci sensorów.
- Ocena geometrycznych i radiometrycznych właściwości danych obrazowych, standardów jakości oraz czynników, które wpływają na jakość danych.

Grupa WG V/5 koncentrowała swoje prace na konstrukcji nowych sensorów obrazowych. Nowatorskie kamery 3D typu LRC (*Laser Range Camera*) bazują na sensorach *solid state* i działają według zasady TOF (*Time-of-Flight*), co umożliwia jednoczesny pomiar odległości i akwizycję obrazu (Lichti, 2008). W tej konstrukcji sensor obrazowy posiada max. rozdzielczość 180×140 pikseli a pomiar odległości możliwy jest w zakresie do 40 m. Systemy tego typu wytwarzają obecnie 2 firmy: CSEM Swiss Ranger (SR-3000) i PMD Technologies GmbH (PMD[vision]®). W przyszłości należy oczekiwać kombinacji techniki PMD (*Photonic Mixer Device*) z sensorami obrazowymi RGB, o wyższej rozdzielczości, co umożliwi aplikację kamery 3D, np. w robotyce. Główne problemy badawcze dotyczą kalibracji (Karel, 2008; Lichti, 2008; Westfeld, Hempel, 2008), ewaluacji systemu (Weyer *et al.*, 2008) i aplikacji kamer 3D (Katabira *et al.*, 2008).

Przełomem w konstrukcji wielkoformatowych sensorów obrazowych jest nowy sensor 4×4 cal firmy DALSA o rozdzielczości > 100 MP (10560×10560 pikseli; $p_{HV} = 9 \mu m$). W ostatnich latach pojawiły się na rynku aparaty cyfrowe (Mamiya, Hasselblad, Jenoptik, Sinar) lub przystawki cyfrowe (*digital back*) (Mamiya, Jenoptik, Imacon, Leaf, PhaseOne, Sinar, ALPA), które wyposażone zostały w wysokiej rozdzielczości (20–60 MP) matryce CCD/CMOS o formacie typu *High-End*.

W konstrukcji kamer panoramicznych problemem jest otrzymanie dużej czułości radiometrycznej przy zachowaniu minimalnego czasu ciągłej rejestracji. Jest to możliwe przy zastosowaniu sensora zbudowanego w technologii TDI (*Time Delay and Integration*), który stanowi linijkę CCD o dużej czułości. Firma Seitz zbudowała kamerę panoramiczną wyposażoną w sensor TDI firmy DALSA (linijka posiada 7500 pikseli), który pozwala na rejestrację panoramy 360° w czasie 2 sekund. Nową koncepcję obrotowej rejestracji stanowi stereopanoramiczny przenośny multispektralny skaner MPMS (*Mobile Panoramic Multispectral Scanner*) zbudowany z 2. kamer panoramicznych RGB (Li, 2008).

Nową koncepcją jest pozycjonowanie punktów za pomocą sensorów CMOS (2 MP) standardowo montowanych w telefonach komórkowych. Współrzędne planarne można określić z błędem względnym 1: 8 000, odległość z błędem 0.03%, a przy zastosowaniu swobodnego wyrównania sieci odpowiednio 1: 25 000 i 0.009% (Grün, Akca, 2008).

2.6. WG V/6 – Analiza obrazów medycznych, pomiar ruchu i ciała człowieka

Realizowany zakres badań w grupie roboczej WG V/6 obejmował przede wszystkim następujące zagadnienia:

- Badanie, rozwój technik i systemów do analizy oraz 3D rekonstrukcji w medycynie, stomatologii, inżynierii biomateriałów, biomedycynie, inżynierii biomechanicznej, telemedycynie, medycynie VR/AR, oraz badanie zaawansowanych wizyjnych 3D technik komputerowych.
- Badanie i rozwój technik oraz systemów do rekonstrukcji 3D i analizy w medycynie sportowej, w ocenie sprawności fizycznej człowieka (np. rejestracja ruchu, pomiar ciała, analiza chodu, śledzenie postaci), w analizie twarzy i jej ekspresji.
- Techniki wizyjne w badaniach biometrycznych, w aplikacjach z zakresu bezpieczeństwa pracy i medycyny sądowej.
- Zastosowanie technik pomiaru powierzchni w aplikacjach medycznych z zakresu stomatologii, ortodoncji, protetyki, ortopedii, chirurgii plastycznej, otorynolaryngologii (ORL), kosmetologii, medycyny sądowej.
- Zastosowanie technik rejestracji ruchu 3D do klinicznej analizy ruchu, rejestracji charakterystycznych cech pacjenta.
- Adaptacja technik fotogrametrycznych do geometrycznego modelowania i samokalibracji systemów rentgenowskich oraz tomograficznych.
- Kooperacja i współpraca między ISPRS a towarzystwami medycznymi oraz inżynierii biomedycznej, rozwój i animacja wzajemnego oddziaływania człowiek/użytkownik.

Współczesne metody i techniki fotogrametryczne oraz wizyjne systemy do rekonstrukcji 3D i analizy są obecnie szeroko stosowane w aplikacjach z zakresu medycyny, np. stomatologii (Knyaz, Zheltow, 2008; Mitchell, Chadwick, 2008). Połączenie stereofotogrametrycznych obrazów cyfrowych ze skanowaniem laserowym pozwoliło zbudować system rekonstrukcji 3D do diagnozy morfologii twarzoczaszki pacjenta (Majid *et al.*, 2008). Zastosowanie metod fotogrametrii cyfrowej do opracowania stereoobrazów rentgenowskich umożliwia rekonstrukcję 3D (Seker *et al.*, 2008) lub automatyczne określenie postawy pacjenta (Selby *et al.*, 2008). Dopasowanie obrazów i rekonstrukcja modeli 3D twarzy pacjenta możliwa jest przy

zastosowaniu konstrukcji taniego systemu stereo, który bazuje na metodzie projekcji prążków (Chang, Habib, 2008).

Analiza obrazów medycznych jest sprawdzoną i skuteczną techniką diagnozy w różnych specjalnościach medycyny. Przykładem nowych rozwiązań jest użycie dyskretnej transformacji Schrödingera do ekstrakcji granic obiektów na cyfrowych obrazach gradientowych (Lou *et al.*, 2008). Opracowanie danych z tomografii komputerowej CT (*Computed Tomography*) i spektroskopii NMR (*Nuclear Magnetic Resonance*) jest udoskonalane i ewoluuje w kierunku automatycznej detekcji i segmentacji danych 3D (Shahbazi *et al.*, 2008).

Komputerowe techniki wizualizacji 3D oraz techniki VR/AR są coraz częściej używane w różnych zastosowaniach medycznych, w tym w telemedycynie. Fotogrametryczne systemy śledzenia obiektów i scen 3D są obecnie uważane, jako podstawowe narzędzia diagnozy i analizy, np. przy rejestracji ruchu człowieka, liczeniu liczby widzów na imprezach masowych, śledzeniu ruchu narzędzi chirurgicznych w trakcie operacji, itd.

2.7. ICWG V/I – Systemy zintegrowane dla mobilnej kartografii

Zakres aktywności międzykomisyjnej grupy roboczej ICWG V/I koncertował się na następujących zadaniach:

- Zintegrowane systemy nawigacji do bezpośredniego wyznaczenia georeferencji.
- Integracja z innymi źródłami danych, zwłaszcza z danymi ze skaningu laserowego.
- Łączenie danych z naziemnych i lotniczych mobilnych systemów kartograficznych.
- Najnowsze, inteligentne techniki przetwarzania.
- Przyszłe trendy rozwoju systemów MMS (*Mobile Mapping Systems*) oraz ISMM (*Integrated Systems for Mobile Mapping*).
- Nowe obszary zastosowań systemów ISMM.

Współczesny system MMS posiada zamontowane na platformie pojazdu lub pokładzie UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) sensory: GPS, IMU, kamery cyfrowe, skaner laserowy oraz opcjonalnie: kamerę termalną IR oraz moduły: wspierający integrację sensorów, stabilizacji, transmisji i archiwizacji danych.

Mobilny system opracowania map drogowych typu LMMS (*Land Mobile Mapping System*), który bazuje na połączeniu nawigacji, rejestracji obrazów stereo i skaningu, umożliwia wykrycie, rozpoznanie, pozycjonowanie i kolekcję obiektów technicznej infrastruktury pasa drogowego (Shi *et al.*, 2008). Prototypowa wersja systemu nawigacji dla pieszego integruje sensory GPS, INS, magnetometr i barometr (Grejner-Brzezińska *et al.*, 2008). Wyznaczenie błędów systematycznych sensora INS w systemie MMS wykonuje się np. za pomocą kalibracji z wielu stanowisk (Artese, Trecroci, 2008).

Teledetekcyjny lotniczy system typu AMMS (*Airborne Mobile Mapping System*) pozwala na rejestrację zdjęć wysokiej rozdzielczości: panchromatycznych, wielospektralnych i hyperspektralnych oraz danych LiDAR (Xu *et al.*, 2008). Koncepcja taniego systemu AMMS, który wykorzystuje platformę UAV (model helikoptera), służy

do rejestracji barwnych obrazów cyfrowych wraz z ich georeferencjami (Coppa *et al.*, 2008).

Współczesne algorytmy przetwarzania danych w systemach MMS dotyczą przede wszystkim dwóch zagadnień: integracji danych z nawigacji z fotogrametrycznymi programami wyrównania metodą wiązek oraz wykorzystania współczesnej technologii MEMS (*Microelectromechanical Systems*), występującej w sensorach inercjalnych do bezpośredniego określenia georeferencji DG (*Direct Georeferencing*). W celu ulepszenia algorytmu nawigacji w procesie przetwarzania danych stosuje się filtr Kalmana lub sztuczne sieci neuronowe i logikę rozmytą (Grejner-Brzezińska *et al.*, 2008). Łączne wyrównanie danych pozyskanych zintegrowanymi systemami LMMS i AMMS możliwe jest poprzez dopasowanie (*matching*) obiektów liniowych, co w konsekwencji pozwala na kilkukrotne zwiększenie dokładności pozycjonowania (Hassan, El-Sheimy, 2008).

3. KIERUNKI DALESZYCH BADAŃ I ROZWOJU W LATACH 2008-2012

Komisja V ISPRS funkcjonować będzie w latach 2008-2012 nadal pod nazwą „Detekcja bliskiego zasięgu: Analizy i aplikacje”. Działalności i pracom Komisji V przewodniczyć będzie prof. Jon Mills z Uniwersytetu w Newcastle. Zakres aktywności Komisji V dotyczyć będzie wszystkich technicznych aspektów i aplikacji pomiarów bliskiego zasięgu. Komisja V powinna realizować w najbliższych latach 3 główne rezolucje sformułowane na XXI Kongresie ISPRS.

Rezolucja V.1 – Naziemny skaning laserowy, przetwarzanie zobrazowań 3D oraz chmur punktów:

- Intensyfikacja prac dotyczących geometrycznego modelowania danych z naziemnego skaningu laserowego.
- Rozwój automatycznych technik przetwarzania chmury punktów oraz integracja technik przetwarzania chmury punktów z danymi obrazowymi.
- Badanie dokładności i rozwój technik samokalibracji zintegrowanych sensorów.

Rezolucja V.2 – Inżynieria obrazowa:

- Koncentracja prac nad technikami inżynierii obrazowej w metrologii optycznej.
- Umocnienie wiodącej roli ISPRS w ocenie technologii sensorów, w modelowaniu i kalibracji sensorów.
- Praktyczne wdrożenie nowych typów sensorów, takich jak systemy wielokierunkowe (*omnidirectional*), kamery 3D i systemy multisensoralne (*multiocular*).

Rezolucja V.3 – Dziedzictwo kultury, rzeczywistość wirtualna (VR) i animacja:

- Promocja innowacyjnych technologii do rejestracji, przetwarzania danych, zarządzania informacją oraz rozwój nowych produktów z zakresu modelowania obiektów 3D, rzeczywistości wirtualnej i animacji w archeologii, architekturze i konserwacji zabytków.
- Definiowanie i zastosowanie akceptowalnych standardów oraz procedur oceny jakości wynikowych modeli 3D.
- Umocnienie aktywności w zakresie kartografii mobilnej i usług lokalizacyjnych (*Location Based Services*).

4. LITERATURA

Archives ISPRS, 2008. Vol. XXXVII, Part B5. <http://www.isprs.org>

ISPRS Highlights, 2005. Vol. 10, N° 1. <http://www.isprs.org>

ISPRS Highlights, 2006. Vol. 11, N° 1. <http://www.isprs.org>

ISPRS Highlights, 2007. Vol. 12, N° 1. <http://www.isprs.org>

ISPRS Highlights, 2008. Vol. 12, N° 4. <http://www.isprs.org>

dr inż. Piotr Sawicki
e-mail: piotr.sawicki@geodezja.pl
tel. +89 5233282

**ŚREDNIOFORMATOWA LUSTRZANKA CYFROWA MAMIYA ZD (21.3 MP)
– NOWY SENSOR WIZYJNY DO APLIKACJI BLISKIEGO ZASIĘGU**

**THE MAMIYA ZD (21.3 MP) MEDIUM FORMAT DSLR CAMERA
– A NEW VISION SENSOR FOR CLOSE RANGE APPLICATIONS**

Piotr Sawicki

Zakład Fotogrametrii i Teledetekcji, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

SŁOWA KLUCZOWE: lustrzanka cyfrowa, sensor CCD, samokalibracja, metoda wiązek, dokładność, bliski zasięg

STRESZCZENIE: Badanie średnioformatowej lustrzanki cyfrowej Mamiya ZD, wyposażonej w sensor CCD (format 48×36 mm, rozdzielczość 5328×4000, piksel $p'_{HV} = 9 \mu m$), obejmowało określenie dystorsji radiometrycznej sygnału oraz dokładności samokalibracji i opracowania punktowego w bliskim zasięgu. Ocenę dystorsji sygnału sensora CCD FTF4052C przeprowadzono w autorskim programie "Image Analysis". Obrazy rejestrowane aparatem Mamiya ZD charakteryzuje wysoka jakość radiometryczna sygnału. Średnie odchylenie standardowe wyznaczonej jasności I wyniosło $StdDev = 1.1$ (R: $StdDev = 1.5$, G: $StdDev = 1.3$, B: $StdDev = 2.3$). Fotogrametryczne badanie aparatu Mamiya ZD, wyposażonego w 2 obiektywy serii Mamiya 645AF, wykonano na podstawie 3. konfiguracji zdjęć zbieżnych (17, 13, 11) pola testowego, które tworzyło ca 220 sygnalizowanych punktów, w tym 60 punktów kodowanych (kod 14 bit). Zdjęcia rejestrowano z odległości ca $Y_F = 5$ m. Automatyczny pomiar punktów na obrazach cyfrowych oraz rozwiązanie metodą wiązek, łącznie z samokalibracją, wykonano programem AICON 3D Studio. Optymalny model aproksymujący błędy systematyczne obrazu zawierał 5 parametrów: dystorsję radialną symetryczną $A_{1,2}$, dystorsję radialną asymetryczną i tangencjalną $B_{1,2}$ oraz afiniczność sensora C_1 . Najwyższą dokładność uzyskano dla konfiguracji 11 zdjęć zbieżnych. Wartość Sigma 0 po wyrównaniu wyniosła $\sigma_0 = \pm 0.055$ pxl. Parametry orientacji wewnętrznej: c_K , x'_0 , y'_0 wyznaczone zostały z dokładnością ± 0.15 pxl (obiektyw 645AF 45 mm) oraz ± 0.35 pxl (obiektyw 645AF 80 mm). Odchylenia standardowe RMS wyznaczonych współrzędnych X, Y, Z wyniosły odpowiednio: $S_{XZ} = \pm 0.02 \div 0.03$ mm, $S_Y = \pm 0.07$ mm oraz $S_{XZ} = \pm 0.01 \div 0.02$ mm, $S_Y = \pm 0.04$ mm. Zastosowanie lustrzanki Mamiya ZD do punktowych opracowań bliskiego zasięgu wymaga kombinowanego wyrównania metodą wiązek, połączonego z samokalibracją równoczesną *on-the-job*. Względna dokładność opracowania jest możliwa z dokładnością rzędu ca 1: 125 000 (obiektyw 645AF 45 mm) oraz 1: 200 000 (obiektyw 645AF 80 mm).

1. WSTĘP

Aparaty cyfrowe typu DSLR (*Digital Single Lens-Reflex Camera*) należą, ze względu na tryb pracy przetwornika cyfrowego, do grupy wizyjnych sensorów typu *still video*. Współczesne lustrzanki cyfrowe wyposażone są w przetworniki *solid state* oparte na technologii CCD (*Charge Coupled Device*) lub CMOS (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*). W ostatnich kilku latach pojawiły się sensory CCD/CMOS

nowej generacji, w których znacząco wzrosła rozdzielczość i radiometryczna jakość obrazu (większa czułość, redukcja szumów, duży zakres tonalny, stabilność barw, *antiblooming*, itd.). Jednocześnie, wzrosła szybkość zewnętrznego i wewnętrznego transferu danych oraz pojemność wewnętrznych nośników pamięci.

Aparaty typu DSLR traktowane są w fotogrametrii bliskiego zasięgu w zasadzie jako niemetryczne kamery cyfrowe. Pomimo niedostatecznej stabilności elementów orientacji wewnętrznej, przy zapewnieniu odpowiedniej techniki opracowania zdjęć, są z powodzeniem stosowane w różnorodnych wizyjnych systemach pomiarowych typu *off-line*. Systemy *off-line* są dedykowane przede wszystkim optycznej metrologii przemysłowej, inwentaryzacji inżynierskiej (*reverse engineering*), architektonicznej, diagnostyce technicznej i medycznej, itd.

Klasyfikacja oraz charakterystyka budowy, zasad działania i dokładności współczesnych cyfrowych sensorów wizyjnych stosowanych w fotogrametrii bliskiego zasięgu znajduje się we wcześniejszej pracy autora (Sawicki, 2006).

Stały rozwój technologii sensorów wizyjnych określił z jednej strony nowe potrzeby w zakresie technik kalibracji, metod przetwarzania fotogrametrycznych danych cyfrowych oraz oprogramowania, z drugiej zwiększył potencjał nowych zastosowań. Stale aktualnym zagadnieniem pozostaje zatem badanie potencjału pomiarowego fotograficznych aparatów cyfrowych (Peipe, Tecklenburg, 2006; Sawicki, 2001; Sawicki, 2003; Sawicki, Ostrowski, 2007).

Prezentowane poniżej wyniki badań profesjonalnej, wysokorozdzielczej średnioformatowej lustrzanki cyfrowej Mamiya ZD, którą wyposażono w 2 wymienne obiektywy serii Mamiya 645AF, obejmowały określenie dystorsji radiometrycznej sygnału sensora CCD, fotogrametryczną kalibrację oraz badanie dokładności opracowania punktowego w bliskim zasięgu. Zastosowana metodyka badań była podobna do badań potencjału pomiarowego aparatu DSLR Kodak DCS Pro 14n (13.5 MP), które autor wykonał w 2007 r. (Sawicki, Ostrowski, 2007).

Według wiedzy autora, nie opublikowano dotychczas pracy naukowo-technicznej, włączając artykuły zawarte w Archiwum ISPRS, Vol. XXXVII, Part B5, 2008, która dotyczyłaby oceny dokładności i aplikacji aparatu DSLR Mamiya ZD.

2. CHARAKTERYSTYKA APARATU DSLR MAMIYA ZD

Profesjonalna średnioformatowa lustrzanka cyfrowa Mamiya ZD jest wyposażona w pierwszy na świecie komercyjnie zastosowany sensor CCD o wymiarach 48×36 mm. Aparat DSLR Mamiya ZD wprowadzono do sprzedaży w Polsce w 2006 r., w cenie 49 tys. zł (korpus aparatu, bez obiektywu). Badany egzemplarz lustrzanki Mamiya ZD wyposażony został w dwa wymienne obiektywy Mamiya 645AF 45 mm oraz Mamiya 645AF 80 mm. Aparat Mamiya ZD charakteryzują następujące, mające znaczenie dla fotogrametrycznej rejestracji, parametry techniczne i użytkowe:

- Przetwornik: CCD FTF4052C (architektura *Full Frame* RGB) firmy DALSA.
- Aktywny obszar przetwornika: $S_{HV} = 48.1 \times 36.1$ mm.
- Liczba pikseli: aktywna rozdzielczość matrycy: 5344×4008 pikseli (21.42 MP), efektywna rozdzielczość matrycy: 5328×4000 pikseli (21.31 MP).

- Piksel przetwornika: $p'_{HV} = 9 \mu m$.
- Czułość ISO przetwornika: ISO 50÷400; skok o 1/3 wartości.
- Konwerter A/D: 14-bit, zapis 12-bit na każdy kanał R, G, B.
- Przestrzeń kolorów: Adobe RGB, sRGB.
- Format zapisu danych: RAW (Exif 2.2), JPEG (3 rodzaje rozdzielczości: 5328×4000, 4096×3072, 3008×2256; 3 poziomy kompresji), RAW + JPEG.
- Szybkość migawki: 30÷1/4000 s.
- Auto Focus: system TTL, 3 obszary ogniskowania.
- Ogniskowanie: jednorazowe (S), ciągłe (C), ręczne (M).
- Tryby naświetlania: priorytet przysłony AE(Av), priorytet migawki AE(Tv), program AE(P), ręczny (M), tryb X/*Bulb*(B).
- Tryby pracy: zdjęcia pojedyncze, zdjęcia seryjne (1.2 klatki/s÷10 klatek w serii).
- Filtr wymienny: IR (standard)/*Low-Pass* (opcja).
- Obiektywy Mamiya 645AF: $f = 45 \text{ mm}$, F 2.8 oraz $f = 80 \text{ mm}$, F 2.8.
- Ogniskowanie: *Auto Focus*, *Manual Focus*.
- Karty pamięci: Compact Flash Typ I i II (> 256 MB), karty SD (256 MB÷2GB).
- Komunikacja z komputerem: interfejs IEEE1394 (*Firewire*) 4 pin, wyjście wideo (NTSC/PAL)

3. BADANIE DYSTORSJI SYGNAŁU SENSORA CCD FTF4052C

Badanie cech sygnału cyfrowego przetwornika CCD FTF4052C lustrzanki Mamiya ZD wykonano na podstawie sekwencji 30 zdjęć pola testowego w formie czarno-białej szachownicy (Sawicki, Ostrowski, 2007). Podczas rejestracji sensor CCD był rozgrzany do temperatury roboczej a dla aparatu zachowano niezmiennie parametry orientacji wewnętrznej i zewnętrznej. Na obrazach zdefiniowano 10 obszarów zainteresowania. Analizę obrazów cyfrowych w formacie BMP wykonano w autorskim programie "Image Analysis" (Sawicki, Ostrowski, 2007). W czterech kanałach: R, G, B oraz jasności I obliczona została średnia wartość poziomu szarości, wariancja (Var) i odchylenie standardowe (StdDev).

Na podstawie wyników badań (tabela 1) można stwierdzić, że jakość sygnału cyfrowego generowanego przez sensor CCD FTF4052C charakteryzują następujące cechy:

- Średnie wartości poziomu szarości, wariancji i odchylenia standardowego w badanych kanałach R, G, B, I dla obrazów zarejestrowanych 2. obiektywami 645AF 45 mm oraz 645AF 80 mm nie wykazują statystycznie istotnych różnic; w zastosowanej metodzie badań, ewentualna aberracja chromatyczna obiektywów nie ma wpływu na jakość sygnału cyfrowego.
- Max. wartości Var i StdDev we wszystkich badanych obszarach występują w kanale B (Var = 5.3, StdDev = 2.3), natomiast min. wartości Var i StdDev w kanale G (Var = 1.9, StdDev = 1.3); jest to efektem niskiej czułości sensora dla długości fali ok. 400 nm i najwyższej czułości sensora w zakresie fal o długościach 500÷600 nm oraz charakterystyki widmowej filtru Bayera.
- Obrazy cyfrowe charakteryzują się niskim poziomem szumów i wysoką jakością układu przetwarzającego dane; w kanale jasności I średnie odchylenie

standardowe wyniosło $\text{StdDev} = 1.1$ wartości jasności piksela (kanał R: $\text{StdDev} = 1.5$, kanał G: $\text{StdDev} = 1.3$, kanał B: $\text{StdDev} = 2.3$).

Tabela 1. Wyniki badań dystorsji cyfrowego sygnału aparatu DSLR Mamiya ZD

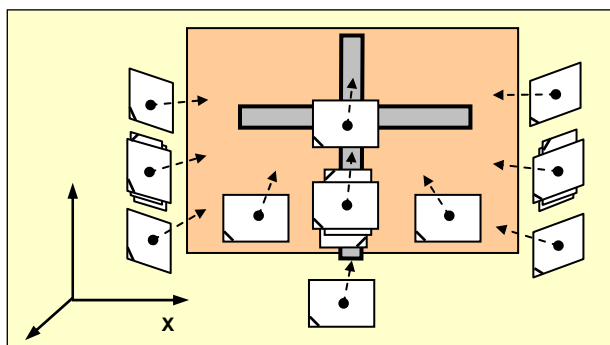
	Obiektyw 645AF 45 mm				Obiektyw 645AF 80 mm			
	Średnie jasności pikseli w badanych obszarach							
Obszar	R	G	B	I	R	G	B	I
Ciemny	26.73	37.69	26.19	33.12	25.19	35.80	25.90	31.52
Jasny	181.31	219.03	194.31	204.91	182.39	221.05	198.17	206.84
	Wariancje jasności pikseli							
Obszar	R	G	B	I	R	G	B	I
Ciemny	2.20	2.87	4.44	2.07	2.16	2.91	4.71	2.10
Jasny	2.80	0.97	6.04	0.58	2.52	0.91	5.88	0.59
	Odchylenia standardowe jasności pikseli							
Obszar	R	G	B	I	R	G	B	I
Ciemny	1.46	1.66	2.08	1.41	1.45	1.68	2.14	1.42
Jasny	1.67	0.98	2.45	0.75	1.58	0.94	2.42	0.76

4. ROZWIĄZANIE TERRATRIANGULACJI ŁĄCZNIE Z SAMOKALIBRACJĄ

Badanie potencjału pomiarowego i samokalibrację średnioformatowej lustrzanki Mamiya ZD wykonano na podstawie zdjęć pola testowego Instytutu Fotogrametrii i Teledetekcji Uniwersytetu Technicznego w Dreźnie. Przestrzenne pole testowe (rys. 1) tworzyło ogółem ca 220 punktów (rys. 2), które były sygnalizowane jasnym, odbijającym światło znakiem, w tym 65 punktów kodowanych (kod 14 bit, zakres numeracji 1÷516). Sygnalizowane punkty były równomiernie rozmieszczone na pionowej ścianie oraz na przestrzennej, metalowej konstrukcji, którą tworzyła baza stereofotogrametrycznego systemu pomiarowego IMK C. Z. Jena. Pole testowe nie posiadało typowych fotopunktów o znanych współrzędnych 3D, wyznaczonych pomiarami geodezyjnymi, lecz jedynie 2 zdefiniowane odcinki skalowe.

Samokalibrację aparatu cyfrowego Mamiya ZD, systemu oraz badanie dokładności wyznaczenia punktów przeprowadzono na podstawie 3. konfiguracji zdjęć zbieżnych (17, 13, 11 zdjęć, w tym również zdjęcia obrócone wokół osi celowej w lewo i prawo o kąt ca 100 grad), wykonanych niezależnie przy użyciu obiektywów Mamiya 645AF 45 mm oraz 645AF 80 mm (rys. 1). Rejestrację pola testowego wykonano z odległości ca $Y_F = 5$ m. Warunki rejestracji i opracowania zdjęć (tabela 2) były zbliżone do praktycznego pomiaru metrologicznego w bliskim zasięgu.

Rozwiązanie terratriangulacji metodą wiązek, łącznie z samokalibracją równoczesną *on-the-job* zostało wykonane programem AICON 3D Studio, Version 7.0, firmy AICON 3D Systems GmbH (AICON, 2008). W programie AICON 3D Studio zastosowano w pełni automatyczny tryb pomiaru na zdjęciach cyfrowych wszystkich sygnalizowanych punktów (metoda *multipoint matching*), metodę swobodnego wyrównania sieci, oraz zaimplementowano 7. parametrowy model aproksymacji błędów systematycznych, stosowany dla niemetrycznych kamer i aparatów cyfrowych (Luhmann, 2003), który łączy model Browna z 1971 r. oraz model El-Hakima z 1986 r.



Rys. 1. Pole testowe i konfiguracja zdjęć cyfrowych



Rys. 2. Fragment obrazu – punkt kodowane i niekodowane

Tabela 2. Parametry rejestracji

Format obrazu	48×36 mm	
Rozdzielczość obrazu	5328×4000	
Wymiar piksela p'_{HV}	9 μm	
Format zapisu obrazu	JPEG	
Y_F	$\sim 5 \text{ m}$	
Stosunek bazowy $v = B / Y_F$	1/1÷1/4	
Przysłona p	22	
Czas ekspozycji t	1/125 s	
Lampa błyskowa, zewnętrzna	bez korekcji	
Obiektyw	645AF 45	645AF 80
Ogniskowa f	45 mm	80 mm
Ogniskowanie MF	$\sim 5 \text{ m} ; \infty$	$\sim 5 \text{ m} ; \infty$
1: M_Z	$\sim 1: 110$	$\sim 1: 60$
Wielkość piksela w terenie	$\sim 1.0 \text{ mm}$	$\sim 0.55 \text{ mm}$
Zakres fotografowania H×V	$\sim 5.3 \times 4.0 \text{ m}$	$\sim 3.0 \times 2.2 \text{ m}$
Pkt. niekodowane / kodowane	157 / 65	178 / 44

Program AICON 3D Studio umożliwia orientację zdjęć sieci (translacja i obrót) do układu współrzędnych obiektu za pomocą min. 5 punktów kodowanych o znanych, przybliżonych współrzędnych wyznaczonych z dokładnością ca 0.1 m. Do określenia skali układu współrzędnych wystarcza jeden znany odcinek skalowy. W badaniach, do rozwiązania sieci zdjęć przyjęto 2, niezależnie wyznaczone odległości pomiędzy kodowanymi punktami: $S_{512-514} = 1334.67 \text{ mm}$ oraz $S_{515-516} = 1339.94 \text{ mm}$.

Program AICON 3D Studio realizuje iteracyjne, kombinowane wyrównanie metodą wiązek z dodatkowymi obserwacjami oraz parametrami modelującymi błędy systematyczne obrazu. W wyniku wyrównania wyznaczane są następujące niewiadome:

- podstawowe parametry orientacji wewnętrznej: c_K , x'_o , y'_o
- parametry dodatkowe:
 - o A_1 , A_2 , A_3 (dystorsja radialna symetryczną)
 - o B_1 , B_2 (dystorsja radialna asymetryczna i tangencjalna)
 - o C_1 , C_2 (afiniczność i nieortogonalność osi matrycy sensora)
- elementy orientacji zewnętrznej zdjęć: ω_i , ϕ_i , κ_i , X_{0i} , Y_{0i} , Z_{0i}
- współrzędne wyznaczanych punktów: X_n , Y_n , Z_n

Ocena jakości wyrównania wykonywana jest przy zastosowaniu następujących miar oraz parametrów dokładności:

- test *data-snooping* (wartość krytyczna ca 4.425)
- Sigma 0: σ_0
- macierz korelacji dla 10. wyznaczanych parametrów orientacji wewnętrznej
- odchylenia standardowe StdDev parametrów kalibracji po wyrównaniu: sc_K , sx'_o , sy'_o , sA_1 , sA_2 , sA_3 , sB_1 , sB_2 , sC_1 , sC_2
- odchylenia standardowe współrzędnych punktów: sX_n , sY_n , sZ_n oraz dodatkowo wartości RMS: S_X , S_Y , S_Z

4.1. Analiza wyników badań aparatu Mamiya ZD

Badanie potencjału pomiarowego aparatu Mamiya ZD przeprowadzono na podstawie serii zdjęć wykonanych niezależnie przy użyciu obiektywów Mamiya 645AF 45 mm oraz 645AF 80 mm, ogółem w 36. wariantach, wprowadzając do obliczeń kolejno:

- konfigurację 17, 13, 11 zdjęć zbieżnych w dwóch wariantach, dla których ogniskowanie obiektywu wykonano ręcznie na odległość „5 m” („MF 5”) oraz na „nieskończoność” („MF ∞)
- 7, 6, 5 dodatkowych parametrów kalibracji

W badanych wariantach wyrównania metodą wiązek odchylenia standardowe StdDev wyznaczonych współrzędnych X, Y, Z, zależą od konfiguracji geometrycznej i liczby zdjęć, natomiast nie zależą od liczby parametrów dodatkowych wprowadzonych do wyrównania, które aproksymują błędy systematyczne obrazu.

Wyznaczony optymalny model kalibracji zawierał 5 parametrów dodatkowych: A_1 , A_2 , B_1 , B_2 , C_1 korekcji błędów. Parametry A_3 oraz C_2 okazały się statystycznie nieistotne (w analizie zastosowano rozkład Studenta). Poza tym parametry A_2 i A_3 były bardzo mocno skorelowane (współczynnik korelacji $0.97 \div 0.98$).

Przy wyrównaniu terratriangulacji zdjęć wykonanych obiektywem 645AF 45 mm, najwyższą dokładność uzyskano dla konfiguracji 11. zdjęć zbieżnych, ogniskowanych w trybie „MF 5 m” oraz przy 5. parametrach dodatkowych (wariant 45_Y5_05_11). Odchylenia standardowe RMS określonych współrzędnych wyniosły odpowiednio: $S_X = \pm 0.03$ mm, $S_Y = \pm 0.07$ mm, $S_Z = \pm 0.02$ mm (tabela 2). Przy wyrównaniu sieci zdjęć ogniskowanych na wartość „MF ∞ ” otrzymano StdDev większe średnio

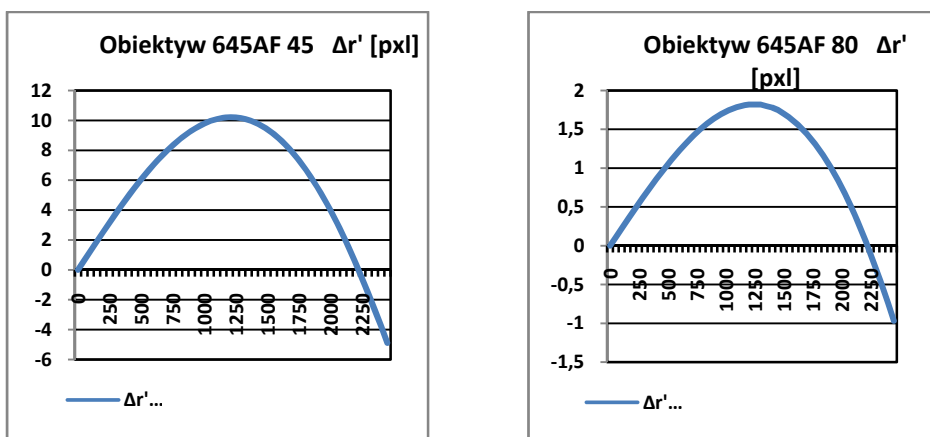
o $0.01 \div 0.02$ mm. W konfiguracji 17 zdjęć zbieżnych otrzymano odchylenia standardowe odpowiednio: $S_X = \pm 0.11$ mm, $S_Y = \pm 0.095$ mm, $S_Z = \pm 0.03$ mm.

Przy wyrównaniu sieci zdjęć wykonanych obiektywem 645AF 80 mm najwyższą dokładność uzyskano również dla konfiguracji 11. zdjęć zbieżnych, ogniskowanych w trybie „MF 5 m” oraz przy 5. parametrach dodatkowych (wariant 80_Y5_05_11). Odchylenia standardowe RMS wyznaczonych współrzędnych wyniosły odpowiednio: $S_X = \pm 0.02$ mm, $S_Y = \pm 0.04$ mm, $S_Z = \pm 0.01$ mm (tabela 2). Przy wyrównaniu sieci zdjęć ogniskowanych na wartość „MF ∞ ” otrzymano takie same wartości odchyłeń standardowych. W konfiguracji 17 zdjęć zbieżnych otrzymano odchylenia standardowe odpowiednio: $S_X = \pm 0.05$ mm, $S_Y = \pm 0.05$ mm, $S_Z = \pm 0.02$ mm.

W najkorzystniejszym pod względem dokładności wyznaczenia punktów wariancie wyrównania 45_Y5_05_11, podstawowe parametry orientacji wewnętrznej: c_K , x'_o , y'_o określone zostały ze średnią dokładnością ± 0.15 pxl (tabela 2). Te same dokładności otrzymano również dla zespołu zdjęć ogniskowanych trybem „MF ∞ ”. Wyniki samokalibracji (11 zdjęć, 5 parametrów) na podstawie zdjęć ogniskowanych w opcji „MF 5 m” oraz „MF ∞ ” różniły się następująco: dla stałej kamery $\Delta c_K = -22.9$ pxl, natomiast dla punktu głównego: $\Delta x'_o = +0.3$ pxl oraz $\Delta y'_o = +0.5$ pxl.

W najkorzystniejszym pod względem dokładności wariancie wyrównania 80_Y5_05_11, podstawowe parametry orientacji wewnętrznej: c_K , x'_o , y'_o wyznaczone zostały ze średnią dokładnością ± 0.35 pxl (tabela 2). Zbliżone dokładności otrzymano dla zespołu zdjęć ogniskowanych w opcji „MF ∞ ”. Wyniki samokalibracji (11 zdjęć, 5 parametrów) na podstawie zdjęć ogniskowanych w trybie „MF 5 m” oraz „MF ∞ ” różniły się o następujące wartości: dla stałej kamery $\Delta c_K = +219$ pxl, natomiast dla położenia punktu głównego: $\Delta x'_o = -5.7$ pxl oraz $\Delta y'_o = -1.6$ pxl.

Max. wartość sumarycznej poprawki dystorsji radialnej symetrycznej dla promienia radialnego $r' = 1200$ pxl wyniosła $\Delta r' = 10.21$ pxl (obiektyw 645AF 45 mm) oraz $\Delta r' = 1.82$ pxl (obiektyw 645AF 80 mm). Dla krzywych dystorsji radialnej (rys. 3) przyjęto drugi punkt zerowy o wartości $R_0 = 2222$ pxl ($R_0 = 20$ mm)



Rys. 3. Wykresy krzywych dystorsji radialnej obiektywów 645AF 45 oraz 645AF 80

We wszystkich wariantach wyrównania metodą wiązek układ równań poprawek był silnie nadokreślony. W wariancie 45_Y5_05_11 liczba obserwacji wyniosła $n = 3318$, niewiadomych $u = 662$, redundancja $r = 2656$, natomiast w wariancie 80_Y5_05_11 liczba obserwacji wyniosła $n = 2546$, niewiadomych $u = 599$, redundancja $r = 1947$. Wartość Sigma 0 otrzymano odpowiednio $\sigma_0 = \pm 0.053$ pxl oraz $\sigma_0 = \pm 0.055$ pxl. W obu wariantach wyrównania max. poprawka V_{xy} do współrzędnych tłowych wyniosła 0.2 pxl.

Tabela 3. Wyniki wyrównania dla zdjęć wykonanych obiektywem 645AF 45 mm oraz 645AF 80 mm (2 warianty o najwyższej dokładności wyrównania)

Parametry kalibracji / StdDev , V_{xy}	Wariant wyrównania			
	45_Y5_05_11		80_Y5_05_11	
σ_0 [mm]	0.000476		0.000496	
c_K / sc_K [mm]	-45.6151	0.001627	-81.71510	0.002707
x'_o / sx'_o [mm]	-0.05115	0.001324	-0.22473	0.003753
y'_o / sy'_o [mm]	0.23708	0.001289	0.23491	0.002900
A_1 / sA_1	-3.96719e-005	6.85691e-008	-6.4106e-006	5.26034e-008
A_2 / sA_2	1.865e-008	7.26381e-011	-2.05162e-009	5.57842e-011
A_3 / sA_3	0	fix	0	fix
B_1 / sB_1	7.35683e-006	1.87189e-007	1.25961e-006	1.79674e-007
B_2 / sB_2	-4.97886e-006	1.80774e-007	-2.89928e-006	1.36597e-007
C_1 / sC_1	0.00114957	3.23352e-006	0.00114501	3.16170e-006
C_2 / sC_2	0	fix	0	fix
S_X [mm]	0.026		0.020	
S_Y [mm]	0.074		0.042	
S_Z [mm]	0.022		0.013	
V_{xy} [mm]	0.00181	0.00183	-0.00157	0.00194

5. PODSUMOWANIE, WNIOSKI

Obrazy rejestrowane średnioformatową lustrzanką cyfrową Mamiya ZD, która jest wyposażona w sensor CCD FTF4052C (format 48×36 mm, rozdzielczość 5328×4000), charakteryzuje niski poziom szumów i wysoka jakość układu przetwarzającego dane. Średnie odchylenie standardowe jasności I wynosi StdDev = 1.1 (kanał R: StdDev = 1.5, kanał G: StdDev = 1.3, kanał B: StdDev = 2.3).

Badanie potencjału pomiarowego aparatu Mamiya ZD przeprowadzono na podstawie niezależnych, wielokrotnych zdjęć zbieżnych pola testowego, wykonanych przy użyciu 2. obiektywów Mamiya 645AF 45 mm oraz 645AF 80 mm. Charakterystyka obiektu testowego, warunki rejestracji i pomiaru zdjęć oraz wyrównania metodą wiązek były zbliżone do parametrów typowego fotogrametrycznego opracowania metrologicznego w bliskim zasięgu.

Automatyczny pomiar zdjęć metodą *multipoint matching* i wyrównanie metodą wiązek łącznie z samokalibracją wykonano programem AICON 3D Studio. Na podstawie 36. wariantów wyrównania zbadano empirycznie wpływ liczby i rodzaju

dotychczasowych parametrów modelujących błędy systematyczne obrazu oraz wpływ konfiguracji zdjęć zbieżnych i sposobu ogniskowania na dokładność samokalibracji i estymacji współrzędnych punktów.

Optymalny model aproksymujący błędy systematyczne obrazu zawierał 5 parametrów: dystorsję radialną symetryczną $A_{1,2}$, dystorsję radialną asymetryczną i tangencjalną $B_{1,2}$ oraz afiniczność sensora C_1 . Dokładność pozycjonowania punktów nie zależała w istotny sposób od liczby parametrów kalibracji. Najwyższą dokładność rozwiązania uzyskano dla konfiguracji 11 zdjęć zbieżnych.

Wartość Sigma 0 po wyrównaniu metodą wiązek wyniosła $\sigma_0 = \pm 0.055$ pxl. Podstawowe parametry orientacji wewnętrznej: c_K , x'_o , y'_o określone zostały ze średnią dokładnością ± 0.15 pxl (dla zdjęć wykonanych obiektywem 645AF 45 mm) oraz ± 0.35 pxl (przy zastosowaniu obiektywu 645AF 80 mm). Odchylenia standardowe RMS wyznaczonych współrzędnych wyniosły odpowiednio: $S_X = \pm 0.03$ mm, $S_Y = \pm 0.07$ mm, $S_Z = \pm 0.02$ mm oraz $S_X = \pm 0.02$ mm, $S_Y = \pm 0.04$ mm, $S_Z = \pm 0.01$ mm. Względna dokładność opracowania punktowego jest zatem możliwa z dokładnością rzędu ca 1: 125 000 (obiektyw 645AF 45 mm) oraz 1: 200 000 (obiektyw 645AF 80 mm).

Zastosowanie aparatu DSLR Mamiya ZD do punktowych opracowań bliskiego zasięgu wymaga rejestracji wielokrotnych zdjęć zbieżnych obiektu oraz kombinowanego wyrównania metodą wiązek, połączonego z samokalibracją równoczesną *on-the-job*. Metoda samokalibracji równoczesnej *on-the-job* niemetrycznych aparatów cyfrowych najdokładniej odpowiada rzeczywistym warunkom rejestracji zdjęć i zapewnia optymalny model funkcjonalny wyrównania metodą wiązek.

6. LITERATURA

AICON, 2008. User manual. <http://www.aicon.de>

Luhmann T., 2003. *Nahbereichsphotogrammetrie - Grundlagen, Methoden und Anwendungen*. Wichman Verlag, Heidelberg.

Peipe J., Tecklenburg W., 2006. Vergleich von Softwaretools zur Kamerakalibrierung. *Photogrammetrie, Laserscanning, Optische 3D-Messtechnik*. Wichmann Verlag, Heidelberg, s. 106-111.

Sawicki P., 2001. Rozwiązanie terratriangulacji łącznie z samokalibracją polową aparatu cyfrowego Kodak DC4800. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 11, s. 3/25-3/32.

Sawicki P., 2003. Kalibracja równoczesna aparatu cyfrowego Kodak DC4800 w procesie fotogrametrycznego pomiaru punktów w bliskim zasięgu. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 13, s. 457-466.

Sawicki P., 2006. Współczesne cyfrowe sensory wizyjne w fotogrametrii bliskiego zasięgu. *Geodezja - Półrocznik AGH w Krakowie*, Tom 12, Zeszyt 2/1, s. 397-406.

Sawicki P., Ostrowski B., 2007. Badanie potencjału pomiarowego aparatu cyfrowego typu SLR Kodak DCS Pro 14n (13.5 MP). *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 17, s. 729-738.

Składam podziękowanie dr. inż. Jakubowi Szulwiciowi z Zakładu Geodezji Politechniki Gdańskiej za wypożyczenie do badań aparatu DSLR Mamiya ZD oraz prof. Hansowi-Gerdowi Maas i dr. inż. Danilo Schneider z Instytutu Fotogrametrii i Teledetekcji Uniwersytetu Technicznego w Dreźnie za udostępnienie pola testowego i programu AICON 3D Studio.

THE MAMIYA ZD (21.3 MP) MEDIUM FORMAT DSLR CAMERA – A NEW VISION SENSOR FOR CLOSE RANGE APPLICATIONS

KEY WORDS: DSLR camera, CCD sensor, self-calibration, bundle adjustment, accuracy, close range

Summary

Quality of the radiometric signal, measuring potential, and the photogrammetric self-calibration of the Mamiya ZD medium format digital SLR camera were studied. The DSLR Mamiya ZD camera examined was equipped with 2 exchangeable objectives: Mamiya 645AF 45 mm and 645AF 80 mm.

The noise level and the signal distortion in the CCD FTF4052C sensor (format size of 48×36 mm, full resolution of 5328×4000) was determined with "Image Analysis" software developed by the author. Analysis of 30 image sequences showed the Mamiya ZD camera to be characterised by a low noise level and a high quality of data processing module. In the brightness channel I, the mean standard deviation amounted to StdDev = 1.1 (channel R: StdDev = 1.5; channel G: StdDev = 1.3; channel B: StdDev = 2.3).

The photogrammetric research was conducted in the test field at Institute of Photogrammetry and Remote Sensing, Dresden University of Technology. The test field consisted of a total of 220 signalised, retro-reflective points (60 coded points, 14 bit code). The test field was registered from the distance of ca $Y_F = 5$ m. The camera was calibrated and point determination accuracy was examined based on 3 types of digital image networks which consisted of configurations of 17, 13, and 11 convergent photos.

The bundle adjustment, including on-the-job self-calibration with additional parameters for modelling systematic imaging errors, was carried out with the AICON 3D Studio software package (AICON 3D Systems GmbH, Germany). The correction terms contained additional parameters for compensation of radial-symmetric ($A_{1,2,3}$) and decentering ($B_{1,2}$) lens distortion as well as affinity and shear of the digital image coordinate system ($C_{1,2}$). Additional parameters were implemented in individual calibrations (7, 6, 5). All the points in the digital images were measured fully automatically with the AICON 3D Studio program.

The study showed the highest 3D point positioning accuracy to be achieved with 11 convergent photos. The optimal model of systematic errors consisted of 5 parameters ($A_{1,2}$, $B_{1,2}$, C_1). The point accuracy was independent of the number of calibration parameters.

After the combined bundle adjustment with the self-calibration, the Sigma 0 mean value amounted to $\sigma_0 = \pm 0.055$ pxl. The basic parameters of interior orientation: c_K , x'_o , y'_o were determined with the accuracy of ± 0.15 (for the photos registered with 645AF 45 mm objective) and ± 0.35 pxl (for the 645AF 80 mm objective). The RMS standard deviation of calculated coordinates amounted to: $S_X = \pm 0.03$ mm, $S_Y = \pm 0.07$ mm, $S_Z = \pm 0.02$ mm and $S_X = \pm 0.02$ mm, $S_Y = \pm 0.04$ mm, $S_Z = \pm 0.01$ mm, respectively. In the close range test application presented, using the Mamiya ZD medium format DSLR camera, the relative accuracies of 3D coordinate analytical estimates achieved in the object space were 1:125 000 (for the photos registered with 645AF 45 mm objective) and 1:200 000 (645AF 80 mm objective).

dr inż. Piotr Sawicki
e-mail: piotr.sawicki@geodezja.pl
tel. +89 5233282

WYKORZYSTANIE BEZZAŁOGOWYCH APARATÓW LATAJĄCYCH (MINI ŚMIGŁOWCÓW) DO WYKONYWANIA FOTOGRAMETRYCZNYCH ZDJĘĆ LOTNICZYCH Z NISKICH PUŁAPÓW

THE USE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES (MINI HELICOPTERS) IN PHOTOGRAMMETRY FROM LOW LEVEL

Bogdan Szczechowski

Zakład Geodezji, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Politechnika Gdańska

SŁOWA KLUCZOWE: bezzałogowe aparaty latające w zastosowaniu do wykonywania fotogrametrycznych zdjęć lotniczych z niskich pułapów.

STRESZCZENIE: W artykule przedstawione są wybrane aspekty organizacyjne, techniczne oraz formalno – prawne związane z zastosowaniem bezzałogowych aparatów latających (mini śmigłowców) do wykonywania fotogrametrycznych zdjęć lotniczych z niskich pułapów. W przypadku tego typu aparatów latających do wykonywania zdjęć mogą być wykorzystywane jedynie tzw. kamery niometryczne czyli wybrane aparaty fotograficzne montowane w specjalnej obudowie zainstalowanej pod śmigłowcem.

Aparaty fotograficzne wymagają kalibracji.

W artykule przedstawione są dwa różne zestawy aparatury:

- pierwszy zestaw to miniaturowy mini śmigłowiec o nazwie MD4-200 firmy Microdrones GmbH z Niemiec zaprojektowany z myślą o wykorzystaniu do fotografowania z powietrza różnego rodzaju obiektów; śmigłowiec ma niewielki udźwig – stąd też ma zainstalowany kompaktowy aparat fotograficzny Pentax Optio A40 o rozdzielczości 12 milionów pikseli;
- drugi zestaw to mini śmigłowiec MS EAGLE o udźwigu około 5 kg z zainstalowanym aparatem fotograficznym Canon EOS 5D.

W artykule są przedstawione także możliwości zastosowania tego typu aparatury w różnego rodzaju zagadnieniach pomiarowych; w artykule załączone są także zdjęcia aparatury.

1. WPROWADZENIE

Osoby parające się na co dzień opracowaniami fotogrametrycznymi mają świadomość, że relatywnie najbardziej kłopotliwym elementem technologii pomiarów fotogrametrycznych jest pozyskanie zdjęć terenu lub też zdjęć obiektu.

W przypadkach kiedy przedmiotem pomiaru fotogrametrycznego jest opracowanie z zakresu fotogrametrii lotniczej, pozyskanie zdjęć – w warunkach polskich - jest kłopotliwe przede z powodu konieczności oczekiwania na pogodę sprzyjającą wykonaniu tych zdjęć (pomijam tu koszty wykonania zdjęć).

Łatwiejszą może być sytuacja, kiedy charakter zadania pomiarowego i charakter mierzonego obiektu wymaga wykonania zdjęć naziemnych albo też wykonania zdjęć z niewielkich wysokości np. rzędu kilkudziesięciu metrów nad terenem.

W praktyce w przypadkach wykonywania zdjęć z niewielkich wysokości przez wiele lat dominowała opcja wykorzystywania podnośników samochodowych, których najnowsze konstrukcje pozwalają na osiągnięcie pułapu rzędu 70 metrów. Podnośnik taki wymaga jednak relatywnie dużo miejsca na ziemi, jest kłopotliwy (m.in. może w istotny sposób tamować ruch drogowy) i jest kosztowny.

W przeszłości w Polsce były już czynione próby wykorzystania do wykonywania zdjęć z niskich pułapów bezzałogowych mini samolotów, balonów, sterowców oraz motolotni; m.in. pisze o tym w swoich artykułach w roku 2002 Bogdan Jankowicz (Jankowicz, 2002).

W stosunku do w/w roku 2002 w ostatnich latach w fotogrametrii zaszły istotne zmiany; w szczególności:

- pojawiły się relatywnie niedrogie (koszt rzędu kilkudziesięciu tysięcy złotych) i relatywnie łatwe w obsłudze bezzałogowe aparaty latające,
- pojawiła się cała gama tanich, lekkich, cyfrowych, wysokorozdzielczych, zdalnie wyzwalanych aparatów fotograficznych,
- pojawiły się relatywnie tanie systemy informatyczne (zarówno software jak i dedykowany obserwacjom stereoskopowym hardware) dedykowane kompleksowym opracowaniom fotogrametrycznym wykonywanym na bazie zdjęć wykonywanych aparatami cyfrowymi (zw. kamerami niemetrycznymi) np. PI-3000, polski Dephos, Photo Modeler, AeroSys itp.,
- pojawiły się proste i tanie „systemy” do kalibracji aparatów fotograficznych,
- pojawiła się potrzeba istotnego zwiększenia dyspozycyjności wykonywania zdjęć fotogrametrycznych,
- znaczenia nabrała potrzeba racjonalizacji (zmniejszenia) kosztów wykonania zdjęć lotniczych – szczególnie istotna w przypadkach fotografowania niewielkich obiektów,
- itp.

Wszystkie te elementy razem wytworzyły ciśnienie na powstanie technologii fotogrametrycznej wykorzystującej zdjęcia wykonywane z bezzałogowych aparatów latających.

W niniejszym artykule przedstawiona jest opcja technologii opracowań fotogrametrycznych wykorzystujących bezzałogowe aparaty latające – konkretnie mini śmigłowce – jako platformy nośnej dla aparatów fotograficznych wykonujących zdjęcia fotogrametryczne; w szczególności w pracach doświadczalnych, na bazie których opracowany jest niniejszy artykuł, wykorzystane były dwa różne, niżej opisane zestawy aparatury:

- pierwszy zestaw to miniaturowy, czterowirnikowy mini śmigłowiec o nazwie MD4-200 firmy Microdrones GmbH z Niemiec (rys.1) zaprojektowany z myślą o wykorzystaniu do fotografowania z powietrza różnego rodzaju obiektów; śmigłowiec ma niewielki udźwig – stąd też ma zainstalowany cyfrowy, kompaktowy aparat fotograficzny o nazwie Pentax Optio A40. Wymieniony aparat fotograficzny ma wbudowany obiektyw zoom o ogniskowej w przedziale: 7.9 mm – 23.7 mm (co w przypadku omawianego aparatu stanowi odpowiednik ogniskowej: 37 mm – 111 mm w formacie 35 mm) oraz o rozdzielczości 12 milionów pikseli. Inne parametry techniczne tego zestawu są następujące:
 - waga: 900 gram,
 - udźwig: 200 gram,
 - rozmiar: odległość między osiami śmigieł 700 mm,

- silnik elektryczny,
 - czas trwania pojedynczego lotu: maksymalny - 20 minut na jednym zestawie baterii (wymiana baterii na nowy zestaw pozwala na kolejny lot o czasie trwania 20 minut; mini śmigłowiec jest wyposażony w 4 zestawy baterii, które łącznie pozwalają na wielogodzinny lot z międzylądowaniami co około 15÷20 minut),
 - zasięg lotu: maksymalny 400 metrów,
 - maksymalny pułap 150 metrów – przy tej wysokości lotu rozmiary terenu sfotografowanego na jednym zdjęciu wynoszą: 140x105 m,
 - podgląd obrazu w czasie rzeczywistym – zarówno na ekranie monitora laptopa jak i na ekranie specjalnych okularów,
 - komputer pokładowy wraz z odbiornikiem GPS umożliwia nawigację mini śmigłowca wzdłuż zadanej trasy oraz na zadanej wysokości.
- drugi zestaw to mini śmigłowiec MS EAGLE z zainstalowanym aparatem fotograficznym Canon EOS 5D o matrycy CCD o wymiarach: 35.8 x 23.9 mm, o ogniskowej obiektywu równej 50 mm oraz o rozdzielczości 12 milionów pikseli (rys. 2). Inne parametry techniczne tego zestawu są następujące:
- waga: około 15 kg (z maksymalnym obciążeniem),
 - udźwig maksymalny 5 kg,
 - rozmiary mini śmigłowca: 1400 mm x280 mm x500 mm, rozpiętość łopat 1650 mm,
 - silnik spalinowy o mocy 4.8 KM,
 - czas trwania pojedynczego lotu: maksymalnie 50 minut na jednym baku (uzupełnienie paliwa pozwala na kolejny lot o czasie trwania 50 minut; mini śmigłowiec pozwala na wielogodzinny lot z międzylądowaniami co około 40÷50 minut),
 - zasięg lotu: maksymalny 500 metrów,
 - maksymalny pułap 200 metrów - przy tej wysokości lotu oraz przy zastosowaniu standardowego obiektywu aparatu CANON EOS 5D o ogniskowej 50 mm rozmiary terenu sfotografowanego na jednym zdjęciu wynoszą: 140x105 m,
 - podgląd obrazu w czasie rzeczywistym – na ekranie monitora laptopa,
 - komputer pokładowy wraz z odbiornikiem GPS umożliwia nawigację mini śmigłowca wzdłuż zadanej trasy oraz na zadanej wysokości.



Rys.1. Zdjęcie mini śmigłowca MD4-200 z aparatem cyfrowym Pentax Optio A40



Rys.2. Zdjęcie mini śmigłowca MS EAGLE z zamontowanym aparatem cyfrowym CANON EOS 5D

2. ZALETY I OGRANICZENIA WYKORZYSTANIA MINI ŚMIGŁOWCÓW JAKO PLATFORMY NOŚNEJ DLA KAMER FOTOGRAMETRYCZNYCH

Bezzałogowy aparat latający – jak to już wyżej wspomniano w omawianym w niniejszym artykule przypadku są to dwa różne mini śmigłowce (rys. 1 i 2) – znakomicie wkomponowuje się w istniejącą lukę pułapową: z satelitów wykonuje się zdjęcia fotogrametryczne z pułapu kilkuset kilometrów, z samolotów wykonuje się zdjęcia z pułapu od około 500 metrów do około 4000 metrów a z bezzałogowych aparatów latających wykonuje się zdjęcia z pułapu od kilku metrów począwszy na kilkuset metrach skończywszy.

Zastosowanie bezzałogowych mini śmigłowców jako platformy nośnej kamery fotograficznej w porównaniu do innych podobnych środków latających (bezzałogowych mini samolotów, sterowców, balonów a także motolotni) wykazuje jedną istotną zaletę: charakterystycznym wyłącznie dla mini śmigłowca atutem jest możliwość jego „zawiśnięcia” na pewien okres czasu w jednym miejscu i wykonywania z tego miejsca cyklicznych zdjęć – w określonych, nawet bardzo krótkich odstępach czasu; właściwości tej nie posiadają inne w/w rodzaje aparatów latających. Wykonywanie wielu zdjęć z tego samego, dokładnie wybranego stanowiska, przy jednoczesnym podglądzie kadru zdjęcia w czasie rzeczywistym, jest korzystne przede wszystkim z tego powodu, że umożliwia wybór zdjęcia – z całej plejady zdjęć wykonanych z danego stanowiska – o optymalnych parametrach technicznych (m.in. minimalne kąty φ , ω , κ , właściwe parametry pokrycia podłużnego i poprzecznego zdjęć oraz najlepsza w danych warunkach jakość fotograficzna zdjęcia). Stwierdzić bowiem należy, że wykonywanie zdjęć z tego typu wrażliwych na wiatr aparatów latających, posiada ograniczenia wynikające z braku technicznych możliwości dokładnej stabilizacji kierunku fotografowania kamery i z braku możliwości dokładnej stabilizacji kierunku lotu aparatu a także z powodu wpływu drgań aparatu latającego na ostrość zdjęć.

W stosunku do zdjęć wykonywanych z samolotu (bądź z satelity) zdjęcia fotogrametryczne wykonywane z bezzałogowych aparatów latających (mini śmigłowców) charakteryzują się następującymi właściwościami:

- zdjęcia można wykonywać praktycznie przez cały rok (dla przypomnienia: zdjęcia lotnicze i satelitarne dla potrzeb fotogrametrycznych w Polsce wykonywane są w okresie od początku kwietnia do połowy października),
- zdjęcia wykonywane z mini śmigłowca generalnie nie wymagają szczególnych warunków pogodowych – można je zatem praktycznie wykonywać każdego dnia (zdjęcia lotnicze i satelitarne wymagają bezchmurnej pogody!); w odniesieniu do warunków atmosferycznych ograniczeniem w stosowaniu mini śmigłowca jest silny wiatr i relatywnie zła pogoda (padający deszcz albo padający śnieg itp.),
- atutem zdjęć wykonywanych z bezzałogowych aparatów latających jest fakt, iż z aparatów tych można wykonywać zdjęcia z bardzo niskich pułapów np. począwszy już od kilku metrów co w praktyce stwarza zupełnie nowe możliwości odnośnie zastosowania metod fotogrametrycznych do geometryzacji różnych – zarówno statycznych jak i dynamicznych – niewielkich obiektów,
- zastosowany w naszym przypadku zestaw aparatury posiada następujące właściwości:

- o dzięki komputerowi pokładowemu oraz dzięki odbiornikowi GPS możliwa jest automatyczna nawigacja mini śmigłowca wzdłuż z góry zadanej trasy oraz na zadanej wysokości,
- o możliwe jest zdalne wyzwalanie migawki aparatu fotograficznego,
- o możliwy jest zdalny, w czasie rzeczywistym, podgląd kadru zdjęcia (przed jego wykonaniem); ta właściwość pozwala na kontrolowane z ziemi wykonywanie zdjęć,
- o możliwa jest ciągła zmiana kierunku fotografowania kamery – w trakcie trwania lotu mini śmigłowca; ta właściwość pozwala na wykonywanie podczas jednego lotu mini śmigłowca zarówno tzw. pionowych, zdjęć widokowych jak również zdjęć bocznych względem obiektu - szczególnie dogodnych w przypadkach konieczności fotografowania wysokich elewacji budowli,
- wymieniona już wyżej możliwość „zawiśnięcia” mini śmigłowca na pewien okres czasu w jednym miejscu i wykonywania z tego miejsca cyklicznych zdjęć pozwala także na wykorzystywanie zestawu aparatury do badań geometrycznych dynamicznie zmieniających się obiektów.

Oprócz w/w technicznych zalet zastosowania mini śmigłowca do rejestracji fotogrametrycznej nie sposób nie wymienić zalet natury organizacyjnej i ekonomicznej takiego rozwiązania. W szczególności zastosowanie mini śmigłowca do rejestracji fotogrametrycznej jest wyjątkowo dyspozycyjne (mobilne) – wymaga podjęcia decyzji o konieczności fotografowania, zapakowania do samochodu aparatu i dojazdu do obiektu; oczywistym jest też fakt, że zastosowania takiego aparatu – w porównaniu np. do samolotu – jest też zdecydowanie tańszym przedsięwzięciem.

Mówiąc tak pozytywnie o możliwościach (i o zaletach) zestawu aparatury: **mini śmigłowiec z podwieszoną kamerą fotograficzną** konieczne jest też wymienienie jego ograniczeń, do których należy zaliczyć:

- niewielki udźwig śmigłowca, który wymusza zastosowanie do fotografowania wyłącznie niewielkich, lekkich, cyfrowych aparatów fotograficznych wyposażonych w niewielką wymiarowo matrycę CCD – najczęściej jest to matryca o wymiarach 24x36 mm (np. aparat Canon EOS 5D).

Praktyczną konsekwencją w/w ograniczenia jest relatywnie niewielki zasięg terytorialny rejestrowany na pojedynczym zdjęciu a tym samym i niewielki obszar opracowania fotogrametrycznego realizowanego przy wykorzystaniu omawianej aparatury.

Sposobem, którym można wyraźnie poszerzyć zasięg terytorialny pojedynczego zdjęcia jest zastosowanie w aparatach cyfrowych szerokokątnych lub nadszerokokątnych obiektywów (Eisenbeiss, 2004); w przypadku aparatu fotograficznego Canon EOS 5D, przy obiektywie o ogniskowej 14 mm i przy wysokości lotu około 150 m sfotografowany na jednym zdjęciu obszar ma wymiary około 380 m x 250 m. Możliwe jest także zastosowanie aparatów o większej matrycy CCD, np. aparat MAMIYA ZD, który posiada matrycę o wymiarach 48 x 36 mm.

Liczbowym wymiarem zalecanego zasięgu terytorialnego opracowania fotogrametrycznego wykonywanego przy zastosowaniu omawianej aparatury wydaje się być obszar o powierzchni kilkunastu hektarów – przy obiektach powierzchniowych lub obszar o długości nawet kilku kilometrów – przy obiektach liniowych.

- dużą wrażliwość na wiatr – konsekwencją „bujania” się mini śmigłowca pod wpływem wiatru mogą być nadmiernie nachylone i skrzywione zdjęcia,

- drgania mini śmigłowca – przy braku specjalnego, tłumiącego zawieszenia kamery, drgania powodują nieostrość zdjęć (z dotychczasowych doświadczeń wynika, że część zdjęć wykonywanych z mini śmigłowca jest wyraźnie nieostra z powodu drgań tego aparatu),
- zdalne nawigowanie mini śmigłowcem wymaga dużej praktycznej wprawy łącznie z umiejętnością awaryjnego sprowadzania na ziemię mini śmigłowca przy nie działającym silniku,
- nieuregulowany na dzień dzisiejszy status formalno – prawny lotów bezałogowych aparatów latających.

3. ISTOTNE ELEMENTY POMIAROWEGO CYKLU TECHNOLOGICZNEGO – RÓŻNE OD CYKLU STANDARDOWEGO

W porównaniu do standardowego cyklu technologicznego opracowań fotogrametrycznych, w przypadku pomiarów bazujących na zdjęciach fotograficznych terenu (lub innego obiektu) wykonanych przy wykorzystaniu jako platformy nośnej kamery, bezałogowych aparatów latających, mamy do czynienia z kilkoma cechami odróżniającymi ten proces od standardowego cyklu.

W szczególności w przypadku zastosowania bezałogowych aparatów latających jako platformy nośnej dla aparatu fotograficznego mamy do czynienia z czterema właściwościami, których uwzględnienie wymusza inne niż standardowe podejście do sposobu realizacji pracy; właściwości te są następujące:

1. stosowane do wykonywania zdjęć lekkie, cyfrowe aparaty fotograficzne wymagają przeprowadzenia kalibracji – w dostosowaniu do zastosowanych na danym obiekcie warunków geometrycznych fotografowania,
2. na pojedynczym zdjęciu rejestruje się relatywnie niewielki obszar terenu; tego typu sytuacja wymusza indywidualne – dla każdego obiektu - projektowanie pokrycia podłużnego i poprzecznego zdjęć oraz indywidualne projektowanie gęstości i rozmieszczenia osnowy fotogrametrycznej,
3. spełnienie przez zdjęcia warunków geometrycznych wymaga wyjątkowej staranności w zakresie wyboru stanowisk i w zakresie doboru wysokości fotografowania a także w zakresie jakości fotograficznej i jakości geometrycznej zdjęć,
4. do opracowania zdjęć konieczne jest zastosowanie dedykowanego dla tego typu opracowań systemu informatycznego takiego jak już wcześniej wspomniany system firmy Topcon o nazwie PI-3000, który jest m.in. wyposażony w specjalny monitor (z okularami) umożliwiającą obserwację stereoskopową zdjęć.

Ad 1

Kalibracja aparatu fotograficznego może być przeprowadzona w dwojaki sposób:

- pierwszy sposób kalibracji aparatu fotograficznego jest bardzo łatwy i wygodny – polega on na sfotografowaniu, z pięciu stanowisk w odpowiedni sposób rozmieszczonych w przestrzeni, specjalnych plansz kalibracyjnych, których wzorce są dołączone do takich systemów informatycznych jak PI – 3000 oraz PhotoModeler. Opracowanie zdjęć testowych odbywa się automatycznie pod nadzorem systemu i w przypadku systemu PI-3000 zajmuje nie więcej niż pół godziny; łącznie zatem w czasie około 1 godziny możliwe jest przeprowadzenie kalibracji aparatu niemetrycznego – w zakresie umożliwiającym fotogrametryczne, kompleksowe opracowanie zdjęć.

Opisany proces kalibracji aparatu może być przeprowadzony w kameralnych warunkach – w nieco większym niż typowe pomieszczeniu biurowym.

- drugi sposób kalibracji tzw. niemetrycznego aparatu fotograficznego wymaga odpowiedniego zagęszczenia osnowy terenowej na mierzonym obiekcie; w tego typu przypadkach parametry kalibracji aparatu wyliczane są na podstawie wyników obserwacji zdjęć a ściślej biorąc na podstawie wyników obserwacji punktów osnowy fotogrametrycznej odfotografowanych na zdjęciach. Ten drugi sposób określenia parametrów kalibracji aparatu jest bardziej poprawny, jako że bazuje on na zdjęciach wykonanych w rzeczywistych warunkach, ale wymaga on dużo więcej zabiegów technicznych i jest bardziej czasochłonny.

Ad 2 i 3

Konieczność spełnienia przez zdjęcia odpowiednich parametrów geometrycznych (m.in. minimalne kąty ϕ , ω , κ , zgodne z planowanymi parametry pokrycia podłużnego i poprzecznego zdjęć, zgodna z projektowaną wysokość lotu mini śmigłowca oraz najlepsza jakość fotograficzna zdjęcia) w warunkach małej stabilności platformy nośnej oraz w warunkach rejestracji na pojedynczym zdjęciu relatywnie niewielkiej powierzchni terenu jest w omawianym przypadku niezwykle istotna.

Dla potrzeb spełnienia przez zdjęcia w/w parametrów proponuje się następujące rozwiązania techniczne i organizacyjne:

1. Dla zagwarantowania odpowiednich kątów ϕ , ω , κ oraz dla zagwarantowania dobrej jakości fotograficznej zdjęcia proponuje się wykonywanie na każdym stanowisku kilku zdjęć, np. 5 zdjęć (a w szczególnie trudnych warunkach nawet 10 zdjęć), z których do opracowania należy wybrać – po analizie – najlepsze z tych zdjęć; dodać przy tym należy, że wykonanie więcej niż jednego zdjęcia na pojedynczym stanowisku nie pociąga za sobą praktycznie żadnych ujemnych konsekwencji (w minimalnym stopniu wydłuża jedynie czas misji lotniczej).

Warto tutaj ponownie przytoczyć fakt, że tylko śmigłowiec pozwala na wykonywanie wielu zdjęć z tego samego stanowiska „zdjęciowego”.

2. W celu zagwarantowania parametrów pokrycia podłużnego i poprzecznego zdjęć można zastosować taki parametr pokrycia, który gwarantowałby możliwość opracowania zdjęć nawet wtedy kiedy trzeba by pominąć zdjęcia z jakiegoś pojedynczego stanowiska.

W przedmiocie ustalania lokalizacji stanowisk fotografowania możliwych jest kilka rozwiązań:

- pierwsze rozwiązanie, w którym lokalizację stanowisk ustali się poprzez wskazanie konkretnych miejsc, nad którymi powinien zawisnąć śmigłowiec np. mogą to być krawędzie i środek odkrywki archeologicznej dodatkowo oznakowane w terenie dużymi kontrastowymi planszami,
 - drugim rozwiązaniem może być pomiar – techniką GPS - współrzędnych punktów naziemnych nad którymi powinien zawisnąć mini śmigłowiec i następnie wprowadzenie tych współrzędnych do komputera pokładowego mini śmigłowca i realizacja tych stanowisk przez automatyczną – ale monitorowaną z ziemi – nawigację mini śmigłowca,
 - inne rozwiązania.
3. W celu zagwarantowania zaplanowanej wysokości lotu mini śmigłowca należy zastosować urządzenie do zdalnej kontroli tego parametru – może to być specjalny wysokościomierz albo też można skorzystać z odpowiednio dobranego odbiornika GPS; warto tutaj dodać, że w omawianym przypadku nie jest wymagana wysoka

dokładność określenia wysokości lotu mini śmigłowca (wystarcza dokładność na poziomie kilku metrów).

Ad 4

Koniecznym dla fotogrametrycznego opracowania zdjęć wykonanych tzw. kamerami niemetrycznymi jest zastosowanie specjalistycznego oprogramowania. Stosunkowo najbardziej efektywnym rozwiązaniem jest zastosowanie dedykowanych dla tego typu opracowań systemów informatycznych takich jak np.

- kilkakrotnie już wymieniany system firmy Topcon o nazwie PI-3000,
- system o nazwie Photo Modeler,
- polski system o nazwie Dephos,
- system o nazwie AeroSys.

Pierwsze dwa z w/w systemów są wyposażone w moduł do kameralnej, bardzo sprawnej kalibracji aparatu fotograficznego – chociażby z tego powodu ich zastosowanie jest bardziej efektywne niż dwóch pozostałych.

4. MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA ZDJĘĆ LOTNICZYCH WYKONYWANYCH Z BEZZAŁOGOWYCH APARATÓW LATAJĄCYCH

Mając na uwadze wyżej wymienioną charakterystykę zdjęć lotniczych wykonywanych z mini śmigłowca zasadnym jest wykorzystywanie przedmiotowej techniki w następujących zagadnieniach:

1. wykonywanie aktualnej mapy fotograficznej (tzw. ortofotomapy lub fotoszkieca) terenów przeznaczonych pod ważne inwestycje – o obszarach nie większych niż kilkanaście hektarów,
2. dokumentowanie postępu prac na szczególnie ważnych inwestycjach zarówno drogowych (np. na budowie autostrady A1, w tym na budowie węzłów tej autostrady) jak i wieloprzemysłowych (np. budowa kolejnych terminali w Porcie Północnym), bądź wielkoobszarowych (np. budowa hipermarketów itp.),
3. opracowanie dokumentacji technicznej dla sprawnego zarządzania infrastrukturą drogową (np. poprzez opracowanie tzw. fotoszkieca przedstawiającego pas drogowy na całej jego długości itp.);
4. dokumentowanie odkrywek archeologicznych wraz z opracowaniem stosownej dokumentacji inwentaryzacyjnej z tych odkrywek (przedmiotową technologią opracowano ortofotomapę odkrywki archeologicznej - na podstawie zdjęć wykonanych z mini śmigłowca MD4-200; do opracowania wykorzystano system informatyczny firmy Topcon PI-3000).
5. inwentaryzacja obiektów zabytkowych, szczególnie w konwencji rysunków tzw. 3D (fotografowanie z mini śmigłowca jest szczególnie przydatne w przypadkach trudnego dostępu do inwentaryzowanego obiektu, w przypadkach konieczności fotografowania górnych fragmentów wysokich elewacji budowli oraz w przypadkach kiedy obiekt jest rozległy),
6. rejestracja miejsc katastrof przestrzennych (np. teren po przejściu trąby powietrznej) oraz katastrof drogowych (rejestracja dla potrzeb sądowych miejsc katastrof drogowych),
7. pomiary (np. objętości) mocno nieregularnych powierzchni, np. składowisk węgla,
8. inwentaryzacja napowietrznych linii energetycznych,
9. inwentaryzacja brzegów klifowych,

10. rejestracja stanu zapełnienia zbiorników oczyszczalni ścieków,
11. rejestracji lokalnych zagrożeń środowiska, np. hałdy fosfogipsów w okolicach Gdańska,
12. rejestracja zjawisk dynamicznych, np. wodowania kadłubów statków, falowania morskiego, falowania na modelach hydraulicznych itp.
13. innych, np. przypadków, w których zdalna rejestracja fotograficzna niebezpiecznego zjawiska wykonywana z bezzałogowego aparatu latającego pozwala na uniknięcie zagrożenia życia lub zdrowia ludzkiego.

5. WNIOSKI KOŃCOWE

Zdaniem autora niniejszego artykułu zastosowanie mini śmigłowca do rejestracji fotogrametrycznej jako wyjątkowo dyspozycyjne (mobilne) i ekonomiczne jest „skazane” na sukces; niesie ono także za sobą zupełnie nowe, dotąd nie penetrowane przez fotogrametrię możliwości zastosowań.

6. LITERATURA

Eisenbeiss H., 2004. A mini unmanned aerial vehicle: system overview and image acquisition. *International Workshop*, Thailand.

Jankowicz B., 2002. Zastosowanie niskopułapowych lotów bezzałogowych dla fotogrametrycznego pozyskiwania informacji o terenach wiejskich. *Materiały Ogólnopolskiego Sympozjum Naukowego*, Białobrzegi – Warszawa.

Jankowicz B., 2002. Przydatność obrazów rejestrowanych kamerami APS (Advanced Photo System) z nalołów niskopułapowych dla fotogrametrycznego monitoringu obszarów wiejskich. *Materiały Ogólnopolskiego Sympozjum Naukowego*, Białobrzegi – Warszawa.

Nikiel S., Kupaj M., 2004. Fotogrametria w komputerowym modelowaniu obiektów architektonicznych. *Pomiary Automatyka Robotyka* nr 7-8.

Tokarczyk R., 2007. Automatyzacja pomiaru na obrazach cyfrowych w systemie fotometrycznym do badania wady postawy. *Uczelniane Wydawnictwa Naukowe – Dydaktyczne*, Kraków.

Rodriguez B, Garcia S., Pifiero Y., 2008. Experiences using non-metric cameras in photogrammetry. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Part B5, Beijing.

Yongjun Zhang, 2008. Photogrammetric processing of low altitude image sequences by unmanned airship. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Part B5, Beijing.

THE USE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES (MINI HELICOPTERS) IN PHOTOGRAMMETRY FROM LOW LEVEL

KEY WORDS: unmanned aerial vehicles, photogrammetry from low level.

Summary

The paper discusses organizational, technical, legal and formal issues of unmanned aerial vehicles use in photogrammetry from low level. This type of photogrammetry makes use of certain selected types of calibrated, non-metric cameras only. The cameras are placed in a box installed under the helicopter.

Two different sets of equipment are described:

- The MD4-200 mini helicopter manufactured by Microdrones GmbH (Germany) and a Pentax Optio A40 compact digital camera with 12.0 effective megapixels,
- The MS EAGLE mini helicopter with 5 kg load capacity and a Canon EOS 5D photo camera.

The paper discusses also some applications of the equipment.

dr ing. Bogdan Szczechowski
e-mail: bogdanz_gda@op.pl
tel. 0 603751274,

ANALIZA RZEŻBY BRZEGU NA PODSTAWIE NUMERYCZNEGO MODELU TERENU

DIGITAL TERRAIN MODEL-BASED COAST RELIEF ANALYSIS

Paweł Terefenko, Kazimierz Furmańczyk, Michał Łapiński

Instytut Nauk o Morzu, Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Szczeciński

SŁOWA KLUCZOWE: brzeg, bezpieczeństwo, rzeźba, NMT, TIN

STERESZCZENIE: Strefa brzegowa morza to bardzo ważny gospodarczo i społecznie obszar wzajemnej interakcji pomiędzy trzema żywiołami: lądem, morzem i atmosferą a obecnością i działalnością ludzką. Od wieków człowiek obserwuje i bada wybrzeże w celu przewidzenia jego zmiennej natury i ujarzmienia jej. Ochrona brzegu morskiego zmierza przede wszystkim do powstrzymania i usuwania skutków niszczącej działalności morza. Aby działania takie mogły przynieść pożądany skutek niezbędna jest wiedza o miejscu występowania najbardziej wrażliwych i narażonych części brzegu. W tym celu przeprowadzono analizę rzeźby dla pasa technicznego Urzędu Morskiego w Szczecinie z wykorzystaniem numerycznego modelu terenu. Numeryczny model terenu z uwagi na duże możliwości jakie daje informatyka stał się istotnym elementem w modelowaniu różnorodnych zjawisk przestrzennych w systemach GIS. W niniejszym opracowaniu model utworzony na podstawie mapy zasadniczej z roku 2002 w skali 1:2000 był podstawą do przeprowadzenia analiz i w rezultacie pozwolił na stworzenie klasyfikacji morfologicznej badanego terenu i jego ocenę pod kątem zagrożeń od strony morza. Niniejsze badania mogą służyć jako podstawa do bardziej złożonych analiz zmian rzeźby brzegu morskiego z uwzględnieniem dodatkowych parametrów takich jak tempo erozji i akumulacji oraz wzrost poziomu morza.

1. WSTĘP

Problem zapewnienia bezpieczeństwa brzegów morskich rósł w miarę jak wzrastała gęstość zaludnienia obszarów przybrzeżnych, a zwłaszcza stopnia ich zagospodarowania. Obecne od strony morza niebezpieczeństwa zagrażające rozrastającym się miejscowościom wypoczynkowym uzasadniają wzrastające inwestycje na ochronę brzegu. Jednak każda ingerencja w naturalny system ma swoje konsekwencje. I tak budowa portów z wysuniętymi daleko w morze falochronami wywołała zakłócenia w naturalnym transporcie osadów. Osady rzeczne wynoszone są od razu daleko od brzegu, na większe głębokości, a wzdłuż-brzegowy transport osadów jest zatrzymany w pachwinach falochronu, powodując jego niedobór po drugiej stronie. Niedobór transportowanego materiału osadowego powodował silną erozję brzegu, która zmuszała do jeszcze bardziej intensywnych procesów ochronnych. Budowa kolejnych umocnień brzegu doprowadziła w konsekwencji do sytuacji kiedy to w 1993 roku odnotowano, że 22% całego polskiego wybrzeża jest chronione różnorodnymi

konstrukcjami (Basiński, et al., 1993). W 2005 roku wskaźnik ten wzrósł do 26% (Furmańczyk, 2005).

2. OBSZAR BADAŃ

W polskim prawie definicja strefy brzegowej zastąpiona jest definicją pewnych obszarów całkowicie lub częściowo wchodzących w skład strefy brzegowej (Furmańczyk 2005). W ustawie „O obszarach morskich Rzeczypospolitej Polskiej i administracji morskiej” wyróżnia się obszary morskie Rzeczypospolitej Polskiej oraz pas nadbrzeżny. Pas nadbrzeżny jest obszarem lądowym przyległym do brzegu morskiego, w skład którego wchodzi pas ochronny oraz pas techniczny – stanowiący strefę wzajemnego, bezpośredniego oddziaływania morza i lądu. Jest on przeznaczony do utrzymania brzegu w stanie zgodnym z wymogami bezpieczeństwa i ochrony środowiska (ustawa z dn. 21.03.1991 r.). Właśnie obszar pasa technicznego, podlegającego jurysdykcji Urzędu Morskiego w Szczecinie, objęty został badaniami, których celem było wydzielenie klas związanych z morfologią brzegu. Cały analizowany obszar obejmuje 82 km brzegu rozciągającego się od granicy polsko-niemieckiej w rejonie Świnoujścia, aż do zachodniej granicy gminy Mrzeżyno Gryfickie, gdzie kończy się zakres obowiązków Urzędu Morskiego w Szczecinie.

Obecny krajobraz obszaru badań jest efektem wielu działających wspólnie czynników, wśród których do najważniejszych należą: wpływ ostatniego zlodowacenia, zmiany poziomu morza oraz procesy brzegowe. Działające siły ukształtowały, wyraźnie dziś widoczne dwie dominujące struktury, czyli nisko położone równiny aluwialne i zastoiskowe oraz wysoczyzny morenowe. Równiny oddzielone są od morza pasem nadmorskich wyd. Wyraźny wzrost poziomu morza w ostatnich dziesięcioleciach stwarza realne zagrożenie przerwania bariery wydymowej i zalania zaplecza. Konsekwencje takiej sytuacji mogą być bardzo poważne, zwłaszcza gdy powodzą sztormową zostanie dotknięta infrastruktura miejscowości wypoczynkowych.

W związku z powyższym zdecydowano się, przy wykorzystaniu numerycznego modelu terenu, przeprowadzić analizę rzeźby brzegu podlegającego administracji Urzędu Morskiego w Szczecinie.

3. NUMERYCZNY MODEL TERENU

W dobie map numerycznych i komputerowego przetwarzania danych istnieje możliwość przedstawienia rzeźby terenu w formie numerycznego modelu terenu – NMT (ang. Digital Terrain Model – DTM). NMT jest to w uproszczeniu zbiór punktów o znanym położeniu (współrzędne x i y) i wysokości (h), reprezentujących na danym obszarze fizyczną powierzchnię terenu. Punkty te są na tyle gęsto rozmieszczone, że reprezentują quasi-ciągłą powierzchnię terenu z jej formami. Punkty NMT mogą tworzyć regularną siatkę kwadratów zwaną GRID, o znanym „oczku” (tj. długości boku kwadratu) lub nieregularną sieć trójkątów zwaną TIN (Kurczyński, et al., 2007).

Podczas budowy modelu wykorzystanego w niniejszym opracowaniu wykorzystano istniejące mapy pasa technicznego Urzędu Morskiego w Szczecinie z roku 2002 w skali 1:2000. Opracowanie NMT polegało na wektoryzacji w programie ArcGIS 9.1 punktów wysokościowych przedstawionych na mapach. Sporządzona została mapa punktów sytuacyjnych wraz z ich wysokościowym oznaczeniem w tabeli atrybutów. W obrębie

obszaru badań na mapie źródłowej znajdowało się około 25000 punktów pomiarowych. Jednocześnie wykorzystano otrzymaną od Urzędu Morskiego cyfrową mapę poziomą w formacie „dxf” wraz z ich oznaczeniem wysokościowym. W celu ujednolicenia bazy danych format „dxf” przetworzony został za pomocą programu ArcGIS 9.1 do formatu „shp” a następnie zaimportowany do geobazy stworzonej na potrzeby przygotowywanego modelu numerycznego terenu. Na podstawie przygotowanej w ten sposób bazy danych opracowano numeryczny model terenu. Wykonany został model TIN (Triangular Irregular Network), który powstaje w wyniku triangulacji spełniającej warunek Delaune’a (Makowski, 2005). Model taki w pełni zachowuje informacje o położeniu punktów pomierzonych w celu określenia formy powierzchni terenu. Do zbudowania siatki wybiera się bok początkowy łączący dwa kolejne punkty, a następnie znajduje się trzeci wierzchołek trójkąta położonego na okręgu opisanym na tym trójkącie w ten sposób, aby żaden inny punkt nie znajdował się wewnątrz tego okręgu (Kurczyński, et al., 2007).

Decyzja o zastosowaniu modelu TIN wynikała z możliwości jego bezpośredniej rozbudowy o nowe elementy bez potrzeby ich ponownej interpolacji, w przypadku gdy wielkość i orientacja nowych trójkątów nie pokrywała się z już istniejącymi oczkami siatki. Jednocześnie model TIN pozwala na łatwiejsze przedstawienie wszelkich nieciągłości terenu (Kurczyński, et al., 2007), co w przypadku analizy obszarów klifowych miało istotne znaczenie.

Wadą zastosowanej metody kartograficznej pozyskiwania danych do numerycznego modelu terenu są trudności z rekonstrukcją form terenowych przedstawianych na mapach za pomocą znaków umownych, takich jak skarpy, nasypy. W związku z powyższym w celu weryfikacji poprawności przygotowanego modelu TIN konieczne było przeprowadzenie wizji lokalnej i sprawdzenie czy automatyczny proces triangulacji nie spowodował błędów przy odwzorowywaniu charakterystycznych form rzeźby terenu. Fragmenty modelu, które zidentyfikowano jako błędnie przedstawione poddane zostały przetworzeniu poprzez manualną korektę sieci punktów. Taki zabieg był tym bardziej czasochłonny im sieć punktów była rzadsza, a rzeźba terenu bardziej urozmaicona. Efektem błędnej triangulacji były przekłamane płaskie obszary, nienaturalnie ostre lub gładkie krawędzie, gwałtownie kończące się formy rzeźby terenu o charakterze ciągłym. Korekta polegała na weryfikacji konstrukcji linii szkieletowych modelu i lokalizacji miejsc, w których niezbędne było wprowadzenie nowych obiektów pozwalających aby model po interpolacji odzwierciedlił rzeczywisty układ rzeźby terenu.

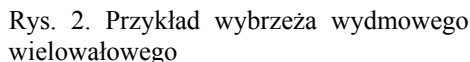
W wyniku przeprowadzonych prac powstał numeryczny model terenu oparty na skali 1:2000 obejmujący 82 kilometry pasa technicznego brzegu o szerokości od stu pięćdziesięciu metrów do jednego kilometra. Przykładowe fragmenty modelu przedstawiają rys. 1-5.

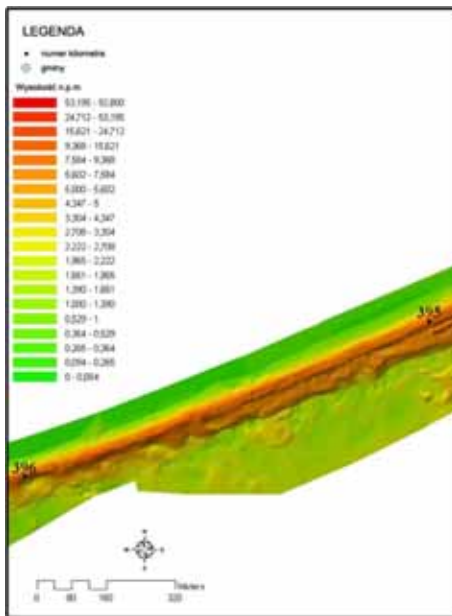
4. ANALIZA RZEŻBY TERENU

Analiza rzeźby badanego terenu za pomocą numerycznego modelu terenu pozwoliła na jego klasyfikację na odcinki o dominującym tam typie ukształtowania. Należą do nich następujące odcinki:

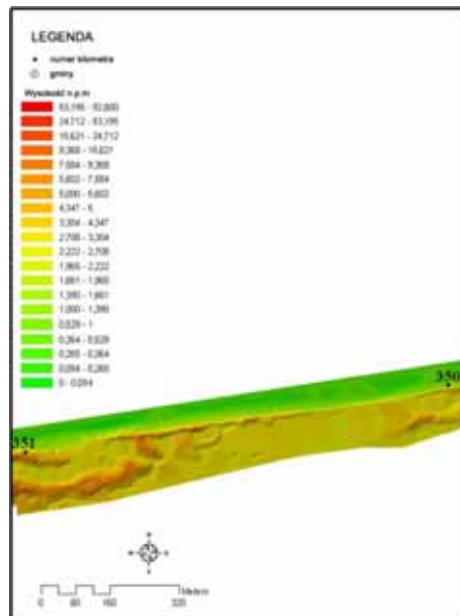
- klify
- brzeg wydmy wielo-wałowy
- brzeg wydmy jedno, dwu-wałowy wysoki
- brzeg wydmy jedno, dwu-wałowy niski

- Wybrzeże klifowe (rys.1.) na badanym obszarze występuje w dwóch odcinkach, po wschodniej stronie wybrzeża od okolic Niechorza (367,6 km – według kilometraża polskiego wybrzeża) po kilometr 385,3 oraz po stronie zachodniej, od 297,3 w okolicach Świętougścia poprzez Woliński Park Narodowy do 411,8 km w okolicach Międzyzdrojów. Na pierwszym odcinku wysokości ściany klifu są umiarkowanie średnie od około 9 m w okolicach Pobierowa do prawie 17 metrów w Trzęsaczu. Na drugim odcinku wysokości są zdecydowanie wyższe i sięgają nawet blisko 90 metrów. Najwyższa, zanotowana wysokość znajduje się kilkanaście metrów za krawędzią klifu w stronę lądu przy kilometrze 409,3 i osiąga 92,8 m n.p.m..

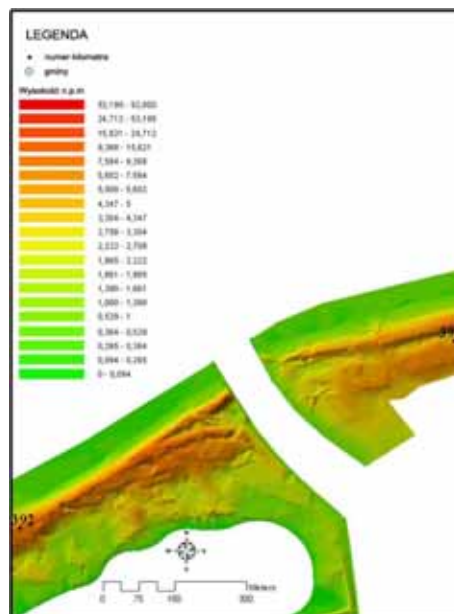




Rys. 3. Przykład wybrzeża wydowego jedno lub dwuwałowego wysokiego



Rys. 4. Przykład wybrzeża wydowego jedno lub dwu-wałowego niskiego



Rys. 5. Przykład ujścia rzeki przedstawiony na numerycznym modelu terenu

Brzeg wydowy jedno lub dwu-wałowy wysoki (rys.3.) reprezentowany jest przez obszary, których pierwszy lub drugi wał wydowy jest dobrze ukształtowany.

Wysokość i szerokość wału pozwala na to, aby w czasie wezbrania sztormowego stanowił on solidną barierę przed wtargnięciem wód w głąb lądu. W przypadku występowania wału pojedynczego jego szerokość waha się od 40 do 90 metrów, a wysokość mieści się w granicach 6-12 m n.p.m.. Cechą charakterystyczną jest stok odmorski, który jest stromy wskutek okresowej erozji brzegu podczas gdy stok odlądowy jest łagodny.

Brzeg jedno lub dwu-wałowy niski (rys.4.) charakteryzuje się względnie niskimi wysokościami koron wydmy i bardzo wąskimi szerokościami, stanowiącymi tym samym zagrożenie przerwania podczas wezbrania sztormowego.

Na obszarze badań znajdują się ujścia czterech rzek (rys.5.): Świny, Dziwny, Liwki i Regi. Ukształtowanie rzeźby przy każdym ujściu jest podobne. Wydma przecięta korytem rzeki jest rozczłonkowana w charakterystyczny sposób. Jej równoległe do siebie fragmenty rozchodzą się w kierunkach lądu tworząc lejkowaty kształt obniżenia, którym rzeka uchodzi do morza. Wszystkie brzegi rzek, z wyjątkiem najmniejszej Liwki są chronione falochronami.

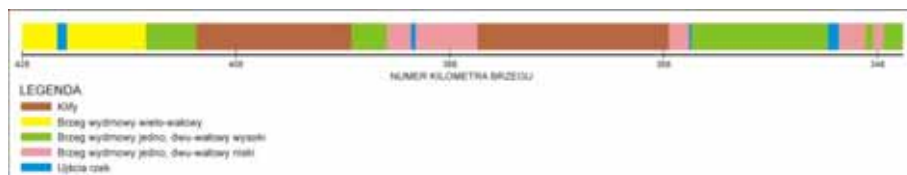
5. WYNIKI

Zgodnie z przedstawionymi powyżej zasadami podzielono badany odcinek brzegu na 5 klas. Wynik przedstawiono w postaci przestrzennego diagramu (rys. 6.). Natomiast zbilansowanie udziału poszczególnych klas w długości całego badanego obszaru o długości 82 km przedstawiono w postaci diagramu kołowego (rys.7.)

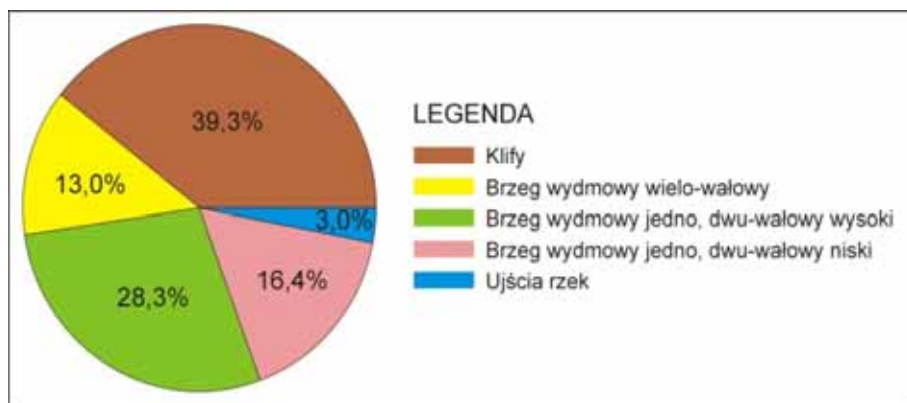
Obszary ujścia rzek: Świny, Dziwny, Liwki i Regi są, ze względu na obecność falochronów, zagrożone erozją brzegu i przerwaniem wałów wydmy. Ich łączna długość wynosi 2,5 km, co stanowi 3% badanego brzegu.

Niski pas jedno lub dwu-wałowych słabo ukształtowanych wydmy występuje w kilku miejscach – na odcinkach 385,3-393,8 (okolice ujścia Dziwny), 365,5-367,5 (okolice Niechorza) 349,3-351,6 (okolice Mrzeżyna) oraz 347,5 – 348,5 km (okolice Rogowa) na łącznej długości 13,5 km, co stanowi 16,4 % badanego brzegu.

Brzeg wydmy jedno lub dwu-wałowy wysoki występuje na długości 23,3 km, co stanowi 28,3% badanego brzegu, natomiast klify – występują na długości 32 km (39,3 km). Można więc stwierdzić, że brzeg, na długości 16 km (19,4%) może w przyszłości być zagrożony powodzią sztormową o ile nie zostaną podjęte odpowiednie środki zaradcze. Pozostałe 66 km brzegu (80,6%) nie powinno być dotknięte powodzią sztormową, natomiast mogą tam wystąpić zjawiska erozji brzegu, przez co może być zagrożona infrastruktura miejscowości nadmorskich.



Rys. 6. Diagram przedstawiający rozkład przestrzenny wydzielonych klas



Rys. 7. Diagram kołowy przedstawiający udział poszczególnych klas w długości całego odcinka

6. WNIOSKI

Opracowany NMT wykonany w szczegółowej skali 1:2000 pozwolił na sporządzenie klasyfikacji morfologicznej brzegu oraz określenie rodzaju i stopnia zagrożenia brzegu powodzią sztormową.

Określono, że spośród 82 km odcinka badanego brzegu, 16 km (19,4%) posiada brzeg najsłabszy gdzie wskutek ekstremalnego sztormu wały wydymowe mogą zostać rozmyte i woda może wtargnąć na ich zaplecze

7. LITERATURA

Basiński T., Pruszek Z., Tarnowska M., Seidler R. 1993. Ochrona brzegów morskich IBW PAN, Gdańsk.

Furmańczyk K., 2005. ZZOP w Polsce – stan obecny i perspektywy. Problem erozji brzegu. Wydawnictwo Oficyna In Plus, Szczecin.

Keilhack K., 1914. Erläuterungen zur Geologischen Karten von Preussen und benachbarten Bundesstaaten. Blatt Swinemunde. Berlin

Kurczyński Z., Gotlib D., Olszewski R., Kaczyński R., Butowtt J., 2007. Systemy informacji geograficznej w praktyce (Studium Zastosowań), red. M.Kunz, Wyd. UMK, Toruń.

Makowski A., 2005. Systemy informacji topograficznej kraju. Teoretyczne i metodyczne opracowanie koncepcyjne. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.

DIGITAL TERRAIN MODEL-BASED COAST RELIEF ANALYSIS

KEY WORDS: coast, safety, relief, DEM, TIN

Summary

The coastal zone of the sea is an economically and socially important area of interaction between three basic elements: the land, the sea and the atmosphere; it is also affected by human activities. Coastal processes have been for ages investigated to forecast, restrain, and tame their nature. Coastal defence systems are mostly designated to stop or mitigate destructive effects of the sea. Such activities can succeed only if there is sufficient knowledge on the most sensitive and fragile parts of the coast. To identify such areas, a coast strip managed by the Szczecin Maritime Office was analysed with a digital terrain model. Due to its large technical potential, the digital terrain model (DTM) has become a very important tool in modelling of a variety of spatial phenomenon within GIS systems. In this work, a TIN model developed from a 1:2000 map of a technical strip belt for 2002 was used to analyse the morphology of the Polish coast. The analysis allowed to distinguish several morphological classes; in addition, coastal safety classes were identified. The results should be analysed in a wider context taking into account additional variables such as erosion and accumulation rates or the mean sea level rise.

mgr Paweł Terefenko
e-mail: teref@univ.szczecin.pl
tel. +48 91 444 23 54
fax. +48 91 444 24 51

dr hab. prof. US Kazimierz Furmańczyk
e-mail: kaz@univ.szczecin.pl
tel. +48 91 444 23 54
fax. +48 91 444 23 51

mgr Michał Łapiński

FOTOGRAMETRYCZNY POMIAR ELEMENTÓW WALCOWANYCH

PHOTOGRAMMETRIC MEASUREMENT OF ROLLED ELEMENTS

Regina Tokarczyk¹, Katarzyna Skoczek²

¹ Katedra Geoinformacji, Fotogrametrii i Teledetekcji Środowiska, Wydział Geodezji
Górnictwej i Inżynierii Środowiska, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

² Absolwentka Wydziału Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska,
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

SŁOWA KLUCZOWE: fotogrametria bliskiego zasięgu, cyfrowy aparat fotograficzny, przetwarzanie obrazów, automatyczny pomiar na obrazach cyfrowych.

STRESZCZENIE: Opracowanie fotogrametrycznej metody pomiaru służącego wyznaczeniu przemieszczeń i odkształceń elementów walcowanych przeprowadzono w ramach międzynarodowego projektu prowadzonego przez Katedrę Przeróbki Plastycznej i Metaloznawstwa Metali Nieżelaznych AGH pt.: „Badanie płynięcia materiału w procesie walcowania pielgrzymowego na zimno”. Badania nowego procesu walcowania pielgrzymowego prowadzone są na modelu fizycznym walcarki pielgrzymowej. Doświadczenia wykonywane są na materiałach niemetalicznych (plastelina, woski), i metalicznych (ołów, aluminium). Celem pracy jest opracowanie metody pomiaru służącego wyznaczeniu odkształcenia materiału walcowanego z plasteliny, mającego przed walcowaniem kształt wydrążonego walca, a w trakcie walcowania - stożka ściętego. Jako metodę pomiaru zaproponowano wcięcie w przód z dwu zdjęć zbieżnych o znanej orientacji wewnętrznej i zewnętrznej, po procesie orientacji wzajemnej i bezwzględnej. Do rejestracji obrazów wykorzystano skalibrowaną cyfrową lustrzankę Nikon D80, z matrycą 10 megapikseli oraz stałogniskowym obiektywem Sigma EX DG 20/1,8. Wykonano próbę automatyzacji pomiaru sygnałów na elemencie walcowanym z użyciem narzędzi programu Matlab. Przetestowano dwie metody pomiaru: filtracji regionów do detekcji markerów i wagowanego środka ciężkości do pomiaru ich centrów oraz alternatywnie metodę wieloetapowego ścienniania na zbinaryzowanym obrazie.

1. WSTĘP

Wśród wielu zastosowań inżynierskich fotogrametrii często spotyka się pomiary 3D fizycznych modeli procesów przemysłowych. Bezkontaktowość pomiarów, archiwizacja danych pomiarowych, możliwość badania różnorodnych zjawisk oraz przy zastosowaniu rejestracji cyfrowej – automatyzacja i pomiar *real-time* - czynią metody fotogrametryczne bezkonkurencyjnymi w porównaniu do innych metod. W badaniach modelowych oczekiwane dokładności pomiaru są zwykle wysokie, zwłaszcza w przypadku analiz dokonywanych na podstawie modeli pomniejszych w porównaniu do rzeczywistej wielkości (Wong *et al.*, 1978), (Gutu, 1978), (Tokarczyk *et al.*, 1981), (Tokarczyk, 1990). Dokładności takie z powodzeniem są uzyskiwane przy użyciu kamer niemetrycznych, w tym aparatów fotograficznych, których zalety: relatywnie niska cena, duży zakres ogniskowania i coraz większa rozdzielczość geometryczna spowodowały,

że w fotogrametrii bliskiego zasięgu są podstawowym narzędziem rejestracji fotograficznej.

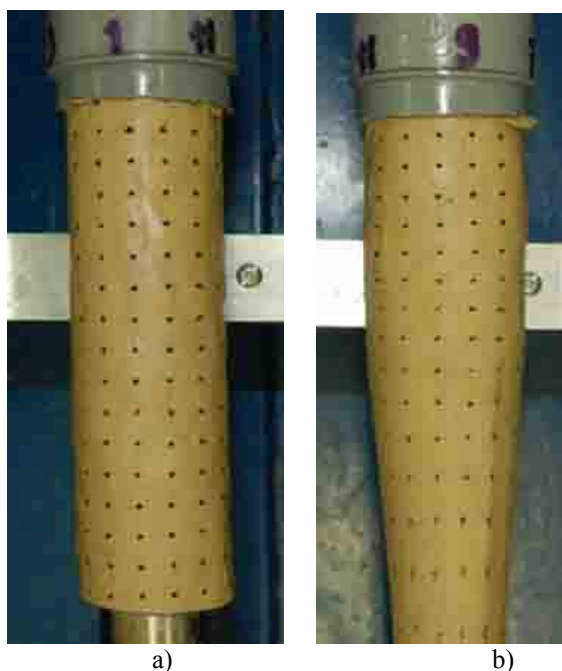
Jednym z ważniejszych problemów do pokonania na drodze uzyskania wysokich dokładności jest problem sygnalizacji mierzonego obiektu. Wystąpił on w opisanym poniżej zagadnieniu: wyznaczeniu przemieszczeń i odkształceń elementów walcowanych. Badania przeprowadzono w ramach międzynarodowego projektu prowadzonego przez Katedrę Przeróbki Plastycznej i Metaloznawstwa Metali Nieżelaznych AGH pt.: „Badanie płynięcia materiału w procesie walcowania pielgrzymowego na zimno”.

2. CHARAKTERYSTYKA MIERZONEGO OBIEKTU

Celem projektu jest analiza nowej koncepcji procesu walcowania pielgrzymowego rur miedzianych na zimno. Pielgrzymowanie rur na zimno jest jedną z najbardziej zaawansowanych technologii wytwarzania rur miedzianych. Metoda ta pozwala uzyskać rury o znakomitej jakości powierzchni zewnętrznej i wewnętrznej oraz o bardzo dobrych właściwościach fizycznych i mechanicznych. Przy użyciu nowej metody osiąga się odkształcenia całkowitego elementu walcowanego w procesie walcowania dochodzące do 95%. Konieczne są zatem badania wpływu procesu walcowania na wielkość tych odkształceń oraz zachowanie się materiału poddanego walcowaniu.

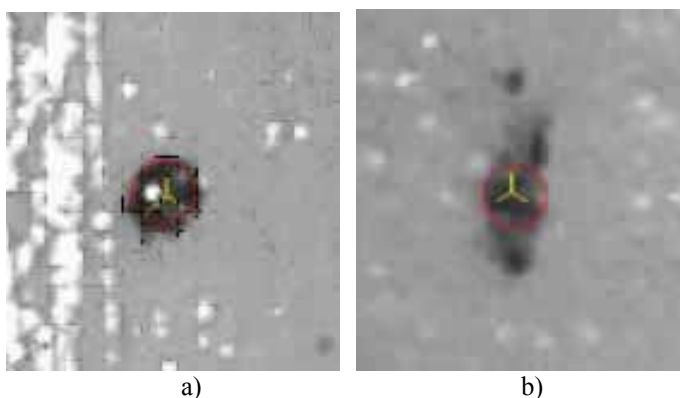
Badania te prowadzone są na modelu fizycznym walcarki pielgrzymowej nowej generacji w laboratorium Katedry Przeróbki Plastycznej i Metaloznawstwa Metali Nieżelaznych AGH. Pierwsze doświadczenia były prowadzone na materiałach niemetalicznych (plastelina, woski), a w końcowej fazie na materiałach metalicznych (ołów, aluminium). Zaproponowana metoda pomiaru służy do wyznaczenie odkształcenia materiału walcowanego z plasteliny, mającego przed walcowaniem kształt wydrążonego walca, a w trakcie walcowania - stożka ściętego (rys. 1).

Odształcany materiał w procesie walcowania wykonuje ruchy posuwisto-zwrotne i jest obracany dookoła osi prowadnika, na którym się znajduje. Zatem w poszczególnych fazach procesu nie tylko jest odkształcany, ale zmienia swoje położenie, co należy uwzględnić przy obliczaniu odkształceń z różnic położenia punktów na walcowanym elemencie.

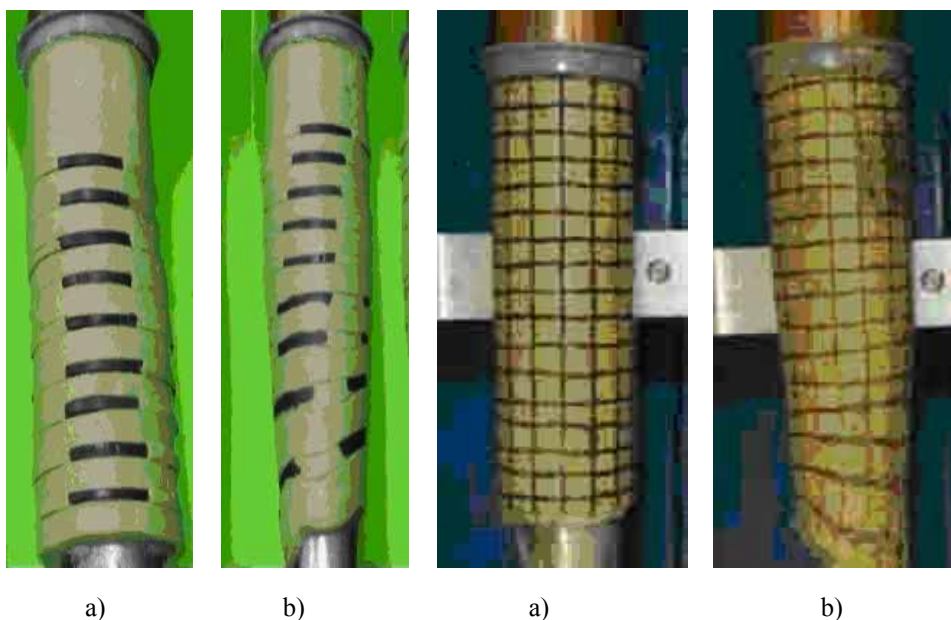


Rys.1. Materiał walcowany z sygnałami przed walcowaniem a) oraz po walcowaniu b)

Ważnym zagadnieniem w tych badaniach jest sprawa sygnalizacji punktów pomiarowych walcowanego modelu, markery bowiem nie mogą wpływać na zmianę właściwości plastycznych materiału, wobec tego muszą też podlegać odkształceniu. Wynika z tego zmienność ich kształtu (rys.2) na poszczególnych etapach pracy walcarki, co powoduje problem z identyfikacją punktów pomiarowych.



Rys.2. Wygląd sygnału przed odkształceniem a) oraz po odkształceniu b)



Rys.3. Różna sygnalizacja punktów: przed odkształceniem a) oraz po odkształceniu walcowanego modelu b)

Wykonano liczne próby sygnalizacji punktów odkształcanego materiału (rys.3). Nie zdały egzaminu grube pasy w kontrastowym kolorze, poprzeczne do kierunku osi walczaka, ponieważ ich narożniki po deformacji przestały być przecięciami linii prostych. Jeszcze gorsze rezultaty uzyskano stosując nacięcie plasteliny w kształcie siatki kwadratów wypełnione barwnikiem. Kierując się celem możliwie najbardziej jednoznacznej identyfikacji tego samego punktu pomiarowego na modelu odkształcanym wybrano sygnalizację za pomocą barwionych plastelinowych sztyftów (rys.1).

3. METODYKA POMIARU I CHARAKTERYSTYKA SYSTEMU POMIAROWEGO

Jako metodę pomiaru wykorzystano wcięcie w przód z dwu zdjęć zbieżnych o znanej orientacji wewnętrznej i zewnętrznej. Do rejestracji użyto lustrzanek Nikon D80 o rozdzielczości 10 megapikseli, o stał ogniskowym obiektywie Sigma EX DG 20/1,8, ogniskowany manualnie na odległość 0,5 m, co daje wielkość piksela na obiekcie około 0,2 mm. Aparat ten skalibrowano na specjalnie przygotowanym do tego celu płaskim polu testowym (rys.4), będącym pomniejszeniem pola testowego AGH (Tokarczyk *et al.*, 2000), (Kolecki *et al.*, 2007).



Rys.4. Pole testowe do kalibracji aparatu fotograficznego

Taka postać pola testowego umożliwiła automatyczny pomiar zdjęć kalibracyjnych za pomocą programu *Test-Field Measurement Toolbox for Matlab* (Kolecki *et al.*, 2007).

W oparciu o orientację wzajemną dwu skalibrowanych zdjęć zbudowano model, transformowany do układu odniesienia definiowanego przez fotopunkty metodą orientacji bezwzględnej. Po tych procedurach obydwie zdjęcia mają znane elementy orientacji, co pozwoliło na obliczenie przestrzennych współrzędnych dowolnego punktu zobrazowanego na obydwu zdjęciach.

Zdjęcia wykonywano ze specjalnie skonstruowanego metalowego stelażu, pozwalającego na przesuwanie aparatu w dwa (lub więcej) położenia (rys.5).



Rys. 5. Urządzenie do wykonywania zdjęć przymocowane do walcarki pielgrzymowej (fot. J. Osika, 2008).

Wokół walczaka na współpłaszczyznowych płytkach pleksi zaprojektowano fotopunkty w postaci koncentrycznych pierścieni, których współrzędne zostały wyznaczone pomiarem liniowym (w płaszczyźnie poziomej) i metodą niwelacji

(wysokości) z dokładnością około 0,1 mm (dotyczącą obydwu rodzajów pomiaru). Większa dokładność nie jest tu wymagana, ponieważ i tak ogranicza ją dokładność pomiaru sygnałów na walczaku. Wyznaczona za pomocą płaskiego testu z sygnalizowanymi precyzyjnie punktami dokładność pomiaru wynosi $m_p = \pm 0,16$ mm.

Pierwsze wyniki pomiaru fotogrametrycznego otrzymano z użyciem cyfrowego autografu VSD AGH, co pozwoliło na sprawdzenie metody i utworzenie pierwszych wykresów odkształceń. Późniejsze pomiary wykonano za pomocą specjalnie do tego celu utworzonego programu.

Pozwala on na wczytanie obrazów w dowolnym formacie, ich powiększanie, pomiar punktów, poprawienie współrzędnych tłowych o wpływ dystorsji obiektywu, przeprowadzenie orientacji wzajemnej i bezwzględnej i obliczenie współrzędnych dowolnego punktu wspólnego na obu zdjęciach, z kontrolą paralaksy poprzecznej. Wyniki – przestrzenne współrzędne punktów zapisywane są w pliku tekstowym.

Ponieważ na zdjęciach pomiarowych tworzących model widoczny jest tylko fragment górny walcowanego modelu, w celu uwidocznienia zasłoniętych dolnych partii walca prowadnik jest sukcesywnie obracany o kąt 30°. Daje to zatem 12 modeli dla każdego etapu walcowania. Modele te powinny być połączone we wspólnym układzie. Próby ich połączenia za pomocą programu Aerosys okazały się niezbyt udane; wobec braku możliwości wyrównania tworzonej sieci triangulacyjnej, „sklejenie” modeli dookoła walca dawało niezamknięcie rzędu kilku milimetrów. Rozwiązaniem tego problemu jest transformacja punktów modeli o nominalny kąt obrotu dookoła osi prowadnika, przy koniecznej eliminacji zjawiska opadania jego przedniej części.

Zaproponowano jeszcze inne rozwiązanie polegające na obliczeniu wektorów przemieszczeń dla każdego punktu w układzie pojedynczego modelu, ich transformacji o obrót nominalny oraz zaczepieniu w punktach sklejonego modelu, wyznaczonych z dokładnością mniejszą niż przemieszczenia.

4. PRÓBA AUTOMATYZACJI POMIARU

Aby prawidłowo ocenić, jakie procesy zachodzą w materiale walcowanym, należy wykonać bardzo dużo zdjęć, a co się z tym wiąże, dużą ilość pomiarów na obrazach cyfrowych. Do zobrazowania elementu walcowanego na jednym tylko etapie walcowania należy pomierzyć 12 modeli, na każdym znajduje się kilkanaście fotopunktów oraz kilkadziesiąt punktów wyznaczanych na walczaku. Zatem jeden eksperyment, obejmujący kilka etapów walcowania wymaga bardzo dużego nakładu pracy. Wymagania postawione nam w projekcie dotyczące systemu pomiarowego nie obejmowały automatyzacji pomiaru, ale zajęto się tym problemem w ramach pracy dyplomowej (Skoczek 2008).

Jak wspomniano, pomiarowi podlegają fotopunkty o kształcie koncentrycznych pierścieni oraz punkty na walcowanym materiale. Automatyzacja pomiaru sygnałów o takim kształcie jak fotopunkty została opracowana dla pomiaru punktów pola testowego AGH do kalibracji kamer (Kolecki *et al.*, 2008), zatem zajęto się pomiarem automatycznym drugiej grupy punktów.

Sygnały na elemencie walcowanym po kilku etapach walcowania charakteryzują się dużą nieregularnością kształtów. Na obecnym etapie badań został opracowany

automatyczny pomiar sygnałów przed odkształceniem, kiedy mają one kształt prawie regularnych ciemnych okręgów na jasnym tle. Są rozmieszczone w regularnej siatce o wielkości oczka około 1cm. Siatka ta ma 14 wierszy i 15 kolumn.

Do przeprowadzenia automatycznego pomiaru wykorzystano pakiet Matlab – *Digital Image Processing*. W pierwszej kolejności wykonano próbę zaadaptowania do pomiaru programu *Test Field Measurement Toolbox*, który jest dedykowany pomiarom punktów pola testowego AGH do kalibracji (Kolecki *et al.*, 2008). Było to możliwe przy zmianie parametrów dotyczących zarówno etapu pierwszego pomiaru automatycznego jakim jest przetwarzanie obrazu, jak i etapów następnych – detekcji i pomiaru sygnałów. Wstępnie ograniczono pole robocze zdjęcia do elementu walcowanego, wykorzystując segmentację obrazu na podstawie detekcji barwy. Dalsze etapy wykonywane były na obrazie monochromatycznym.

Program *Test Field Measurement Toolbox* opiera się na metodzie filtrowania regionów - grup połączonych ze sobą pikseli o podobnej jasności, różniących się między sobą określonymi cechami (geometrycznymi, topologicznymi, itd.). Punktem wyjścia do przeprowadzenia detekcji sygnałów tą metodą jest obraz, na którym usunięto filtrem morfologicznym wpływ nierównomiernego oświetlenia tła markerów i następnie poddano go binaryzacji.

W wyniku otrzymuje się obraz, którego piksele mają wartości odpowiadające numerom regionów, przy czym piksele tła posiadają wartość 0. Kolejnym etapem jest wygenerowanie N- wymiarowej tablicy struktur opisujących regiony. Każdy z elementów tablicy testowany jest pod kątem spełnienia określonych warunków przez dane regionu, który reprezentuje. Warunki te określane są przez użytkownika. Jeżeli element tablicy nie spełnia choć jednego z kryteriów selekcji, to region, który reprezentuje nie jest traktowany jako sygnał.

Do selekcji elementów tablicy struktur opisujących regiony wykorzystywane są następujące zawarte w niej dane:

- współrzędne środka ciężkości regionu,
- pole powierzchni regionu,
- długości półosi elipsy,
- liczba Eulera,
- pole powierzchni obszaru wypełnionego (z wypełnionymi dziurami).

W wyniku filtrowania regionów opartym o wyżej omówione warunki powstaje przefiltrowana tablica struktur opisujących regiony reprezentujące sygnały. Przykładowo: region odpowiada sygnałowi, jeśli pole jego powierzchni wynosi 180 pikseli z tolerancją ± 30 pikseli, stosunek długości półosi elipsy wynosi 1,5:1 z tolerancją 0,5, itd. W następnym kroku programu wyznaczane są centra sygnałów metodą ważonego środka ciężkości, a ich współrzędne są dopisywane do tablicy struktur jako dodatkowa cecha. Metoda ważonego środka ciężkości jest zasadna, jeśli sygnały mają kształt przybliżony do kół o podobnym rozmiarze.

Zaprezentowana powyżej metoda pozwoliła na wykrycie i pomiar większości sygnałów. Dla tych, które występowały w miejscach silnych odbłasków na materiale walcowanym pomiar nie mógł być zrealizowany. Program *Test Field Measurement Toolbox* pozwala też na ręczny pomiar brakujących punktów, a współrzędne będące wynikiem pomiaru automatycznego i manualnego są zapisywane w pliku tekstowym.

W ramach badań przeprowadzono również wydzielenie i pomiar sygnałów w oparciu o ścienianie, jedną z metod szkieletyzacji dostępnych w programie Matlab.

W tym przypadku próby detekcji i pomiaru sygnałów przebiegały w następujących etapach:

- wczytanie do przestrzeni zmiennych Matlaba oryginalnego obrazu w postaci macierzy.
- wyznaczenie progu dla obrazu metodą *otsu* (funkcja *graythresh*). Metoda ta polega na takim wyborze progu, aby maksymalizował on wariancję międzyklasową czyli sumę ważoną kwadratów różnic między średnimi wartościami jasności pikseli (wagi pochodzą z proporcji liczby pikseli pod progiem i nad progiem do wszystkich pikseli obrazu).
- dokonanie konwersji na obraz binarny z progiem wyznaczonym na podstawie metody *otsu*. W wyniku tej operacji otrzymano obraz, na którym widać obiekty, których współrzędne środków chcemy znaleźć.
- wykonanie negatywu obrazu i dokonanie operacji ścieniania, która polega na redukcji pikseli figury przy zachowaniu jej charakterystycznych cech za pomocą zachowania wybranych linii. Operacja ta spowodowała, że kółka na obiekcie walcowanym miały aż do pojedynczych pikseli (ścieniania dokonano 6 razy).
- znalezienie środków sygnałów jako pikseli, które otoczone są przez piksele czarne.

Porównanie wyników detekcji i pomiaru obu powyższych metod wykazało przewagę metody filtracji regionów wykorzystaną w Test Field Measurement Toolbox. Co prawda, nie wszystkie punkty pozwoliła pomierzyć automatycznie, ponieważ przeszkodą zaburzającą obraz sygnałów były odbłaski od pokrytego wazeliną materiału plastycznego, ale środki wykrytych sygnałów zostały pomierzone z dokładnością podpikselową, czego metoda ścieniania nie zapewnia.

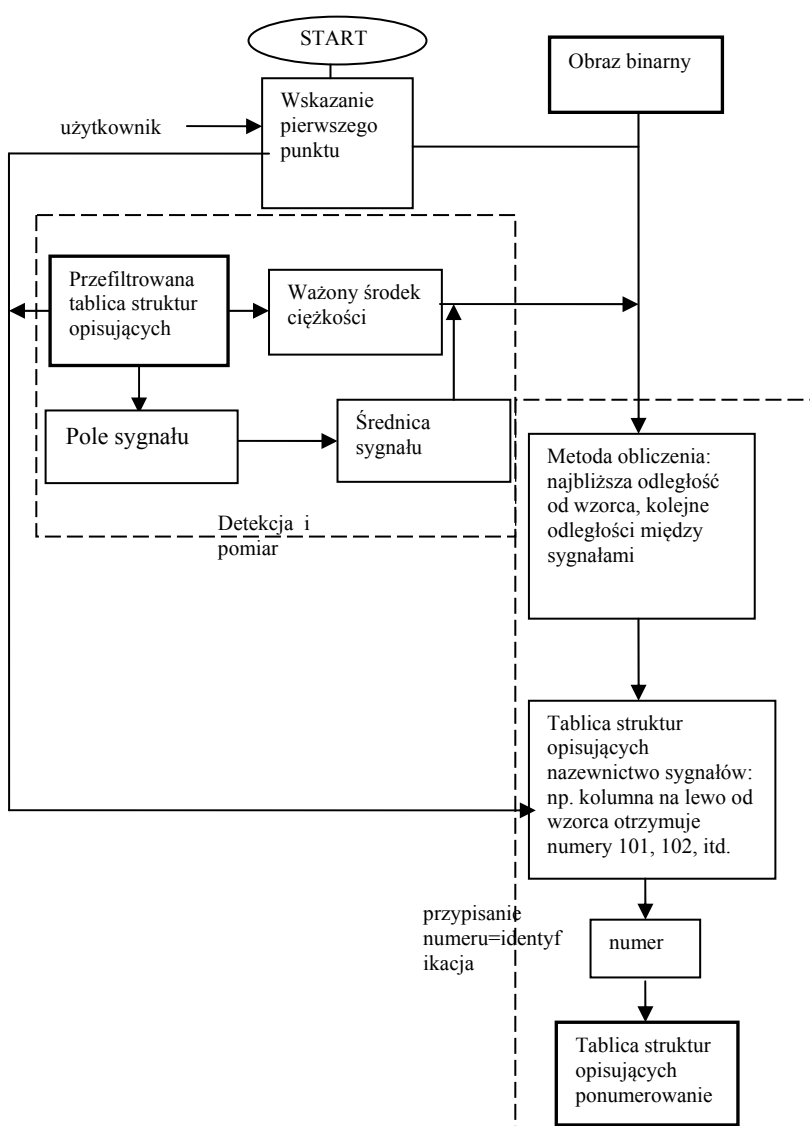
Końcowym etapem automatycznego pomiaru jest identyfikacja sygnałów. Występuje ona wtedy, gdy musimy znać oznaczenie (numer) mierzonego punktu. Niektóre pomiary fotogrametryczne nie wymagają identyfikacji mierzonych celów i kończą się wraz z wyznaczeniem ich współrzędnych. Identyfikacja mierzonych punktów jest konieczna przy pomiarze tego samego punktu na wielu zdjęciach, jak również na zdjęciach czasowych, a taki przypadek mamy w badaniach modelu walcowanego.

Identyfikacja może odbywać się na etapie detekcji, pomiędzy detekcją a pomiarem lub po dokonaniu pomiaru. Identyfikacja na etapie detekcji ma miejsce, gdy na zdjęciu szukamy obiektu niepowtarzalnego. Wtedy cechy użyte przy detekcji są jednocześnie cechami użytymi przy identyfikacji. Znajdując obiekt jednocześnie go identyfikujemy.

Identyfikację mierzonych obiektów można przeprowadzić poprzez:

- 1) identyfikację wykorzystującą zależności topologiczne,
- 2) kodowanie.

Pierwszy z wymienionych sposobów wykorzystuje relacje wynikające z wzajemnego położenia zidentyfikowanych celów na zdjęciu, natomiast drugi odwołuje się do indywidualnych cech obiektu.



Rys. 6. Schemat algorytmu detekcji, pomiaru i identyfikacji punktów walczaka

Ten pierwszy został wykorzystany do utworzenia algorytmu poszukiwania numeracji wykrytych sygnałów (rys. 6). Bazuje on na znalezieniu sygnału początkowego jako najbliższego wykrytego w pobliżu unikatowego znacznika i wykorzystuje w przybliżeniu stałe odległości między sygnałami w wierszach i kolumnach. Jest to algorytm dość prosty, a oparta na nim metoda identyfikacji jest odporna na błędy wynikające z ewentualnego niewykrycia niektórych sygnałów.

Opisane powyżej prace pozwoliły na wykonanie automatycznego pomiaru i identyfikacji markerów na modelu przed odkształceniem. Znacznie trudniejszym zadaniem jest pomiar na zdjęciach wykonanych po walcowaniu, gdzie sygnały zmieniają

znacznie swoje kształty, przemieszczają się również nieco w wierszach, ponieważ materiał ulega nie tylko rozciągnięciu, ale i skręceniu. Wydaje się, że przy narzuconej przez metalurgów koncepcji obliczania odkształceń ze współrzędnych punktów, słusze będzie w automatyzacji pomiaru wyznaczanie środków ciężkości zdeformowanych sygnałów jako odpowiedników centrów kół, mierzonych w niezdeformowanych sygnałach. Wydaje się, że pomiar automatyczny jest koniecznością, ponieważ manualny pomiar środków nieforemnych sygnałów nie jest możliwy nawet z dokładnością pikselową. Problem ten pozostaje jeszcze do rozwiązania.

5. PODSUMOWANIE

Zaproponowana metoda pomiaru pozwala na bezinwazyjne, zdalne wyznaczenie przemieszczeń i odkształceń modelu elementu walcowanego, w oparciu o prosty algorytm obliczeniowy, z zastosowaniem niedrogiego sprzętu do rejestracji. W trakcie pierwszych pomiarów poczyniono kilka praktycznych spostrzeżeń, ich uwzględnienie pozwala na optymalizację dalszych pomiarów:

1. Sygnalizacja punktów walcza – markery powinny być jak najmniejsze, o kołowym kształcie, należy wybrać materiał kontrastowy, pozbawiony odbłasków.
2. Sygnały fotopunktów należy rozmieścić w miarę możliwości na całej powierzchni zdjęcia, posłużą one wtedy również jako punkty do orientacji wzajemnej.
3. W celu połączenia utworzonych fotogrametrycznie modeli ze sobą, należy zagwarantować mechaniczny sposób obracania walcza o zadany kąt dookoła stałej osi.

Zastosowane do automatyzacji algorytmy przetwarzania obrazów okazały się przydatne tylko do pomiaru na obrazach przedstawiających element walcowany w pierwszych fazach deformacji. Sprawdził się w tym zastosowaniu po zmianie parametrów opisujących struktury regionów program utworzony do pomiarów zdjęć pola testowego do kalibracji kamer. Dalszych badań wymaga opracowanie automatycznego pomiaru sygnałów mocno zdeformowanych walcowaniem.

6. LITERATURA

- Atkinson K. B., 1996. *Close Range Photogrammetry and Machine Vision*, Whittles Publishing.
- Clarke T., Wang X., 2000. The Control Of A Robot End-Effector Using Photogrammetry. *International Archives ISPRS*, Amsterdam.
- Claus M., 1988. Experience with InduSURF in 3D Measurement of industrial Surfaces. *International Archives ISPRS*, Kyoto
- Ergün B., Kulur S., 2000. Integration of digital photogrammetric obtained data with autocad to car surface model. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing - materiały kongresowe ISPRS*, Amsterdam, komisja V.
- Fraser C.S., Brown D.C., 1986. Industrial Photogrammetry – New Developments and Recent Applications. *Photogrammetric Record* No. 12 (68).

Godding R., Boesemann W., Huette H., 2000. Photogrammetric Measurement Techniques For Quality Control In Sheet Metal Forming. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing - materiały kongresowe ISPRS*, Amsterdam, komisja V.

Gutu A., 1978. Industrial Photogrammetry in the investigations of technological Mining Engineering. *Proceedings Inter-Congress Symposium "Photogrammetry for Industry"*. Stockholm, Sweden.

Jachimski J., Mierzwa W., Boroń A., Tokarczyk R., Wróbel A., 1997. Możliwości wykorzystywania obrazów fotograficznych i cyfrowych w przemysłowej metrologii. *Zeszyty Naukowe AGH, Geodezja*.

Kakiuchi T., Chikatsu H., 2000. Construction Of Stereo Vision System For 3d Objects Modeling. *International Archives ISPRS*, Amsterdam.

Kolecki J., Tokarczyk R., 2008. Automatyczna identyfikacja punktów pola testowego AGH z wykorzystaniem pakietu Matlab. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 17.

Psaltis C., Ioannidis C., 2006. An Automatic Technique For Accurate Non-Contact Structural Deformation Measurements. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing - materiały kongresowe ISPRS*, Istambuł, komisja V.

Skoczek K., 2008. *Fotogrametryczne badanie przemieszczeń i odkształceń elementów walcowanych*. Praca dyplomowa pod kierunkiem Reginy Tokarczyk, obroniona w 2008 r. na Wydziale Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska AGH.

Tan J., Ishikawa S., 2000. Method Of Modeling Deformation Of An Object Employing Surrounding Video Cameras. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing - materiały kongresowe ISPRS*, Amsterdam, komisja V.

Tokarczyk A., Tokarczyk R., 1981. Fotogrametryczny pomiar modeli i ich deformacji przy wykorzystaniu kamer niemetrycznych. *Prace Komisji Górniczo-Geodezyjnej PAN*, Z.29.

Tokarczyk R., 1990. Wykorzystanie zdjęć niemetrycznych do badania deformacji modelu górotworu. *Międzynarodowe Sympozjum FIG n.t.: Pozyskiwanie danych do badania odkształceń*. Katowice 1990.

Tokarczyk R., Boroń A., 2000. Badanie cyfrowych aparatów fotograficznych dla potrzeb fotogrametrii bliskiego zasięgu. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 10.

Wester-Ebinghaus W., 1990. High Precision Industrial Photogrammetry. *Photogrammetric Record* No.10.

Wong K. W., Vonderohe A. P., 1978. Measurement of displacement around tunnel models by motion parallax. *Proceedings Inter-Congress Symposium "Photogrammetry for Industry"*. Stockholm, Sweden.

Praca została wykonana w ramach badań statutowych AGH 11.11.150.659

PHOTOGRAMMETRIC MEASUREMENT OF ROLLED ELEMENTS

KEY WORDS: close-range photogrammetry, digital camera, digital image processing, digital image automatic measurement

Summary

Developing a photogrammetrical method of measuring displacements and deformations of rolled objects was supported by the international project "Investigations of displacements and deformation during cold rolling of tubes in pilgering process" led by the Department of Metal Forming, Cracow University of Technology.

Cold rolling of tubes in the pilgering process is one of the most advanced technologies of manufacturing copper pipes used in of water supply systems, heating systems, medical systems, etc. The method makes it is possible to increase the overall deformation by up to 95%. Research on effects of the new process on the size of deformation and behaviour of the rolled material is thus required.

The study on the new pilgering process were carried out on a physical model of a pilger mill. The first tests were conducted on non-metallic materials (plasticine, wax), the metallic materials (lead, aluminum) being tested at the last stage of trials. The aim of the proposed measurement method was to determine the deformation of a rolled wax material. Before it was rolled, the object was shaped like a hollow cylinder, a bevelled cone being produced after rolling.

Direct intersection of two convergent images, with known interior and exterior orientation, was proposed as the measurement method. For image acquisition, we used 10 Mpx. Nikon D80 digital SLR camera with Sigma EX DG 20/1.8 fixed focus lens. The photogrammetric model is based on the relative orientation of the two images. It is then transformed to the reference system defined by the ground control points using an absolute orientation. After such procedures, image orientation elements are determined. Thus, we are able to calculate 3D coordinates of arbitrary point visible on the two images.

The images were acquired from a tripod constructed especially for the needs of the project. The tripod allows moving the camera along the mill. Because the object being deformed is photographed only from the top, to assess deformations on its entire surface the object has to be rotated around its main axis. The photogrammetrical models that are thus created have to be connected into a special reference system.

The first results of photogrammetric measurements were obtained by using the VSD AGH digital stereo plotter. It allowed us to check the correctness of the method and to create the first deformation plots. Subsequently, the image measurements and the calculation of 3D coordinates were carried out by using the software developed by the authors. It allows loading image data in an arbitrary format, zooming, point measuring, taking lens distortion into consideration, carrying out the relative and absolute orientation, and computing coordinates of an arbitrary point with the control of the transverse parallax. The results, i.e., 3D coordinates of the points, are written to a text file.

To find out what processes occur during rolling, it is necessary to acquire a large number of images and, consequently, to take numerous measurements on digital images. Thus, there is a need to automate the process of measuring the markers on the rolled object. Numerous tests were carried out using the Matlab programming environment. Two methods of measurement were tested: 1) to detect markers (region filtering) and to measure the center of markers (weighted center of mass); 2) multi-staged thinning on a binarized (using the *otsu* method) image. The first method, which gave better results, forms the basis of the *Test Field Measurement Field Box* software intended as providing automatic measurement of calibration images in a test field. However, further work on automation of strongly deformed model in which the markers lose their circular shape, is recommended.

dr inż. Regina Tokarczyk
e-mail: tokarcz@agh.edu.pl
tel. 012 617 22 88

mgr inż. Katarzyna Skoczek
e-mail: kasia.skoczek@op.pl
tel. 728497769

ANALIZA TOPOGRAFII CIAŁA LUDZKIEGO W ZASTOSOWANIU DO BADANIA WAD POSTAWY

HUMAN BODY TOPOGRAPHY ANALYSIS IN POSTURE INVESTIGATION

Regina Tokarczyk¹, Monika Szczygiel²

¹ Katedra Geoinformacji, Fotogrametrii i Teledetekcji Środowiska, Wydział Geodezji
Górnictwej i Inżynierii Środowiska, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

² Absolwentka Wydziału Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, Akademia
Górnictwo-Hutnicza w Krakowie

SŁOWA KLUCZOWE: cyfrowy aparat fotograficzny, model 3D ciała ludzkiego, wady postawy, analizy GIS

STRESZCZENIE: Celem pracy było wykorzystanie wirtualnego modelu powierzchni ciała człowieka do diagnostyki wad postawy. Model 3D sporządzono wykorzystując do tego celu metodę fotogrametryczną z użyciem cyfrowych aparatów fotograficznych i programu PI 3000 Topcon. Do wykonania zdjęć wykorzystano system PBE, przeznaczony do fotogrametrycznego badania wad postawy. Analizy topografii powierzchni ciała wykonano z użyciem programu GeoMedia i programu MicroStation z pakietem MGE. Wyznaczono przebieg kręgosłupa w płaszczyźnie czołowej i strzałkowej, asymetrię objętościową torsu oraz wzajemne ułożenie części ciała z przekrojów poziomych modelu.

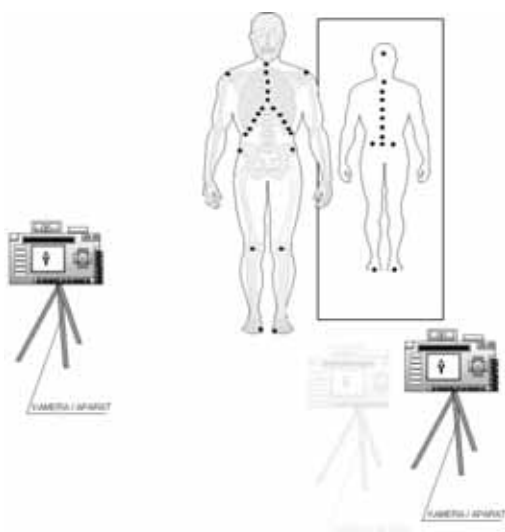
1. WSTĘP

Fotogrametryczne pomiary ciała człowieka w aplikacjach medycznych służą między innymi profilaktyce i diagnozowaniu wad postawy. Każdy system pomiarowy skonstruowany w tym celu musi być dostosowany do pomiaru i oceny badanego zjawiska, jakim jest wzajemne usytuowanie istotnych z punktu widzenia postawy części ciała i odbieganie tego wzajemnego ułożenia od pewnej normy statystycznej lub modelu fizycznego. Ciało człowieka może być reprezentowane przez trójwymiarowy model powierzchniowy, przez grupę wybranych jego punktów lub też jako połączenie obu. Pomiar odpowiednich reprezentacji ma umożliwić lekarzowi prawidłowe wnioskowanie o zdrowiu człowieka i ewentualnym postępowaniu leczniczym, zatem wybór przedmiotu pomiaru jest sprawą najważniejszą.

W przeważającej większości współczesnych systemów pomiarowych przeznaczonych do oceny postawy mierzone jest położenie 2D lub 3D punktów reprezentujących elementy szkieletu kostnego, przeniesione drogą palpacji na powierzchnię ciała. Dokładność takiego przeniesienia jest różna dla różnych elementów i związana jest także z wiekiem i wskaźnikiem BMI osoby badanej. Wynikiem pomiaru nie jest przestrzenne usytuowanie punktów, ale relacje pomiędzy nimi: kąty między odcinkami, długości (zwykle względne) odcinków. Są one wskaźnikami oceny

ewentualnej patologii. Szczególnie niekorzystny wpływ niedokładnego przeniesienia punktów kostnych występuje we wskaźnikach obliczanych z krótkich odcinków, takich jak odcinki między wyrostkami kolczystymi kolejnych kręgów kręgosłupa czy odcinek między tylnymi kolcami biodrowymi górnymi.

Dokładność pomiaru, oferowana przez systemy pomiarowe przewyższa znacznie dokładność usytuowania markera sygnalizującego przeniesioną część szkieletu kostnego i choć często mierzymy nie cechę, a amplitudę zmian zachodzących w obrębie tej cechy (Kasperczyk, 1994), to problem wyboru i sygnalizacji punktów pomiarowych jest kluczowym dla pomiaru przeznaczanego do oceny postawy. Problem ten udało się rozwiązać, jeśli udało się zastąpić „model szkieletowy” diagnostyki wad postawy modelem powierzchniowym, na podstawie którego zostałyby opracowane wskaźniki oceny odpowiadające istniejącym, będące z nimi w korelacji lub też całkiem nowatorskie. Opracowanie takich wskaźników to zadanie przede wszystkim dla lekarzy, przy współudziale twórców systemów pomiarowych.



Rys.1 Schemat części składowych systemu PBE (Photogrammetrical Body Explorer)

Istnieją systemy pomiarowe do badania wad postawy posługujące się oceną powierzchni ciała, a nie położeniem kości. Są to najczęściej systemy fotometryczne, analizujące sylwetkę człowieka w głównych płaszczyznach antropometrycznych (Kasperczyk, 1994). Fakt ten, jak i próby opracowania wskaźników oceny postawy na podstawie trójwymiarowego modelu powierzchni ciała (Patias *et al.*, 2006), (Jaremko *et al.*, 2002), (Theologis *et al.*, 1997) zachęciły do badań związanych z analizami powierzchni takiego modelu. Tym bardziej, że istnieje szereg narzędzi do takich analiz, używanych głównie do zagadnień GIS.

Fotogrametryczny system pomiarowy PBE (rys.1), opracowany w AGH (Tokarczyk *et al.*, 1999a), (Tokarczyk *et al.*, 2000a), (Tokarczyk *et al.*, 2002), (Tokarczyk, 2007) służy do oceny wad postawy przez wyznaczenie położenia 3D wybranych części kostnych szkieletu, przeniesionych na powierzchnię ciała i sygnalizowanych markerami. System ten postanowiono wykorzystać do wykonania

zdjęć służących do sporządzenia trójwymiarowego modelu powierzchni ciała, co przedstawiono w rozdziale 2. Model ten poddano analizom (opisanym w rozdziale 3) dającym w wyniku parametry przydatne w ocenie postawy, przy czym nie opracowano nowych parametrów, ale udowodniono, że można znane parametry wyznaczać z modelu powierzchniowego. Ten sposób postępowania zmierza do uniezależnienia się od problemu sygnalizacji części wewnętrznych ciała na jego powierzchni.

2. UTWORZENIE MODELU 3D CIAŁA CZŁOWIEKA

Podstawą opracowania, na której oparto analizy był trójwymiarowy model ciała ludzkiego uzyskany metodą fotogrametryczną. Pomiarów wykonano w Centrum Rehabilitacji „Zdrowie” znajdującym się przy ulicy Św. Gertrudy w Krakowie, gdzie wykorzystywany jest system PBE.

System składa się z dwu cyfrowych kalibrowanych aparatów fotograficznych, lustra o sprawdzonej płaskości oraz oprogramowania, które oprócz modułu fotogrametrycznego posiada bazę danych o pacjentach (Tokarczyk, 2007). Lustro pozwala na równoczesną rejestrację zarówno przodu, jak i tyłu pacjenta, ale jego użycie wymusza stosowanie zdjęć zbieżnych. Jest to korzystne w przypadku pomiaru sygnalizowanych punktów ciała, natomiast mogło być utrudnieniem w pomiarach zmierzających do utworzenia modelu powierzchniowego. Zbieżna konfiguracja zdjęć powoduje bowiem, że do pomiaru punktów homologicznych nie można wykorzystać efektu stereoskopowego, nie było również pewności, czy automatyczny *matching* systemu PI 3000, który postanowiono użyć do wykonania wirtualnego modelu ciała z tym problemem sobie poradzi. Ponieważ ciało ludzkie ma gładką powierzchnię, co dodatkowo utrudnia wybór punktów homologicznych, narzucono na nią teksturę za pomocą rzutnika komputerowego, przy czym wykonano zdjęcia dla dwu różnych rzutowanych obrazów: regularnej siatki kwadratów oraz zdjęcia lotniczego o zróżnicowanych szczegółach (rys. 2a i 2b). Odbicie w lustrze sprawiło, że do narzucenia tekstury wystarczył jeden projektor rzutujący ją zarówno na przód jak i tył fotografowanej osoby. Oprócz narzuconej tekstury osoba fotografowana miała zaznaczone za pomocą markerów standardowe dla PBE punkty pomiarowe.

Do wykonania zdjęć wykorzystano dwie lustrzanki cyfrowe Konica Minolta Dynax 5D o rozdzielczości 3008×2000 pikseli z obiektywami 50 mm. Model ten posiada parametry techniczne pozwalające na wykonywanie nim zdjęć fotogrametrycznych. Są to przede wszystkim rozdzielczość matrycy — 6.1 mpx, możliwość zastosowania stałoogniskowego obiektywu i manualny sposób ogniskowania. Stanowiska wybrano w odległości około 5 m od obiektu, (wielkość piksela na obiekcie: z przodu około 0,5 mm, z tyłu 0,8 mm) w sposób zapewniający odpowiednią widoczność wszystkich fotopunktów umieszczonych na lustrze jak i maksymalną widoczność istotnych z punktu widzenia badania postawy części ciała zarówno z przodu jak i z tyłu.

Aparaty fotograficzne zostały uprzednio skalibrowane na polu testowym AGH (Tokarczyk *et al.*, 1999b), (Tokarczyk *et al.*, 2000b), (Tokarczyk *et al.*, 2004).



Rys. 2a. Rzutowanie na ciało obrazu siatki kwadratów



Rys. 2b. Rzutowanie na ciało zdjęcia lotniczego

Do sporządzenia modelu 3D ciała wykorzystano system PI 3000 Topcon. Jest to system fotogrametrii cyfrowej, umożliwiający realizację pomiarów głównie naziemnych i w bliskim zasięgu. Służy do wykonywania pomiarów 3D z obrazów stereoskopowych, pochodzących zarówno z niemetrycznych kamer cyfrowych, jak i kamer fotogrametrycznych. Funkcje pomiarowe realizowane przez system PI-3000 to między innymi funkcje określające obrysy obiektów oraz automatyczny pomiar powierzchni obiektu. Rozwiązanie sieci zdjęć odbywa się metodą wiązki.

Na zdjęciach pomierzone zostało 39 punktów wiążących oraz 6 fotopunktów. Cechy geometryczne pary zdjęć przedstawiono w tabeli 1, są tam też również dokładności fotogrametrycznego wcięcia w przód uzyskane dla zdjęć, gdzie na ciało rzutowano zdjęcie lotnicze. Wyrównanie sieci dwóch zdjęć dało średnie błędy RMS na zdjęciach odpowiednio 1,5 i 1,1 piksela, natomiast maksymalna odchyłka na fotopunktach nie przekroczyła 2 mm.

Po wyrównaniu wiązki wygenerowano automatycznie model powierzchni ciała, osobno dla przodu i odbicia w lustrze, przy założeniu siatki punktów pomiarowych na obiekcie co 5 mm. Okazało się, że automatyczny *matching* PI 3000 znacznie lepiej sprawdza się na zdjęciach, gdzie na ciało rzutowano zdjęcie lotnicze niż tam, gdzie teksturę tworzy siatka regularnych kwadratów.

Po wygenerowaniu siatki TIN i rozpięciu na niej powierzchni, wygładzono ją filtrem medianowym i uśredniającym oraz renderowano teksturą pochodzącą ze zdjęcia (rys.3). Uzyskany model ciała człowieka, osobno przedniej i tylnej jego części,

przedstawiony był w układzie współrzędnych definiowanym przez fotopunkty, tzw. układzie lustra.

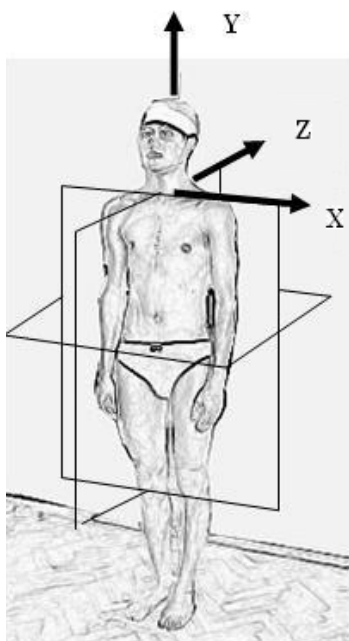
Tabela 1. Charakterystyka geometrii pary zdjęć

Stereopara	<i>Baza</i> <i>Długość [m]</i>	<i>Głębina</i> [m]	B/H <i>Stosunek</i> <i>bazowy</i>	<i>Dokładność</i> <i>w pł.</i> <i>pionowej</i> [m]	<i>Dokładność</i> <i>w kierunku</i> <i>głębokości modelu</i> [m]
L 7 - P 7	3.3157	5.1735	0.64	0.0008	0.0012



Rys. 3. Model ciała pokryty zdjęciem

W celu przeprowadzania dalszych analiz, punkty modelu musiały zostać przetransformowany do tzw. układu pacjenta, definiowanego w PBE. Układ ten związany jest z głównymi osiami antropometrycznymi (rys.4) i pozwala na porównywanie zmian położenia części ciała w procesie rehabilitacji.



Rys. 4. Główne osie i płaszczyzny antropometryczne: XY – płaszczyzna czołowa, YZ – płaszczyzna strzałkowa, XZ – płaszczyzna pozioma

Wykorzystano tu przestrzenne położenie dwu punktów kostnych zamarkowanych uprzednio na powierzchni ciała. Transformację przeprowadzono osobno dla modelu przedniej i tylnej części ciała, po czym wyeksportowano je do programu MicroStation, w którym obie części połączono.

3. ANALIZA TOPOGRAFII CIAŁA CZŁOWIEKA NA PODSTAWIE MODELU 3D

3.1. Programy wykorzystane do analiz topografii.

Najistotniejszym zagadnieniem było wyodrębnienie z ogółu danych dostarczanych przez model, informacji istotnych z punktu widzenia analiz postawy ciała. Istnieje szereg programów, stanowiących głównie narzędzia GIS, w których można przeprowadzać analizy powierzchni modelu obiektu. W pracy tej wykorzystano oprogramowanie Bentley MicroStation V8 XM z pakietem MGE oraz system GeoMedia Professional.

Model utworzony przez PI 3000 w postaci siatki trójkątów został zamieniony w MicroStation na postać *mesh* (ang. siatka), dzięki czemu umożliwiona była edycja węzłów. Potrzebna była ona do poprawienia błędów wynikających z niedostatecznej widoczności danego fragmentu ciała na obu zdjęciach.

Wykorzystanie pakietu MGE było niezbędne z uwagi na integrację danych. Wszelkie analizy, które przeprowadzane są w całości lub częściowo w różnych

programach, wymagają ujednolicenia informacji. Proces przygotowania danych przed importem do danego programu może być pracochłonny i wymagać wielu przekształceń, konwersji, zmiany formatu czy ujednolicenia układu współrzędnych. W niniejszej pracy integracja obejmowała przejście od formatu początkowego DXF, w jakim zapisany był model utworzony w systemie PI-3000, do formatu umożliwiającego dalsze prace w programie GeoMedia - formatu GRD. Spośród grupy programów wchodzących w skład MGE do integracji danych wykorzystano Terrain Analyst.

3.2. Wyznaczenie przebiegu kręgosłupa

Najważniejszą rolę w ocenie postawy pełni kręgosłup. Na podstawie jego kształtu w dwóch płaszczyznach - strzałkowej i czołowej - ocenić można wady związane z nieprawidłowym przebiegiem jego krzywizn (Kasperczyk, 1994), (Mrozkowiak, 2007). Miarą krzywizn w płaszczyźnie strzałkowej są zwykle kąty kifozy piersiowej, lordozy lędźwiowej, głębokości kifozy i lordozy bezwzględne i znormalizowane, natomiast w płaszczyźnie czołowej: liczba łuków krzywej przecinającej linię zdefiniowaną odpowiednimi wyrostkami kołczystymi, strzałki i cięciwy łuków, szczyt łuku skrzywienia.

a)



b)

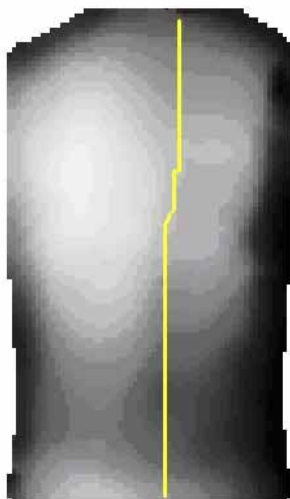


Rys. 5a). Przekrój kręgosłupa w płaszczyźnie strzałkowej — wykonany na modelu
b). Przekrój kręgosłupa w płaszczyźnie strzałkowej — wykonany na chmurze punktów

Do wyznaczenia przebiegu kręgosłupa w płaszczyźnie strzałkowej wykorzystano przecięcie powierzchni tylnej części modelu ciała - powierzchni pleców - płaszczyzną strzałkową YZ. Założono, że powierzchnia ciała na plecach w odpowiednim miejscu odzwierciedla przebieg kręgosłupa. Specyfika modelu TIN sprawia, że w wyniku przecięcia nie otrzymano jednoznacznego przekroju (rys. 5a) lecz dwa rzędy siatki trójkątów. Dlatego powtórzono czynności na modelu punktowym, otrzymanym przez eksport współrzędnych modelu trójkątowego do pliku TXT i ponowny jego import, już jako chmury punktów (rys.5b).

Przebieg kręgosłupa w płaszczyźnie czołowej wyznaczono w programie GeoMedia, po zamianie modelu w postaci TIN na postać rastrową. Linię kręgosłupa wyznaczono korzystając z funkcji *Surface-Fill Depressions*, *Downhill Path* i *Downhill*

Accumulation. W analizach DTM służą one do detekcji kierunku spływu wody na podstawie spadku. Wykorzystano tu zjawisko podobieństwa powierzchni pleców w rejonie kręgosłupa do doliny rzecznej, z założeniem grawitacyjnego spływu wody. Ostatecznie otrzymany w zapisie rastrowym obraz kręgosłupa został wyeksportowany do postaci wektorowej. Efekt końcowy zaprezentowany został na rysunku 6. Zauważyć można asymetrię pleców, która spowodowana jest brakiem widoczności fragmentu ciała odbitego w lustrze na jednym ze zdjęć. Uniknąć można było tego przez zwiększenie kąta zbieżności zdjęć, co dałoby z kolei pogorszenie modelowania przodu ciała lub też wykonując zdjęcia osoby odwróconej przodem do lustra.



Rys. 6. Wyznaczony w GeoMediach przebieg linii kręgosłupa

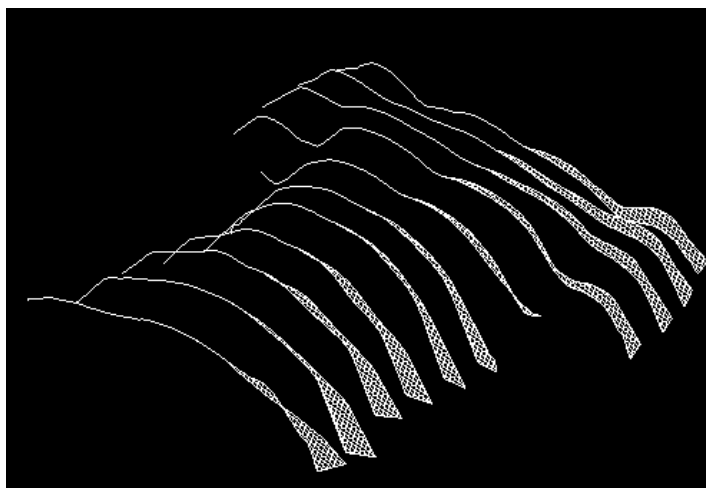
Z tak pozyskanego przebiegu kręgosłupa można wyznaczyć większość znanych parametrów oceny jego przebiegu, wymaga to jednak zdefiniowania przynajmniej dwóch punktów charakterystycznych, najlepiej wyrostków kolczystych C7 i S1.

3.3. Analiza symetrii ciała

Analiza symetrii ciała jest jednym z podstawowych parametrów oceny postawy. Symetria jest głównym wskaźnikiem metod wzrokowych oceny, jak również popularnego systemu ISIS (Kasperczyk, 1994), a na jej podstawie wnioskować można o wielu czynnikach składających się na postawę ciała uważaną za prawidłową. Analizę tą dokonano na podstawie przedniej części ciała, jako modelowanej poprawniej (ze względu na widoczność na zdjęciach) w stosunku do tylnej.

Wykorzystano do tego celu opcję obliczania objętości w programie GeoMedia GRID. Pozwala ona na określenie dla każdego piksela numerycznego modelu powierzchni objętości począwszy od zdefiniowanej na pewnej wysokości płaszczyzny źródłowej. Jako rezultat końcowy można uzyskać objętość terenu znajdującego się pod lub nad płaszczyzną. Objętość wówczas podawana jest w pikselach lub w jednostkach metrycznych, w jakich wyrażone są analizowane dane. Asymetrię objętościową można

otrzymać przeprowadzając obliczenie objętości osobno dla dwu połówek ciała, otrzymanych po przecięciu modelu ciała płaszczyzną strzałkową. Wizualizacja asymetrii objętościowej przedniej części ciała jest przedstawiona na rysunku 7a.



Rys. 7b). Wizualizacja asymetrii torsu w programie MicroStation

Rys. 7a). Graficzna reprezentacja modelu objętościowego ciała uzyskanego w programie GeoMedia

Celem przedstawienia różnic w symetrii fragmentu torsu, w programie MicroStation wykonane zostały przekroje poprzeczne. Początkowo jedna z części modelu została odbita względem osi symetrii i nałożona na drugą. Powstały wówczas miejsca asymetrii — różnice w nałożonych na siebie siatkach trójkątów. Następnie asymetria została wizualizowana poprzez wypełnienie powstałych różnic wzorem. Rezultaty przedstawiono na rysunku 7b.

Analizując model warstwicowy ciała, można uzyskać również takie wskaźniki asymetrii zarówno w płaszczyźnie czołowej jak i horyzontalnej jak: różnica wysokości ustawienia barków, różnica wysokości ustawienia łopatek, różnica wysokości pach, różnice wysokości symetrycznych punktów powierzchni na poziomie kilku cięć poprzecznych.

3.4. Wzajemne ułożenie części ciała

Przekroje poprzeczne w miejscach charakterystycznych — np. obręczy barkowej i miednicowej dają informację o wzajemnym ułożeniu tych części ciała. Przykładowo, analizując najwyżej położone punkty torsu (prowadząc przez nie płaszczyznę XZ) można uzyskać informację o położeniu ramion. Jednym z badań prowadzonych w celu określenia postawy jest także określenie położenia głowy w stosunku do stóp (pochylenie ciała do przodu lub tyłu).

Przekroje poprzeczne modelu ciała uzyskano w MicroStation. Tworzenie przekrojów na modelu trójkątowym jest utrudnione z uwagi na konieczność przecinania płaszczyzną modelu niestanowiącego całość, lecz zbudowanego z wielu trójkątów. Utworzono przekroje na poziomach: nosa, ramion, bioder i stóp, ich wzajemne położenie w płaszczyźnie poziomej jest ważnym wskaźnikiem badania postawy. Dodatkowo, przekrój tylnej części torsu pozwala na uzyskanie wskaźników takich jak lateralna asymetria i asymetria horyzontalna, mających związek z tzw. kątem Cobba (uzyskiwanym tylko ze zdjęć radiologicznych), będącym wskaźnikiem skoliozy.

4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Dokładność pomiaru fotogrametrycznego w badaniu wad postawy jest obniżana przez sygnalizację wewnętrznych elementów szkieletu na powierzchni ciała. Problem ten może być usunięty przez opracowanie metodyki wyznaczania wskaźników jakości postawy na podstawie modelu powierzchniowego ciała. Jednak koszt utworzenia i opracowania tego modelu jest znacznie większy niż dla metody wykorzystującej punkty anatomiczne. Sporządzenie bowiem pełnego modelu ciała wymaga wykonania większej liczby zdjęć i pomiaru na nich bardzo dużej liczby punktów homologicznych powierzchni ciała, co zapewnić może tylko pomiar automatyczny. W pracy do sporządzenia modelu całego ciała wykorzystano system PBE, bazujący tylko na dwóch zdjęciach zbieżnych i wykorzystujący odbicie w lustrze. Do opracowania zdjęć wykorzystany został system PI 3000 Topcon, który bardzo dobrze poradził sobie z automatycznym *matchingiem* na zdjęciach zbieżnych. Mimo niedoskonałości otrzymanego modelu, udało się na jego podstawie wyznaczyć przebieg kręgosłupa w płaszczyźnie strzałkowej i czołowej, asymetrię ciała oraz wzajemne ułożenie części ciała. Wykorzystanie powierzchniowego modelu ciała pozwala na znaczne ograniczenie (ale nie całkowite) liczby punktów antropometrycznych szkieletu, przez co uniezależnia pomiar od błędów przenoszenia ich na powierzchnię ciała.

Praca została wykonana w ramach badań statutowych AGH 11.11.150.659

5. LITERATURA

Jaremko J.L. P., Poncet P., Ronsky J., Harder J., Dansereau J., Labelle H., Zernicke R. F., 2002. Indices of torso asymmetry related to spinal deformity in scoliosis. *Clinical Biomechanics* 17.

Kasperczyk T., 1994. *Wady postawy ciała. Diagnostyka i leczenie*. Wydawnictwo „Kasper” s.c. Kraków.

Mrozowiak M., 2007. *Uwarunkowania wybranych parametrów postawy ciała dzieci i młodzieży oraz ich zmienność w świetle metody projekcyjnej*. Sonar Sp z o. o. Gorzów Wielkopolski.

Patias P., Stylianidis E., Pateraki M., Chrysanthou Y., Contozis C., Zavitsanakis Th., 2006. 3D Digital photogrammetric reconstructions for scoliosis screening. *Proceedings*

of the ISPRS Commission V Symposium "Image Engineering and Vision Metrology"
Vol. XXXVI, Part 5, H.-G. Maas, D. Schneider. Dresden, Germany.

Theologis T., Fairbanks JCT., Turner-Smith A., Pantazopoulos Th., 1997. Early detection of progression in adolescent idiopathic scoliosis by measurement of changes in back shape with the integrated shape imaging system scanner. *SPINE*, Vol. 22, No. 11.

Tokarczyk R., Mikrut S., 1999a. Fotogrametryczny system cyfrowy bliskiego zasięgu do pomiarów ciała ludzkiego dla potrzeb rehabilitacji leczniczej. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol.9.

Tokarczyk R., Mikrut S., 2000a. Close Range Photogrammetry System for Medicine and Railways. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. B-5, Amsterdam.

Tokarczyk R., Mitka M., 2002. Badanie fotogrametrycznego systemu trójwymiarowego pozycjonowania ciała dla celów rehabilitacji leczniczej. *Zeszyty Naukowe AGH, Geodezja*, Zeszyt 1.

Tokarczyk R., Boroń A., 1999b. Ocena dokładności rekonstrukcji obiektu z wykorzystaniem aparatu cyfrowego Kodak DC 260. *Zeszyty Naukowe AGH, Półrocznik Geodezja*.

Tokarczyk R., Boroń A., 2000b. Badanie cyfrowych aparatów fotograficznych dla potrzeb fotogrametrii bliskiego zasięgu. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 10.

Tokarczyk R., Stanios I., 2004. Kalibracja cyfrowego aparatu fotograficznego z wykorzystaniem darmowej wersji programu Aerosys. *Przegląd Geodezyjny* Nr 6.

Tokarczyk R., 2007. Automatyzacja pomiaru na obrazach cyfrowych w systemie fotogrametrycznym do badania wad postawy. Pod redakcją Reginy Tokarczyk. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Techniczne AGH, Kraków.

HUMAN BODY TOPOGRAPHY ANALYSIS IN POSTURE INVESTIGATION

KEY WORDS: non-metric digital camera, 3D human body model, posture defect, GIS analysis

Summary

Most of the present body posture measurement systems assess 2D or 3D location of points representing components of a bone structure, which are transferred onto the body surface by means of palpation technique. The accuracy of such transfer varies and depends on different body components; it is also related to the patient's age and BMI. The result of such measurement produces a relation between the points rather than a 3D location of those points, and serves as an indication of a possible pathology. The accuracy of transferring skeleton points greatly affects the indices, particularly those computed by using short segments.

Measurement systems may provide much more accurate data than those obtained by locating the marker which indicates the transferred skeleton component. Thus, the problem of choosing correct points and their indication is crucial for evaluating the body posture. The problem could be solved if it would be possible to replace a point-based model with a surface one.

The paper presents research aimed at solving such problems. A 3D model of the human body was generated photogrammetrically, using a digital camera and Topcon PI 3000 software. Image acquisition was effected by means of PBE (Photogrammetrical Body Explorer), a system designed for examination of posture defects..

By using the Microstation software with the MGE package (body surface analysis) and GeoMedia software (GIS analysis) we were able to determine the position of the spine in the coronal and sagittal planes. We also examined a possible asymmetry of the torso and the location of points most important for posture defects of various parts of the body. Results of the analysis allowed us to determine many indices which are also present in the point-based model.

dr inż. Regina Tokarczyk
e-mail: tokarcz@agh.edu.pl
tel. 012 617 22 88

mgr inż. Monika Szczygiel
e-mail: ms.szczygiel@gmail.com
tel. 505 502 218

**SYSTEMY NAWIGACJI DLA PIESZYCH:
AUTMATYZACJA POZYSKIWANIA DANYCH**

**AUTOMATIZATION OF DATA ACQUISITION AND PROCESSING FOR
PEDESTRIAN NAVIGATION SYSTEM PURPOSES**

Piotr Tokarczyk, Andrew U. Frank

Institute for Geoinformation and Cartography, Vienna University of Technology

SŁOWA KLUCZOWE: GIS, przetwarzanie obrazów cyfrowych, osobista nawigacja, nawigacja pieszych, poznawanie przestrzenne, kognitywna semantyka, *human wayfinding*

STRESZCZENIE: Wyszukiwanie drogi (*wayfinding*) w nieznanym środowisku jest częścią naszego codziennego życia. Wymaga ono od nas konkretnych przestrzennych i kognitywnych umiejętności. W celu stworzenia systemu nawigacji dla pieszych istotne jest poznanie mechanizmów, które kontrolują procesy kognicji. Wraz z rozwojem technologii, znacznie zmniejszyły się rozmiary i waga elektronicznych urządzeń nawigacyjnych. Obecnie rynek jest pełen doskonale działających systemów nawigacji dla kierowców. Czy w takim razie można zmodyfikować te systemy w taki sposób, aby mogli ich używać piesi? Zasadnicze różnice polegają na: stopniu swobody przestrzennej, prędkości poruszania i związanej z tym rozdzielczości przestrzeni. Trzeba również pozyskać na nowo dane do takiego systemu. W artykule przedstawiona została baza teoretyczna budowy systemów nawigacji dla pieszych. Nacisk został położony na mechanizmy, które są odpowiedzialne za to, jak każdy z nas postrzega otaczającą go przestrzeń i jakie są nasze umiejętności poznania świata. Opracowany model wyszukiwania drogi, zakłada powstanie „scen decyzyjnych”, które zastąpią punkty decyzyjne – dobrze znane z systemów nawigacji dla kierowców. Wynikiem przeprowadzonych badań jest algorytm pozwalający na automatyczne przetwarzanie danych dla systemu nawigacji dla pieszych. Poprzez kolejne etapy wstępnego przetwarzania obrazu, binaryzacji, wykorzystania algorytmów szkieletyzacji i diagramów Voronoi, otrzymany został nawigowalny graf wraz ze scenami decyzyjnymi, gotowy na implementację do nowego systemu.

1. WSTĘP

Wyszukiwanie drogi (*wayfinding*) jest częścią naszego codziennego życia. Wykonujemy tę czynność nie tylko wówczas, kiedy podróżujemy codziennie z domu do pracy, lecz również, gdy jako turyści poruszamy się w nieznanym nam środowisku. Jako, że jest to nasza codzienna czynność – mało kto zdaje sobie sprawę z faktu, jak złożone i wymagające jest to zadanie. Wymaga ono od nas konkretnych przestrzennych (np. orientacji w przestrzeni) i kognitywnych umiejętności.

Sposób, w jaki ludzie postrzegają otaczającą ich przestrzeń od dawna był w kręgu zainteresowań badawczych z różnych dziedzin nauki. W celu opracowania narzędzi wspomagających czynności postrzegania przestrzeni, istotna jest znajomość mechanizmów kontrolujących procesy poznawcze.

Wraz z rozwojem technologii znacząco zmniejszyły się rozmiary i waga urządzeń elektronicznych służących do nawigacji, a spadek cen i ogólna dostępność na rynku zwiększyły zainteresowanie nimi.

Obecnie dostępne są takie elektroniczne urządzenia wspomagające proces wyszukiwania drogi, jak: osobiste urządzenia nawigacyjne (ang.: *PND – Personal Navigation Devices*), urządzenia nawigacyjne zintegrowane z telefonami komórkowymi (tzw. *Smartphones*), mapy GPS, przenośne przewodniki, zegarki GPS oraz systemy off-line (planery tras dostępne poprzez strony WWW).

Na rynku znajduje się wiele doskonale działających systemów nawigacji dla kierowców. Są dobrze rozpowszechnione i mają wysoki współczynnik akceptacji użytkowników (Canalys, 2006). Czy w takim razie można zmodyfikować te systemy tak, aby służyły również pieszym? Badania terenowe (Rehrl *et al.*, 2007) map GPS oraz samochodowych systemów nawigacji pokazały, że systemy te nie spełniają wymagań stawianych im przez pieszych użytkowników. Głównym problemem jest fakt, że systemy nawigacji dla kierowców wydają instrukcje, które są mylące dla pieszego. Systemy dla kierowców i pieszych różnią się w następujących aspektach:

- Stopień swobody: kierowcy samochodów są ograniczeni do sieci drogowej, podczas gdy piesi mają większą swobodę poruszania się. Nie muszą przestrzegać zasad ruchu drogowego zmotoryzowanych, mogą się zatrzymywać w dowolnym miejscu lub mogą prawie zawsze zawrócić. Badania wykazały, że instrukcje wydawane przez takie systemy są przeważnie bezużyteczne dla pieszych (np. „skręć w lewo za 200 m”, ponieważ mało kto wie, ile to jest dokładnie 200 m).
- Prędkość poruszania się: piesi poruszają się z wielokrotnie mniejszą prędkością niż kierowcy, przez co mogą dokładniej obserwować otaczające ich środowisko. Większa rozdzielczość przestrzeni postrzeganej przez pieszych powoduje, że instrukcje, które mają być im wydawane powinny być dokładniejsze i semantycznie bogatsze.

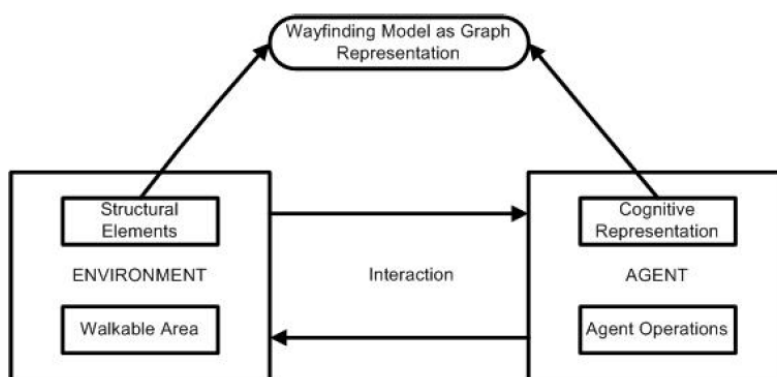
Różnice pomiędzy tymi dwiema grupami użytkowników nabierają znaczenia, gdy opracowujemy konkretny model odnajdywania drogi, który ma być dostosowany dla pieszych. Graf, który jest symulacją nawigacji pieszych, jest odmienny od używanego w nawigacji dla kierowców.

Skoro te dwa systemy różnią się od siebie – różnić się będą także dane potrzebne do ich działania. Mimo, że istnieje wiele systemów opartych na bazach danych systemów dla kierowców, nie znajdują one odpowiedniego zastosowania w systemie dla pieszych (Elias, 2007), (Stark *et al.*, 2007). Dlatego też należy pozyskać nowe, adekwatne do potrzeb pieszych dane, najlepiej w sposób zautomatyzowany. Badania prowadzone w niniejszym projekcie, dotyczące procesu pozyskiwania danych, opierają się na hipotezie, że istnieje możliwość automatycznej produkcji nawigowalnego grafu dla pieszych bazując na mapach cyfrowych.

2. MODEL WYSZUKIWANIA DROGI

Rdzeniem rozwijanego systemu nawigacji dla pieszych jest model wyszukiwania drogi. Założenia tego modelu stanowią bazę dla projektowanego systemu, a w szczególności automatyzacji pozyskiwania danych.

Rysunek 1 wyjaśnia zasady działania modelu. Piesi z założenia mają konkretne umiejętności, które pozwalają im na interakcję ze środowiskiem. Jesteśmy zdolni do wykonywania konkretnych fizycznych operacji. Możemy również wpływać na otaczające nas środowisko i otrzymywać od niego informacje zwrotną, która jest dostępna pod postacią „wiedzy o świecie” i magazynowana jako „wiedza w głowie”. Ten rodzaj interakcji wymaga takiej jej strukturyzacji, która będzie dla nas łatwo przyswajalna. Potrzebujemy zatem kognitywnej reprezentacji tego środowiska. Taka mentalna reprezentacja pozwala nie tylko na zdefiniowanie przestrzeni nawigowalnej, ale również jej wewnętrznej semantyki (Gaisbauer *et al.*, 2008).



Rys. 1. Model wyszukiwania drogi (Gaisbauer i Frank, 2008)

2.1. Rola kognicji przestrzennej i schematów obrazowych

Kognicja przestrzenna (*spatial cognitioning*)

Ludzka kognicja przestrzenna, dziedzina nauki o dużym znaczeniu w usługach nawigacyjnych, jest częścią szerszej interdyscyplinarnej dziedziny zwanej „nauką kognitywną”. Została ona wytworzona przez unifikację nauk szczegółowych zajmujących się systemami poznawczymi, ze szczególnym uwzględnieniem człowieka i systemów sztucznych, takich jak komputery. Wykorzystuje takie nauki jak: psychologia, lingwistyka, filozofia, informatyka, antropologia i fizyka. Zajmuje się badaniem umysłu, procesów myślenia, doświadczeń oraz ludzkiej konceptualizacji świata, w którym żyjemy (Lakoff, 1987). Nauki kognitywne poruszają problemy wszystkich aspektów ludzkiej inteligencji: od percepcji i akcji po język i rozumowanie.

Model wyszukiwania drogi, opisany w tym artykule bazuje na odkryciach nauk kognitywnych. Istnieje pogląd, że włączenie pojęć z dziedziny nauk kognitywnych do modelu może znacząco poprawić efektywność i użyteczność systemów nawigacyjnych i pozwoli na implementację interfejsów użytkownika.

Montello (1993) wyróżnił cztery główne klasy przestrzeni psychologicznej, uporządkowane według ich wielkości w stosunku do ciała ludzkiego: postaciową (*figural*), perspektywiczną (*vista*), środowiskową (*environmental*) i geograficzną (*geographical*). Przestrzeń perspektywiczna oraz środowiskowa mają największe znaczenie dla zadań związanych z nawigacją. Pierwsza z nich opisuje otoczenie osoby,

które może być wizualnie zidentyfikowane bez potrzeby przemieszczania się. Z punktu widzenia modelu wyszukiwania drogi jest to przestrzeń, która ma znaczenie dla nawigacji, gdy pieszy dociera do punktu decyzyjnego. Np. przestrzeń bezpośrednio otaczająca skrzyżowanie dróg będzie sklasyfikowana jako przestrzeń perspektywiczna. Natomiast przestrzeń środowiskowa jest przestrzenią wielkoskalową, w której zachodzi proces nawigacji od-startu-do-celu. Taka przestrzeń jest zbyt duża, aby dokonać jej percepcji bez przemieszczania się.

Schematy obrazowe (*image schemata*)

Pojęcie schematu obrazowego zostało po raz pierwszy użyte przez Johnson'a (1987) w jego książce zatytułowanej „*The Body in the Mind*”. Twierdził on, że te schematy opisują naszą konceptualizację fizycznej rzeczywistości. Są one częścią filozofii twierdzącej, że gdy weźmiemy pod uwagę nasze doświadczenia fizyczne, jesteśmy w stanie zrozumieć nasz umysł. Schematy obrazowe są czymś w rodzaju mentalnych wzorów; są raczej abstrakcyjnymi niż konkretnymi obrazami w naszym umyśle. Uważa się, że pozwalają nam one na ustanowienie połączeń pomiędzy doświadczeniami, które mają wspólną wewnętrzną strukturę (Gaisbauer *et al.*, 2008). Johnson (1987) i Lakoff (1987) opracowali listę rodzajów schematów obrazowych (Tabela 2.1)

Tabela 1. Lista schematów obrazowych (Johnson, 1987)

CONTAINER	BALANCE	COMPULSION
BLOCKAGE	COUNTERFORCE	RESTRAINT REMOVAL
ENABLEMENT	ATTRACTION	MASS-COUNT
PATH	LINK	CENTER-PERIPHERY
CYCLE	NEAR-FAR	SCALE
PART-WHOLE	MERGING	SPLITTING
FULL-EMPTY	MATCHING	SUPERIMPOSITION
ITERATION	CONTACT	PROCESS
SURFACE	OBJECT	COLLECTION

Istnieje wiele zastosowań schematów obrazowych. Ponieważ wiele z nich ma pewne własności przestrzenne, znajdują one zastosowanie w naukach o przestrzeni. Schematy obrazowe zostały już użyte w celu modelowania fizycznego środowiska ludzi. Np. Raubal (2001), Rüetschi i Timpf (2005) użyli ich głównie do modelowania nawigowanych przez ludzi domen, takich jak dworce kolejowe i lotniska.

Połączenie modelu wyszukiwania drogi, opisanego w tym artykule, z kognitywnymi wymaganiami użytkowników, opiera się głównie na schematach „pojemnik” (*container*) i „łącze” (*link*). Uważane są one za podstawę teoretyczną tego modelu z racji faktu, że porządkują środowisko, w którym poruszają się piesi na poziomie przestrzeni perspektywicznej (*vista*).

- *Container schema* jest schematem reprezentującym zamknięcie (odosobnienie). Składa się z wnętrza, tego co jest na zewnątrz oraz granicy ich dzielącej. Schemat ten jest regularnie używany podczas wejścia/wyjścia do/z budynku.

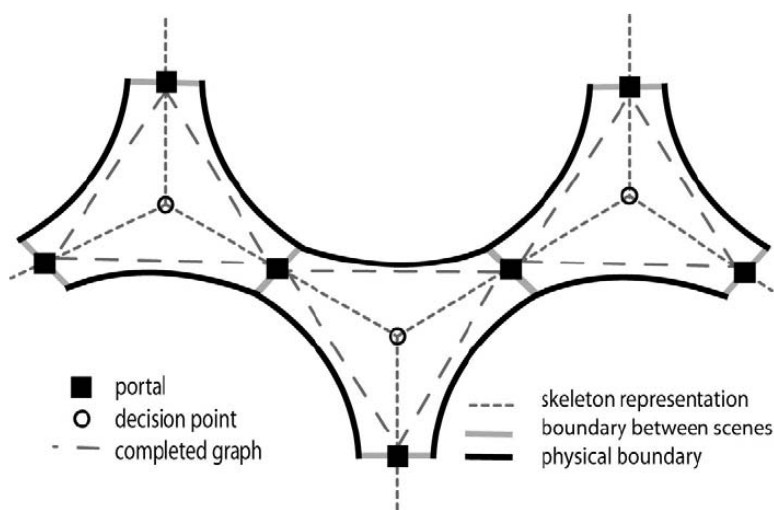
- *Link schema* jest schematem reprezentującym połączenie pomiędzy obiektami, jak i niefizyczne połączenie. Niefizyczne połączenia mogą występować pomiędzy rodzeństwem, a rodzicami. Mogą być również bezpośrednim wizualnym połączeniem widza z obiektem.

2.2. Szczegóły modelu wyszukiwania drogi

W początkowej fazie budowy modelu wyszukiwania drogi ważna jest wiedza, jakie dane potrzebne będą do omawianego systemu. Należy zdefiniować, które obszary będziemy rozróżniać jako nawigowalne dla pieszych. I tak, przestrzeń, po której mogą przemieszczać się piesi składa się przede wszystkim z chodników, stref dla pieszych oraz terenów zielonych. Do obszarów nawigowalnych zalicza się zarówno połączenia (przejścia dla pieszych, przejścia podziemne), jak i również tereny „zaporowe” (budynki).

2.2.1. Sceny decyzyjne

Lynch (1960) zdefiniował punkty decyzyjne jako strategiczne ogniska, w które obserwator może wejść. Zazwyczaj są to skrzyżowania ścieżek, albo koncentracje pewnych obiektów. Pomimo faktu, że punkty decyzyjne rozumiane są jako węzły u zbiegu dróg, mogą reprezentować przestrzennie większy obszar, który jest wewnątrznie uporządkowany. Wewnętrzna struktura punktów decyzyjnych, pomimo że jest pomijalna w nawigacji samochodowej, nie może pozostać nieuwzględniona w systemach nawigacji dla pieszych. Sprowadzenie przestrzeni perspektywicznej (*vista*) dookoła punktu decyzyjnego do prostego węzła jest nadmiernym uproszczeniem środowiska. Nie będzie wtedy reprezentować różnorodności skrótów, jakie mogą wybrać piesi znajdując się w pobliżu punktu. W prezentowanym modelu zaproponowano konstrukcje scen decyzyjnych. Możemy je zdefiniować jako lokalną przestrzeń perspektywiczną dookoła konkretnego punktu decyzyjnego. Do takiej sceny można zarówno wejść, jak i ją opuścić. Jej fizyczne granice wyznaczają budynki lub inne stałe przeszkody, które uniemożliwiają poruszanie, np. pasy jezdni, które nie są przystosowane do ich przekraczania (z wyjątkiem przejść dla pieszych). Sceny decyzyjne są do siebie przyległe tworząc podział przestrzeni przeznaczonej dla pieszych. Jako, że sceny decyzyjne mają fizycznie wyznaczone granice oraz można do nich wejść i je opuścić, zatem są one zgodne z mentalną reprezentacją schematu „pojemnika” (*container*) (Gaisbauer *et al.*, 2008). Granice pomiędzy dwiema scenami decyzyjnymi zostały nazwane portalami, które łączą dwie sąsiadujące sceny. Portale nie są ograniczone wyłącznie do granicy sąsiadującej sceny, ale również mogą łączyć nasz model z modelem do nawigacji wewnątrz budynku. Portalem są wtedy drzwi budynku. Koncepcja portalu pozwala na przejście z jednej sceny („pojemnika”) do drugiej za pomocą schematu „łącza” (*link*). Opcja przejścia bezpośrednio z jednego portalu do drugiego jest przedstawiona jako kompletny graf pomiędzy portalami. Używając tego połączenia, bezpośrednia nawigacja pomiędzy portalami modelowana jest bez udziału punktu decyzyjnego. Powoduje to, że punkty decyzyjne tracą swoje znaczenie dla nawigacji, chyba że są punktem startu lub celu podróży. Rysunek 2. przybliży pojęcie scen decyzyjnych.



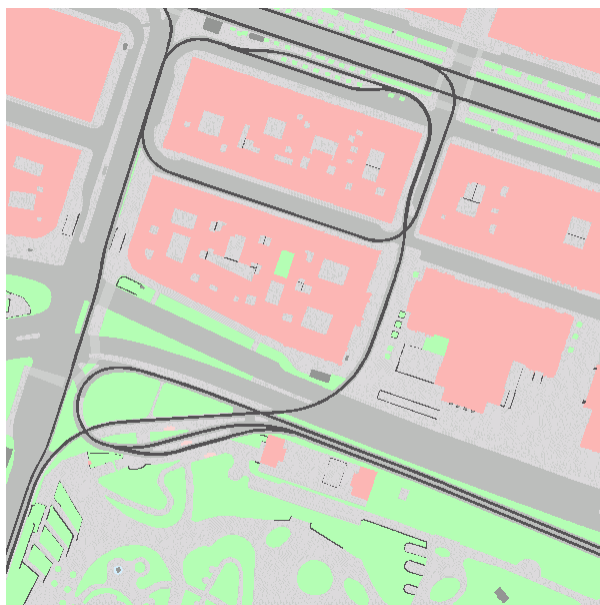
Rys. 2. Graficzna prezentacja modelu wyszukiwania drogi (Gaisbauer *et al.*, 2008)

3. AUTOMATYZACJA PRZETWARZANIA DANYCH

W niniejszym opracowaniu, cały proces automatyzacji danych przeprowadzony został w środowisku programistycznym Matlab. Powodem jego wybrania był stosunkowo niski poziom trudności w tego języka programowania. Dodatkowo, wielką zaletą środowiska programowania Matlab jest wbudowany moduł zawierający funkcje wspomagające przetwarzanie obrazów cyfrowych – IPT (*Image Processing Toolbox*).

3.1. Dane wejściowe

Proces pozyskiwania danych dla opisywanego systemu jest nieodłącznie związany z przetwarzaniem obrazów cyfrowych, ponieważ uzyskuje się je z mapy w postaci rastrowej. Jako dane testowe wykorzystano fragment mapy Wiednia. Udogodnieniem dla tej pracy był fakt, że różne klasy obiektów umieszczone były na osobnych warstwach (przedstawionych na rysunku 3 w różnych kolorach).



Rys. 3. Dane wejściowe - mapa rastrowa
(źródło: Stadtvermessung Wien – Magistratsabteilung 41)

I tak, budynki występują w kolorze czerwonym, ulice są ciemno-szare, chodniki jasno-szare, tory tramwajowe – czarne, a tereny zielone przedstawione są na zielono.

3.2. Etapy automatyzacji

Celem badań było automatyczne przetworzenie mapy cyfrowej do takiej postaci, w której zgodnie z założeniami modelu otrzymamy przestrzeń nawigowalną dla pieszych podzieloną na sceny. Kolejne etapy automatyzacji przetwarzania obejmowały: wstępną obróbkę danych, binaryzację, szkieletyzację i mozaikowanie przestrzeni z wykorzystaniem diagramów Voronoi.

W fazie wstępnej, dane należało poddać analizie, w celu wyodrębnienia obszarów, po których mogą się poruszać piesi. Dane wejściowe były w postaci rastrowej z indeksowaną przestrzenią kolorów (RGB). Dzięki temu, każda „warstwa” (grupa obiektów) miała przyporządkowany kolor. Po transformacji obrazu do przestrzeni 256 odcieni szarości (*grayscale*), każdy obiekt miał przypisaną wartość jasności pikseli z przedziału 0-255. Następnie przystąpiono do podziału obiektów na takie, po których piesi mogą się poruszać oraz te, które stanowią dla nich barierę. Do pierwszej grupy zaliczono: chodniki oraz przejścia dla pieszych. Natomiast w drugiej grupie znalazły się pozostałe obszary, tj. murki, drogi, budynki, pomniki, tereny zielone. Tereny zielone zostały zakwalifikowane jako bariera dla pieszych, ponieważ w większości parków występuje zakaz wchodzenia na trawniki. Ponadto przyjęto, że sieć ścieżek jest w zupełności dla pieszych wystarczająca.

Mając wydzielone te dwie grupy obiektów można było przystąpić do binaryzacji obrazu, czyli takiego przekształcenia, które pozwala nam na uzyskanie obrazu zerojedynkowego. Obszary z pikselami o wartości „0” będą przedstawiać tereny

niedostępne dla pieszych, natomiast obszary zawierające piksele o wartości „1” – tereny, po których piesi mogą się poruszać. Napotkano tutaj na kilka problemów, spowodowanych niską jakością danych wejściowych. Np. wystąpiły braki przejść dla pieszych, lub przebieg torów tramwajowych dzielił („rozcinał”) chodnik na dwie części. Rozwiązano je częściowo wykorzystując operator zamknięcia obrazu odpowiednim elementem strukturalnym, bądź też automatycznie wybierając obszary (na podstawie ich właściwości oraz otoczenia, w którym się znajdują), które mają zostać połączone. Niestety, pewnych obiektów nie dało się połączyć bez wpływu na inne obiekty, przez co niektóre chodniki są całkowicie oddzielone od siebie.

Dysponując takim obrazem, przystąpiono do przeprowadzenia operacji szkieletyzacji. Jest to proces, który transformuje obraz wejściowy w reprezentację o postaci zbioru cienkich linii grubości jednego piksela. Najważniejszą cechą szkieletyzacji jest fakt, iż zachowuje ona kształt obiektu, a co najważniejsze – również jego topologię. Utworzony szkielet posiada wiele „ślepo” zakończonych gałęzi, które nie będą potrzebne w kolejnym kroku. Dlatego też szkielet „wyczyszczono” elementem strukturalnym, usuwając te obiekty. Taka postać szkieletu jest jednocześnie nawigowalnym grafem.

Mając do dyspozycji nawigowalny graf, ostatnim etapem automatyzacji było utworzenie scen decyzyjnych przy użyciu diagramów (poligonów) Voronoi. Zasadą diagramów Voronoi jest podział płaszczyzny zawierającej zbiór n punktów na n obszarów w taki sposób, że każdy punkt w dowolnym obszarze znajduje się bliżej określonego punktu ze zbioru n punktów niż od pozostałych $n - 1$ punktów. Zgodnie z modelem wyszukiwania drogi, sceny decyzyjne, będące jednocześnie poligonami Voronoi, są budowane wokół punktów decyzyjnych. W przypadku niniejszego projektu, punktami decyzyjnymi były nie tylko węzły, czyli punkty, gdzie mamy jedną lub więcej możliwości wyboru innej drogi. Z powodu wspomnianej wcześniej niskiej jakości danych (oddzielone chodniki), postanowiono użyć również skrzyżowań dróg jako punktów, wokół których zbudowane zostały sceny decyzyjne.

4. WYNIKI

Praktycznym wynikiem badań jest opracowany algorytm, który pozwala na automatyczne przetwarzanie danych dla przyszłego systemu nawigacji dla pieszych. Cała idea przetwarzania jest zarazem zgodna z modelem wyszukiwania drogi opracowanym przez Gaisbauera i Franka (Gaisbauer *et al.*, 2008). Począwszy od analizy danych wejściowych w postaci mapy rastrowej, poprzez jej binaryzację oraz szkieletyzację obszarów nawigowalnych dla pieszych, uzyskaliśmy sceny decyzyjne – kluczowe obiekty w opracowanym modelu. Wyniki kolejnych etapów automatycznego przetwarzania przykładowych danych zostały przedstawione na rysunku 4.

Automatyzacja przetwarzania danych jest tylko częścią dużego projektu mającego na celu stworzenie nowoczesnego systemu nawigacji dla pieszych. Kolejnym etapem prac powinna być implementacja tego rozwiązania do przenośnego urządzenia, które będzie w stanie spełnić warunki tworzącego się systemu. Równie ważną kwestią jest optymalizacja algorytmu, która może być osiągnięta przez napisanie go w bardziej kompaktowym środowisku programistycznym. Istnieje również wiele problemów, które powinny być rozwiązane w przyszłości. Na przykład, nadal brak koncepcji, jak radzić

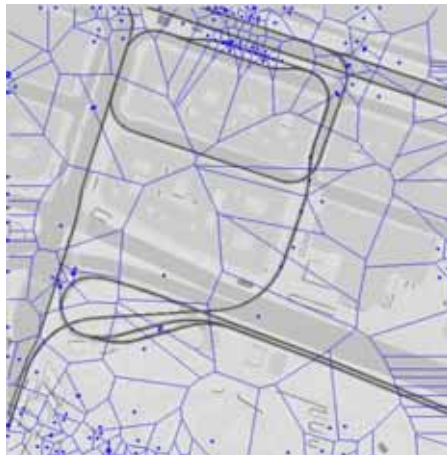
sobie z punktami decyzyjnymi umieszczonymi wzdłuż długiej, prostej drogi. Tworzenie scen decyzyjnych w takich przypadkach jest nieefektywne. Ponadto, niniejsze badania były prowadzone na konkretnym zestawie danych rastrowych. Należy przetestować opracowany algorytm na różnych zestawach danych (niekoniecznie rastrowych) i ewentualnie dokonać takich zmian oraz optymalizacji, aby algorytm był uniwersalny.



a)



b)



c)

Rys. 4. a) Mapa binarna; b) Wyczyszczony szkielet; c) Przestrzeń podzielona poligonami Voronoi – sceny decyzyjne

5. ADNOTACJE

Artykuł ten powstał na podstawie pracy magisterskiej Piotra Tokarczyka pt. *"Automatization of data acquisition and processing for pedestrian navigation system purposes"*. Badania były przeprowadzone w ramach projektu *SemWay* i programu *FIT-*

IT: *Semantic Systems* oraz wspomagane przez Austriackie Ministerstwo Transportu, Innowacji i Technologii (BMVIT - Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie).

6. LITERATURA

Canalys 2006. Mobile GPS navigation market doubles year-on-year in EMEA, Canalys research, UK, 2006. Available online as: <http://www.canalys.com/pr/2006/r2006081.htm>.

Elias B., 2007. *Pedestrian Navigation - Creating a tailored geodatabase for routing*. 4th Workshop on Positioning, Navigation and Communication 2007 (WPNC'07), Hannover, Germany, 1-4244-0871-7/07 IEEE, pp.41-47.

Gaisbauer C., Frank A.U., 2008. *Wayfinding Model For Pedestrian Navigation*. Institute of Geoinformation and Cartography, Vienna University of Technology.

Johnson M., 1987. *The Body in the Mind: The Bodily Basis of Meaning, Imagination, and Reason*. The University of Chicago Press, Chicago.

Lakoff G., 1987. *Women, Fire, and Dangerous Things. What Categories Reveal about the Mind*. The University of Chicago Press.

Lynch K., 1960. *Image of The City*. Cambridge, MA: MIT Press.

Montello D., 1993. *Scale and Multiple Psychologies of Space*. In: A. U. Frank and I. Campari (Eds.), *Spatial Information Theory: A Theoretical Basis for GIS*. Berlin: Springer-Verlag, pp. 312-321.

Raubal M., 2001. *Agent-based Simulation of Human Wayfinding: A Perceptual Model for Unfamiliar Buildings*. Ph.D. Thesis, Vienna University of Technology.

Rehrl K., Leitinger S., Gartner G., 2007. *The SemWay Project - Towards Semantic Navigation Systems*. In *Proceedings of the 4th International Symposium on LBS & TeleCartography*, Hong Kong.

Rüetschi U.J., Timpf S., 2005. *Modelling wayfinding in public transport: Network space and scene space*. In: Freksa, C., Knauff, M., Krieg-Brückner, B., Nebel, B., Barkowsky, T. (Eds.) *Spatial Cognition IV: Reasoning, Action, Interaction*; International Conference Frauenchiemsee. LNCS (LNAI), vol. 3343, pp. 24-41. Springer, Heidelberg.

Stark A., Riebeck M., Kawalek J., 2007. *How to Design an Advanced Pedestrian Navigation System: Field Trial Results*. IEEE International Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications. Dortmund, Germany.

AUTOMATIZATION OF DATA ACQUISITION AND PROCESSING FOR PEDESTRIAN NAVIGATION SYSTEM PURPOSES

KEY WORDS: GIS, digital image processing, personal navigation, pedestrian navigation, spatial cognition, cognitive semantics, human wayfinding

Summary

Wayfinding is a vital part of our everyday life. Since it is our daily routine, hardly anybody realizes what a demanding task it is and that it requires certain spatial and cognitive abilities. To develop supporting tools for wayfinding, it is essential to know the mechanisms that control these processes. With a progress of technology, the size and weight of electronic devices have diminished significantly. The dropping of prices and wide-ranging availability of such devices increased interest in such systems. Factors like size and availability were the reason for calling them “ubiquitous systems”.

The market is full of perfectly working navigation systems for car drivers. They are widespread, have high user-acceptance level and their market is fast-growing. Can one modify such systems in a way that pedestrians can use it? The problem is more complex than one might imagine at first sight. Field tests show that systems for car drivers do not meet the requirements of pedestrian users. Car and pedestrian navigation differ in: degree of freedom, velocity of movement and spatial resolution.

In this paper we focus on data acquisition. The required data cannot be based on the same datasets used for car navigation systems. Automatization of the process of data acquisition is also required. The paper introduces a theoretical basis of pedestrian navigation system. The emphasis is given

to the mechanisms responsible for perceiving the surrounding environment. A concept of cognitive maps and image schemata, which are working in our minds, is presented. The paper explains what are our needs and information categories while we are performing a wayfinding task.

The wayfinding model developed assumes construction of *decision scenes* which will replace decision points well-known from car driver navigation systems. The result of this research is an algorithm allowing automatic data processing for pedestrian navigation system. Through successive phases of preprocessing, binarization, skeletonization, and application of Voronoi diagrams, the navigable graph was obtained. It includes *decision scenes* and is ready for implementation to the new system.

mgr inż. Piotr Tokarczyk
e-mail: piotr.tokarczyk@gmail.com
tel. +48 502872717

prof. Dr Andrew U. Frank
e-mail: frank@geoinfo.tuwien.ac.at
tel. +43 1 5880112710
fax: +43 1 5880112799

WYKORZYSTANIE PRZEGLĄDARKI VGLFL DO POZYSKIWANIA I OPRACOWANIA DANYCH ZE ŹRÓDEŁ HETEROGENICZNYCH

VGLFL VIEWER FOR ACQUIRING AND DEVELOPING DATA FROM HETEROGENEOUS SOURCES

Mariusz Twardowski

Akademia Górniczo-Hutnicza

SŁOWA KLUCZOWE: przeglądarka, stereo, sieci, bazy, rozproszone, agent

STRESZCZENIE: W artykule opisany zostanie system wizualizacji fragmentów cyfrowych zdjęć stereoskopowych o roboczej nazwie VGLFL, który został stworzony do pozyskiwania danych z baz rozproszonych za pośrednictwem systemu agentowego. Ponadto przedstawiona zostanie możliwość wykorzystania tegoż systemu do pozyskiwania i opracowania danych pochodzących z innych źródeł, takich jak publiczne materiały dostępne za pośrednictwem protokołu HTTP. Przeglądarka wyposażona została w interfejs użytkownika oparty na bibliotece FLTK oraz silnik graficzny oparty o bibliotekę OpenGL, która pozwala na wydajną wizualizację, oraz integrację obsługi okularów stereoskopowych. W celu maksymalnego uproszczenia relacji pomiędzy użytkownikiem a systemem agentowym, wprowadzono do programu dedykowany moduł sieciowy, oparty o bibliotekę *libcurl* i realizujący funkcję zapytań do systemu agentowego oraz automatycznego pobierania żądanych fragmentów bezpośrednio do interfejsu graficznego. Rozszerzenie funkcjonalności modułu sieciowego pozwoliłoby na zwiększenie zasobu dostępnych źródeł danych, gdzie oprócz dedykowanej rozproszonej bazy danych, dostępnej przy pomocy systemu agentowego, możliwe byłoby wykorzystanie publicznych źródeł danych obrazowych udostępnianych przy użyciu protokołu HTTP. Wprowadzając odpowiednie zmiany w programie możliwe byłoby wykorzystanie np.: zasobów zdjęć lotniczych Terraserver USA lub zdjęć satelitarnych NASA World Wind, bez konieczności modyfikacji funkcjonalności związanych z systemem agentowym. Rozszerzenie takie polegałoby na implementacji odpowiedniego interfejsu wymiany danych pomiędzy serwerem HTTP udostępniającym dane, a klientem przeglądarki. Wszystkie zastosowane w projekcie rozwiązania, jak również system operacyjny i środowisko programistyczne, w którym te rozwiązania powstały, oparte są w pełni na oprogramowaniu typu open source, rozpowszechnianym na zasadach licencji GPL/LGPL lub z nią zgodnej.

1. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA PRZEGLĄDARKI

Badania prowadzone w ostatnich latach w Katedrze Geoinformacji, Fotogrametrii i Teledetekcji Środowiska AGH obejmowały zastosowanie systemów agentowych do pozyskiwania danych obrazowych z rozproszonych baz danych (Jachimski et al., 2004). Efektem badań była metoda składająca się z następujących etapów:

- 1) wprowadzenie przez użytkownika do interfejsu parametrów określających pożądaną lokalizację,

- 2) wysłanie zapytania użytkownika z interfejsu do najbliższego serwera na którym działa opracowany system agentowy,
- 3) wysłanie przez agenta który kolekcjonuje dane i w razie potrzeby wydaje polecenia ich przetwarzania na poszczególnych serwerach należących do systemu.
- 4) po powrocie agenta na serwer macierzysty podjęcie odpowiednich działań na podstawie danych zgromadzonych przez agenta (pobranie wycinków obrazów, wysłanie informacji o zakończonym procesie do interfejsu użytkownika, wysłanie maila informującego użytkownika o zakończonym procesie itp.),
- 5) przesłanie zgromadzonych danych do interfejsu użytkownika,
- 6) wizualizacja danych na ekranie komputera użytkownika.

W wyniku uzyskano zintegrowany sieciowy system przetwarzania danych, w którym jednym z elementów była stereoskopowa przeglądarka obrazów cyfrowych pochodzących ze zdjęć lotniczych. Głównym założeniem podczas tworzenia przeglądarki była jej wieloplatformowość, czyli program powinien, bez żadnych istotnych zmianach w kodzie, pozwolić skompilować swoje źródło na dowolnym systemie operacyjnym. Założenie to pociąga za sobą szereg pochodnych elementów, z których pierwszym i podstawowym był wybór języka programowania. W przypadku przeglądarki zdecydowano się na zastosowanie kompilatora GCC, ponieważ jest on dostępny dla większości systemów operacyjnych włączając w to Linux i Microsoft Windows. Ponadto licencja jaką jest objęte to oprogramowanie, czyli GPL, pozwala na jego wykorzystanie, w dowolnym celu, co jest cechą unikalną w zakresie aplikacji tego typu. Dodatkowo przy pracach nad programem starano się zachować takie same kryteria dla wszystkich pozostałych elementów, a w szczególności bibliotek wykorzystanych przy powstawaniu aplikacji.

Wykorzystując możliwości języka C++ program został podzielony na kilka funkcjonalnych modułów zawartych w klasach i metodach poszczególnych klas. Tak stworzone obiekty pozwalają na łatwiejsze kontrolowanie kodu, niż ma to miejsce w przypadku programowania strukturalnego. W efekcie program można podzielić na kilka części odpowiedzialnych za określone funkcje:

- 1) moduł do zarządzania elementami projektu takimi jak: ilość załadowanych obrazów, stworzone grupy elementów wektorowych lub rodzaj organizacji obrazu,
- 2) moduł zawierający interfejs użytkownika, na który składa się główne menu wyboru funkcji programu oraz zestaw okien dialogowych pozwalających na wprowadzanie parametrów działania programu,
- 3) moduł obsługi silnika graficznego, realizującego funkcje wizualizacji graficznych danych rastrowych i wektorowych, które są przedstawiane na ekranie monitora za pośrednictwem karty graficznej,
- 4) moduł do obsługi danych graficznych, wirtualnie łączącego dane rastrowe i wektorowe, tworząc w ten sposób zunifikowaną warstwę abstrakcji dla danych obrazowych pozwalając na wizualizację przy użyciu silnika graficznego,
- 5) moduł obliczający parametry transformacji pomiędzy różnymi układami współrzędnych, pozwala na określenie parametrów modelu dla danych graficznych,
- 6) moduł obsługujący protokoły sieciowe, pozwala na komunikację pomiędzy serwerami a stacją roboczą użytkownika.

Moduły zostały zorganizowane w taki sposób aby przekazywać sobie istotne informacje, bez konieczności ingerencji w ich wewnętrzną strukturę.

Przy tworzeniu programu posłużono się dostępnymi na licencji LGPL bibliotekami, co przyspieszyło w znacznym stopniu proces powstawania aplikacji. Interfejs użytkownika powstał za pośrednictwem biblioteki FLTK, która umożliwia tworzenie podstawowych elementów niezbędnych do stworzenia pełnowartościowej aplikacji okienkowej, przy jednoczesnym małym rozmiarze oraz stosunkowo łatwej i szybkiej możliwości tworzenia interfejsu za pomocą dedykowanej aplikacji Fluid. FLTK jest niewielką, elastyczną biblioteką wieloplatformową, z powodzeniem została przetestowana na kilku systemach operacyjnych i pozwala ona na proste i szybkie tworzenie menu graficznego. Ponadto posiada wbudowaną obsługę dla akceleration trybu graficznego OpenGL za pośrednictwem klasy *GLWindow*, która pozwala silnikowi graficznemu na renderowanie obiektów bezpośrednio do okna aplikacji (Spitzak, 2007). Zastosowanie jej w projekcie pozwoliło na stworzenie uniwersalnej platformy do dalszej rozbudowy programu.

Silnik graficzny programu powstał przy użyciu popularnej biblioteki OpenGL, która jest szeroko stosowana w aplikacjach wymagających graficznej akceleracji sprzętowej. W przeciwieństwie do bibliotek Microsoft DirectX zachowuje ona elastyczność w kompilacji na różnych platformach sprzętowych i systemowych, jak również nie pociąga za sobą implikacji licencyjnych. OpenGL pozwala nie tylko na wydajne renderowanie obiektów ale również na pracę w trybie stereo z zastosowaniem okularów migawkowych lub polaryzacyjnych (Martz, 2006). Biblioteka ponadto jest dobrze udokumentowana w zastosowaniu na różnych systemach operacyjnych (Cojot, 1996; Kilgard, 1996; Fosner, 1996) i wspomagana przez niemal wszystkich producentów kart graficznych m.in.: nVidia i ATI. Przejrzyste i jednoznacznie zdefiniowana specyfikacja biblioteki pozwala na dokładne odwzorowanie obrazu na ekranie monitora, przy pomocy stosunkowo łatwego w obsłudze API kompatybilnego z językiem C/C++ (Alkaley et al., 2006). Obraz wyświetlany przy pomocy silnika graficznego na ekranie monitora jest generowany z połączenia dwóch źródeł. W przypadku danych rastrowych są one ładowane do pamięci komputera w postaci tzw. *taili* czyli stosunkowo małych kwadratów będących fragmentami rastra. Tak przygotowana tekstura nakładana jest na obszar zdefiniowany poprzez cztery narożniki tzw. *quady*, które reprezentują jeden z rodzajów tworów prymitywnych dostępnych w specyfikacji OpenGL. Następnie na przygotowany w ten sposób zwizualizowany raster nakładane są warstwy danych wektorowych zdefiniowane za pomocą punktów, linii i ciągów liniowych.

2. OBSŁUGA PROTOKOŁÓW SIECIOWYCH

Większość istniejących aplikacji sieciowych zakłada model, w którym z jednej strony połączenia znajduje się klient, czyli komputer żądający połączenia, a z drugiej serwer, czyli komputer oczekujący na nadejście połączenia. Model taki tradycyjnie nazywany jest *client-server*. Dodatkowo serwery używające tej metody można podzielić na dwie grupy: iteracyjne i konkurentne. W przypadku serwera iteracyjnego czeka on na nadejście połączenia od klienta, przetwarza zapytanie klienta, wysyła odpowiedź i wraca do oczekiwania. Problem powstaje gdy przetwarzanie zajmuje dużo czasu i w tym czasie serwer nie może obsługiwać innego klienta równolegle. Dlatego częściej używany jest serwer konkurentny, który również czeka na połączenie klienta, ale po nadejściu połączenia uruchamia nowy proces serwera np. w nowym wątku, i ten nowy proces

obsługuje klienta bez blokowania oryginalnego serwera. Po zakończeniu przetwarzania i wysłaniu odpowiedzi dodatkowy program zostaje zakończony (Bishop et al 2005).

Wśród rozlicznych usług, które mogą być realizowane w sieciach opartych na protokole TCP/IP, jedną z najbardziej elementarnych i podstawowych jest Telnet (Postel et al., 1983). Technicznie jest to najprostsza z usług sieciowych: służy do nawiązania interaktywnego połączenia terminalowego ze wskazanym komputerem, a dokładniej z programem - serwerem udostępniającym usługę opartą na protokole o nazwie Telnet, pracującym na tym komputerze. Po nawiązaniu takiego połączenia znaki wpisywane na klawiaturze naszego komputera przesyłane są poprzez sieć do maszyny, z którą jesteśmy połączeni, a przesyłane w odwrotną stronę odpowiedzi wyświetlane są na naszym ekranie. Można w ten sposób wydawać komendy komputerowi na którym jesteśmy zalogowani poprzez linię poleceń, bez konieczności dostępu do klawiatury czy monitora tego zdalnego serwera. Protokół ten ma niewielkie zastosowanie w opisywanym projekcie ze względu na brak możliwości bezpośredniego transferu plików.

FTP czyli *File Transfer Protocol*, jest to protokół umożliwiający przesyłanie plików poprzez sieć Internet (Postel et al., 1995). Aby możliwe było przesyłanie plików za pomocą tego protokołu, jeden komputer musi pełnić funkcję serwera FTP. Co pozwala użytkownikowi, na drugim komputerze uruchomić program klienta FTP, za pomocą którego loguje się do serwera. Teraz możliwe jest już przesyłanie plików w dwie strony. Użytkownik nie zawsze jednak ma dostęp do wszystkich plików na serwerze; zależy to od uprawnień, jakie mu przysługują. Popularną usługą jest także anonimowe FTP, dzięki któremu użytkownik może się zalogować do komputera, na którym nie ma żadnych praw dostępu. Wówczas jako nazwę użytkownika podaje "anonymous", hasłem zaś jest jego adres e-mail. Użytkownik ma wtedy możliwość korzystania z wybranych zasobów serwera bez posiadania specjalnego konta użytkownika. Taki anonimowy dostęp pozwala użytkownikowi na korzystanie z materiałów publicznych, które chcemy rozpowszechnić w jak najszerszym kręgu ludzi.

Jednym z najbardziej spopularyzowanych sposobów realizowania połączenia klient-serwer jest udostępnianie danych przy pomocy protokołu http z wykorzystaniem graficznych przeglądarek internetowych. Sposób ten charakteryzuje się dostateczną elastycznością i szybkością, które są niezbędne do obsługi rozproszonego systemu informacji hipermedialnych. Jest to ogólny i zorientowany obiektowo protokół, który może być wykorzystywany do wielu zadań, takich jak zarządzanie serwerami nazw lub systemami obiektów rozproszonych, a to dzięki rozszerzeniu jego zestawu instrukcji. Kiedy użytkownik uruchomi swoją przeglądarkę i wprowadzi nazwę serwera lub jego adres IP, następuje poszukiwanie właściwego miejsca w sieci (korporacyjnej lub w Internecie, zależnie od uzyskanego połączenia) (Fielding i inni 1999). Po jego odnalezieniu nawiązywana jest komunikacja z wybranym serwerem.

Przeglądarka została stworzona jako interfejs pomiędzy użytkownikiem i systemem agentowym, pozwalając tym samym na uproszczenie interakcji pomiędzy nimi. Aby możliwa była taka funkcjonalność program zawiera zintegrowaną obsługę protokołów sieciowych za pośrednictwem biblioteki *libcurl*, która realizuje funkcję transmisji danych pomiędzy interfejsem a serwerem HTTP, dzięki czemu moduł obsługi sieciowej mógł zostać w znacznym stopniu uproszczony. Użyta biblioteka zapewnia ponadto

obsługę wielu innych protokołów sieciowych takich jak: FTP, FTPS, HTTP, HTTPS, SCP, SFTP, TFTP, TELNET (cURL, 2007), dzięki czemu zapewniona zostaje w programie elastyczność w przypadku konieczności rozbudowy lub zmiany protokołu wymiany danych.

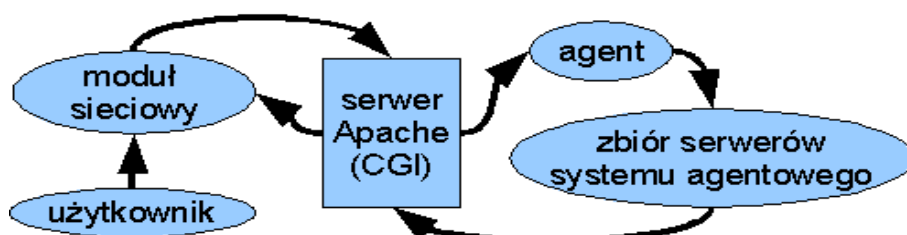
3. WYKORZYSTANIE PROTOKOŁU HTTP

HTTP to protokół sterujący, odpowiedzialny za ustanowienie połączenia pomiędzy klientem a serwerem i przekazujący instrukcje pomiędzy tymi systemami. HTML jest językiem formatującym dokumenty, które w odpowiedni sposób interpretowane są przez przeglądarkę, a następnie wyświetlane na monitorze. Każde zapytanie (żądanie) klienta (czyli przeglądarki) składa się z trzech części:

- 1) linii zapytania (klient: polecenie method, adres dokumentu i wersja protokołu HTTP; serwer: wersja protokołu HTTP, kod stanu serwera, opisujący m.in. informację czy dana strona istnieje, czy nie i opis,
- 2) listy nagłówek (klient: opcjonalne powiadomienie serwera m.in. o tym, jakie rodzaje dokumentów potrafi obsłużyć przeglądarka, typ przeglądarki itp.; serwer: dane dotyczące serwera i dokumentu),
- 3) części zasadniczej (klient: informacje dodatkowe wykorzystywane przez serwer np. podczas wykonywania skryptów CGI; serwer: treść dokumentu, wynik działania skryptu CGI bądź, w wypadku gdy żądany dokument nie istnieje, bądź skrypt nie może być wykonany, czytelną informację o zaistniałym błędzie).

HTTP jest protokołem bezstanowym, co oznacza że serwer nie może wysłać zapytań do klienta (Kristol et al., 1997). W zasadzie po zapytaniu klienta i pobraniu danych połączenie jest przerywane. Jest to poniekąd pożądane ze względów bezpieczeństwa, ale jednocześnie jest wadą pod względem wygody użytkownika. Serwer mogąc pobrać informacje ze strony klienta mógłby w lepszy sposób automatycznie reagować na zapytania, niestety odbywałoby się to kosztem prywatności. Ze względu na tą cechę powstały odrębne mechanizmy pozwalające na wysyłanie informacji, których potrzebuje serwer, a o których nie wie przeglądarka użytkownika. Przykładem takim mogą być tzw. *cookies*, które są małymi plikami pobieranymi bez naszej wiedzy z serwera a następnie, przy kolejnym połączeniu z tą samą witryną, są odsyłane zawarte w nich informacje w postaci niezamierzonego zapytania klienta. W rezultacie, mimo że serwer nie może wysłać zapytania do klienta to i tak otrzymuje informacje które potrzebował. Dzięki temu istnieje np. możliwość automatycznego logowania na strony.

W rozwiązaniu przyjętym do tej pory w przeglądarce komunikacja polega na połączeniu po protokole HTTP z serwerem Apache i wysłania zapytania przy użyciu metody POST. Serwer Apache interpretując kod zapytania uruchamia usługę CGI, poprzez którą parametry wykonania przesyłane są do agenta. Usługa CGI obsługiwana jest przez specjalny mały dedykowany program, który interpretuje komendy pozyskane z metody POST. Po tej operacji program agenta rozpoczyna gromadzenie danych, a użytkownik po pewnym czasie może sprawdzić wyniki zapytania. Kontrola zapytań jest rozwiązana w taki sam sposób jak samo zapytanie. Graficznie schemat przepływu informacji można przedstawić tak jak na rysunku (1).



Za wszystkie operacje sieciowe zawarte w przeglądarce odpowiada moduł sieciowy oparty o wspomnianą już bibliotekę libcurl. Moduł sieciowy przeglądarki generuje zapytanie dla serwera, co można przedstawić w następujący sposób:

```
curl_easy_setopt(chnd, CURLOPT_POSTFIELDS, postdata);  
curl_easy_setopt(chnd, CURLOPT_URL, hosturl);  
curl_easy_setopt(chnd, CURLOPT_WRITEFUNCTION, curlwriter);  
curl_easy_setopt(chnd, CURLOPT_WRITEDATA, &reply);  
curl_easy_perform(chnd);
```

Gdzie ciąg znaków „postdata” jest odpowiednio wygenerowanym zapytaniem metody POST, „hosturl” jest ciągiem zawierającym adres sieciowy, „curlwriter” jest metodą określającą interpretację danych przesłanych z serwera, a „reply” to referencja do zarezerwowanej pamięci w której odpowiedź serwera ma zostać zapisana. Korzystając z tego przykładu widać, że w bardzo prosty sposób, nawet bez ingerencji w kod źródłowy modułu można zmodyfikować zapytanie wysyłane przez moduł sieciowy tak, aby dane były pobierane bezpośrednio z serwera HTTP udostępniającego pliki graficzne. Możliwa jest wtedy niejako emulacja przeglądarki, która zazwyczaj łączy się z serwerem map. Oczywiście wymagana jest późniejsza odpowiednia interpretacja danych w programie, aby nastąpiła poprawna wizualizacja danych.

Korzystając z publicznie dostępnego serwera Terraserver USA można pobrać inicjalną stronę przeglądową mapy. Pobierając stronę pod adresem terraserverusa.com uzyskujemy kod HTML z którego analizy wynika, że pozyskać dane graficzne można używając metody jawnej GET lub dwóch metod POST. Korzystając z pierwszej metody uzyskujemy dwa poziomy mapy przeglądowej dostępne np. pod adresami:

<http://terraserverusa.com/cmap.aspx?src=0&ppd=1&r=4&c=3&W=0>

<http://terraserverusa.com/Cmap.aspx?Src=0&T=0&PPD=8&R=4&C=3&W=1>

W pierwszym przypadku wybieramy Stany Zjednoczone, a w drugim jeden z południowo-wschodnich obszarów. W kolejnym kroku otrzymujemy już obraz pochodzący ze zdjęć lotniczych. Ponownie wybierając kolejne poziomy mapy możemy otrzymać adresy następujących fragmentów terenu np.:

<http://terraserverusa.com/image.aspx?T=0&S=16&R=19&C=16&W=1>

<http://terraserverusa.com/image.aspx?T=1&S=15&Z=16&X=75&Y=563&W=1>

<http://teraserverusa.com/image.aspx?T=1&S=14&Z=16&X=148&Y=1126&W=1>

<http://teraserverusa.com/image.aspx?T=1&S=13&Z=16&X=294&Y=2252&W=1>

<http://teraserverusa.com/image.aspx?T=1&S=12&Z=16&X=586&Y=4504&W=1>

Analizując tak pozyskane dane można zauważyć, że dane na serwerze uporządkowane w siatkę kwadratów po której można się poruszać operując zmiennymi R i C w przypadku mapy przeglądowej, a następnie zmiennymi X, Y i S w przypadku docelowej ortofotomapy, gdzie S oznacza jej poziom skali. Następnie analizując uzyskany kod HTML z serwera można określić nazwy poszczególnych fragmentów mapy, oraz odnośniki do ich dwukrotnego powiększenia zamieniając nazwę skryptu „image.aspx” na nazwę „tile.ashx” co pozwala pobrać faktyczne dane obrazu o rozmiarze 256x256 pikseli i zapisanego w formacie JPEG. Drugą możliwością pozyskania danych obrazowych jest skorzystanie z dostępnych na stronie dwóch metod typu POST. Pierwsza z metod znajduje się w formie „advfind.aspx” gdzie w polach metody można wpisać nazwę lokalizacji w postaci ulicy, miasta i stanu. Druga metoda znajduje się w formie „image.aspx” w której można znaleźć interesujący obszar przy pomocy szerokości i długości geograficznej. Uzyskana w ten sposób strona przedstawia zdjęcia na poziomie S=14, z którego to można nawigować dalej korzystając w sposób przedstawiony powyżej.

Wykorzystując tę analizę widać, że można wykorzystać moduł sieciowy przeglądarki do pozyskania danych udostępnianych poprzez publiczny serwer HTTP. W tym celu należy w polu „hosturl” podać bezpośredni adres do wybranego taila danych graficznych metodą GET, lub w przypadku korzystania z metody POST wypełnić odpowiednio dostępne pole „postdata”, a następnie uruchomić metodę „curl_perform” biblioteki libcurl. W zależności od zapytania dane do interpretacji lub wyświetlenia będą znajdować się w obszarze pamięci komputera zadeklarowanej przez referencję „reply”. Wspomnieć należy, że pozyskane w ten sposób dane będą musiały być zapisane w tzw. *cache*, czyli wyodrębnionym zarezerwowanym wcześniej obszarze pamięci dynamicznej lub dyskowej w celu ponownego ich wykorzystania bez konieczności ponownego transferu danych z serwera. Działanie takie ma na celu przyspieszenie działania aplikacji, w przypadku kolejnych odwołań do tego samego obszaru.

Przeprowadzając podobną do przedstawionego przykładu analizę kodu źródłowego HTML pozyskanego z innych udostępniających dane serwerów HTTP, można wyodrębnić właściwe znaczniki i metody którymi należy się posłużyć aby możliwe było uzyskanie odpowiednich danych do wizualizacji. Niestety nie ma automatycznej metody uniwersalnej, która by taką operację umożliwiała, ze względu na indywidualną specyfikę poszczególnych serwerów obrazowych. Jednak możliwym byłoby wyodrębnienie pewnych grup serwerów które używają tych samych lub podobnych metod.

4. LITERATURA

Alkaley K., Segal M., 2006. The OpenGL Graphic System: A Specification.

Bishop S., Fairbairn M., Norrish M., Sewell P., Smith M., Wansbrough K., 2005. TCP,UDP, and Sockets: rigorous and experimentally-validated behavioural specification.<http://www.cl.cam.ac.uk/~pes20/Netsem/tr.pdf>.

Cojot V., 1996. OpenGL Programming on Linux. Linux Journal.

cURL, 2007. <http://curl.haxx.se>.

Fielding R., Gettys J., Mogul J., Frystyk H., Masinter L., Leach P., Berners-Lee T., 1999. Hypertext Transfer Protocol - HTTP/1.1, RFC-2616 IETF. <http://ietf.org>.

Fosner R., 1996. OpenGL Programming for Windows 95 and Windows NT. Addison-Wesley, <http://opengl.org>.

Jachimski J., Twardowski M., 2003. Projekt wykorzystania systemu agendowego dla popularyzacji geoprzestrzennych informacji w postaci fotomap oraz stereogramów zdjęć lotniczych. Sztuczna inteligencja: organizacje wirtualne, WAT, Siedlce.

Kilgard M., 1996. OpenGL Programming for the X Window System. Addison-Wesley.

Kristol D., Montulli L., 1997. HTTP State Management Mechanism, RFC-2109 IETF. <http://ietf.org>.

Martz P., 2006. OpenGL Distilled. Addison Wesley Professional.

Postel J., Reynolds K., 1983. Telnet Protocol Specification, RFC-854 IETF. <http://ietf.org>.

Postel J., Reynolds K., 1985. File Transfer Protocol (FTP), RFC-959 IETF. <http://ietf.org>.

Spitzak B., 2007. Fast Light Toolkit, <http://fltk.org>.

VGLFL VIEWER FOR ACQUIRING AND DEVELOPING DATA FROM HETEROGENEOUS SOURCES

KEY WORDS: viewer, stereo, network, http, images

Summary

The paper describes a visualisation system of digital stereoimages, tentatively termed VGLFL. The system was develop to acquire data from sparse databases through a mobile agent system. Furthermore, a possibility of using the system to acquire and develop data originating from other sources, e.g., public resources accessible through the HTTP network protocol, will be introduced. The stereoviewer is a multi-platform solution, which means that its source code should compile without modifications on different platforms. The stereoviewer's user interface was based upon FLTK library, and the graphic engine was written using OpenGL, which allows efficient visualisation as well as integration of stereographic shutterglasses support. In terms of screen organization, the viewer supports display of one image, split screen, quadruple screen for identifying one homologous point in four images, quadbuffer stereo for shutter glasses, and anaglyph mode. Additionally, the libcurl library was used to create a network module that further simplifies interactions between the user and the mobile agent system allowing automatic acquisition and loading of images into the user interface. By extending the network protocol, there will be a possibility to increase the resource pool, whereby – in addition to standard sparse databases - other public sources such as Terraserver USA or Nasa World Wind would be available. All the solutions used in the project as well as the operating system and the development environment are fully based on open source software released under GPL/LGPL or a similar license.

dr inż. Mariusz Twardowski
e-mail: misiek@kpg.pl
tel. 502 252 950

PROBLEMATYKA STANDARYZACJI W DZIEDZINIE INWENTARYZACJI OBIEKTÓW ARCHITEKTONICZNYCH TECHNIKAMI SKANINGU LASEROWEGO NAZIEMNEGO

THE PROBLEM OF STANDARDIZATION OF TERRESTRIAL LASER SCANNING TECHNIQUES FOR ARCHITECTURE INVENTORY PURPOSES

Jacek Uchański¹, Piotr Falkowski¹, Lars Sörensen²

¹ Warszawskie Przedsiębiorstwo Geodezyjne S.A.

² Scan 3D Berlin

SŁOWA KLUCZOWE: inwentaryzacja architektoniczna, inwentaryzacja budowlana, standaryzacja, skaning laserowy naziemny, Polskie Normy (PN)

STRESZCZENIE: Szerokie wykorzystanie w praktyce usług inwentaryzacyjnych (budownictwo, architektura) metod naziemnego skaningu laserowego uświadomiło wszystkim zainteresowanym tą nową technologią konieczność weryfikacji dotychczasowych przepisów obowiązujących w istniejących instrukcjach technicznych. Zwłaszcza dotyczy to zagadnień standaryzacji ostatecznej postaci produktu jaki stanowi dokumentacja inwentaryzacyjna obiektu w powiązaniu z obowiązującymi w Unii Europejskiej znowelizowanymi normami technicznymi opartymi o wdrożone normy serii ISO. Referat sygnalizuje wszystkie te aspekty w kontekście zaproponowanej metodyki w podejściu do rozwiązania zaistniałego problemu

1. WPROWADZENIE

Problematyka wdrożenia nowych technologii wykonawczych zawsze wzbudza wiele pytań – szczególnie adresowanych do producentów – wykonawców danego produktu i zarazem do odbiorców – klientów, którzy z niego korzystają. Dopracowanie i synchronizacja tych wymagań niejednokrotnie stwarza wiele kontrowersji, zwłaszcza w sytuacjach gdy nowa technologia generuje produkt, który nie jest jednoznacznie scharakteryzowany i nie posiada atestu opartego na parytecie standardu. Z taką sytuacją mamy do czynienia obecnie, kiedy standardowe opracowania z zakresu inwentaryzacji architektoniczno – budowlanej oparte o wykorzystywaną do niedawna fotogrametrię naziemną zaczynają wypierać opracowania wynikające z zastosowania technologii skaningu laserowego.

Niestety nie nadąża za tymi wdrożeniami standard wykonawczy, który jednoznacznie określałby i dawał odpowiedź na następująco sformułowane pytania:

- Czy nowa technologia winna zmienić postać produktu końcowego, jaki wypromowała i ustabilizowała na rynku klienta fotogrametria naziemna w zakresie inwentaryzacji architektoniczno – budowlanej, gdzie obecnie skaning laserowy ma największe zastosowanie?

- Czy obowiązujące i funkcjonujące normy techniczne, na których oparto istniejące Wytyczne Techniczne GUGiK G-3.4 są wystarczające do określenia nowego dokumentu (produktu) będącego reprezentacją procesu inwentaryzacyjnego wykonanego metodą skaningu laserowego?
- Czy wobec faktu, iż procesy standaryzacji dotyczące różnych aspektów szeroko rozumianej geodezji odniesionej do procesu inwentaryzacji architektoniczno – budowlanej mogą być określone w oparciu o istniejące Polskie Normy, w tym obowiązujące już w budownictwie normy ISO?
- Czy Polskie Normy (dla w/w procesu) mogą być powiązane z innymi normami europejskimi dla powstania w efekcie końcowym unormowań i opartych o nie produktów o charakterze uniwersalnym – obowiązującym na obszarze Unii Europejskiej?
- Czy istniałaby możliwość, po uwzględnieniu wszystkich aspektów poruszonych powyżej, opracowania w formie instrukcyjnej lub katalogowej nowej edycji przepisów umożliwiających ich powszechne stosowanie, które skutkowałoby konkretnym określeniem rodzaju produktów i ich cech dokładnościowych, szczegółowości i jakości?

Te kwestie zostały poruszone w niniejszym referacie. Jego celem nie jest jednak przedstawienie gotowych rozwiązań problemu. Intencją autorów jest raczej rozpoczęcie dyskusji o konieczności wprowadzenia nowych standardów, bądź reinterpretacji istniejących. Autorzy skupiają się na przedstawieniu możliwie jak najpełniej istniejących w chwili obecnej norm i standardów oraz odniesieniu ich do technologii skaningu laserowego. W referacie zaprezentowana jest także (jako rozwiązanie przykładowe) propozycja usystematyzowania technologii w odniesieniu do norm i standardów.

2. POJĘCIE INWENTARYZACJI W BUDOWNICTWIE I OCHRONIE ZABYTKÓW

2.1. Definicja

Przy rozpatrywaniu zagadnienia standaryzacji nie sposób pominąć kwestii definicji i jednoznacznego określenia obszaru zagadnień, którego poszczególne pojęcia dotyczą. Z tego powodu ważne jest też szczegółowe zdefiniowanie pojęcia inwentaryzacji w budownictwie i ochronie zabytków. Mieczysław Kurzątkowski w Małym Słowniku Ochrony Zabytków przytacza następującą definicję inwentaryzacji:

INWENTARYZACJA (fr. inventarisation - sporządzanie inwentarza)
I. Przedstawienie wyglądu zabytku w formie obrazowej lub opisowej: 1) pomiarowa — rysunki w skali sporządzone na podstawie pomiaru bezpośredniego; 2) geodezyjna — rysunki zabytku {np. grodziska, parku), zespołu zabytkowego lub zabytku z otoczeniem, sporządzone w skali na podstawie pomiaru wykonanego instrumentami mierniczymi; 3) fotogrametryczna — (— fotogrametria: technika sporządzania map oraz inwentaryzacji pomiarowych obiektów i przedmiotów na podstawie zdjęć płaskich lub przestrzennych (stereogramów), wykonywanych kamerą fotogrametryczną (fototeodolit), przetwarzanych na rysunki w skali za pomocą specjalnej aparatury (autografu). Pozwala na dokładne odwzorowanie na rysunku wszelkich szczegółów, nieregularności, odkształceń i ubytków, a w wypadku zabytku architektury umożliwia ponadto wykonanie inwentaryzacji bez potrzeby posługiwania się rusztowaniami,

drabinami itp.); 4) fotograficzna — zbiór wykonanych w jednym czasie fotografii dających wyobrażenie o zabytku jako całości (w wypadku zabytku architektury także o jego wnętrzu) oraz o jego wszystkich szczegółach, również nie mających — wartości zabytkowych; 5) dendrologiczna — inwentaryzacja geodezyjna z naniesionymi drzewami i krzewami z oznaczeniem ich gatunku, wysokości, największej średnicy korony; 6) opisowa — opisanie zabytku sporządzone według przyjętego, dostosowanego do rodzaju zabytku schematu, przy użyciu przyjętej w — zabytkoznawstwie terminologii. Poszczególne rodzaje inwentaryzacji uzupełniają się wzajemnie i dają miarodajne informacje o zabytku. Inwentaryzacja fotogrametryczna może w określonych wypadkach zastąpić inwentaryzację pomiarową, geodezyjną lub fotograficzną. II. Katalog wszystkich zabytków sporządzony według kryterium topograficznego (np. gmina, miasto, województwo) lub rzeczowego (np. inwentaryzacja kościołów drewnianych, dzwonów), opracowany według przyjętego schematu. III. Czynność sporządzania — kartotek zabytków. INWENTARYZACJA POWYKONAWCZA - inwentaryzacja (pomiarowa, fotogrametryczna, fotograficzna) sporządzona po zakończeniu prac przy zabytku, które wniosły znaczące zmiany w stosunku do wyglądu i stanu zabytku przed przystąpieniem do prac. Powinna również obejmować instalacje, jeżeli nie zostały wykonane ściśle według projektów branżowych. (Kurzątkowski, 1989)

2.2. Podział, zakres, forma i treść pomiarów inwentaryzacyjnych w architekturze

W celu ujednolicenia opracowań fotogrametrycznych w Polsce, w roku 1980 Główny Urząd Geodezji i Kartografii wydał Wytyczne Techniczne G-3.4 pt.: Inwentaryzacja zespołów urbanistycznych, zespołów zieleni i obiektów architektury. Pozostają one niezmiennie aktualne aż do chwili obecnej (aczkolwiek wobec nowych uwarunkowań mocno dyskusyjne).

Zgodnie z „Wytycznymi G-3.4” przyjmuje się, że inwentaryzacja architektoniczna powinna zawierać komplet materiałów i informacji przedstawiających stan aktualny obiektu. Ma ona stanowić dokument historyczny oraz materiał wyjściowy, umożliwiający podjęcie opracowań projektowych i technicznych w celu ochrony obiektów, rewaloryzacji czy też adaptacji. Wyniki prac inwentaryzacyjnych przedstawia się w formie graficznej, fotograficznej i opisowej.

Zadaniem inwentaryzacji jest wierne zobrazowanie istniejącego układu przestrzennego, struktury funkcjonalnej i technicznej oraz wystroju zespołu obiektów architektonicznych, pojedynczych obiektów lub ich części. Na podstawie pomiarów geodezyjnych i fotogrametrycznych, jak mówi instrukcja, sporządza się plany tych obiektów.

Prowadzone prace można podzielić na:

- inwentaryzację urbanistyczną
- inwentaryzację architektoniczną.

Inwentaryzacja urbanistyczna obejmuje zespoły urbanistyczno-architektoniczne (zwarte zespoły osiedlowe miast i wsi), zespoły terenów zieleni, elementy zagospodarowania terenu (mała architektura, urządzenia naziemne i podziemne). Inwentaryzacja architektoniczna dotyczy natomiast obiektów architektury murowanej, obiektów architektury drewnianej, przedmiotów i wyposażenia wnętrz oraz poszczególnych detali.

2.3. Wykorzystanie metod fotogrametrycznych w inwentaryzacji obiektów zabytkowych

Aby stworzyć należycie udokumentowaną podstawę wykonania projektu rekonstrukcji, odbudowy bądź adaptacji obiektu budowlanego (architektonicznego) lub założenia urbanistycznego, niezbędne jest opracowanie i to bardzo wnikliwe kompletu informacji o danym obiekcie. W informacjach tych poza dokumentacją istniejącą, orzeczeniem stanu istniejącego i szczegółowymi zaleceniami projektowymi (konserwatorskimi), podstawową rolę spełniają dokładne pomiary inwentaryzacyjne. Stanowią one podstawę wspomnianego kompletu informacji oraz materiał dla projektu architektonicznego rewaloryzacji. Dotyczy to również innych obiektów budowlanych dla których inwentaryzacja jest wykonywana.

W terminologii fachowej nosi on nazwę inwentaryzacji architektoniczno-budowlanej (patrz załączona definicja), zaś jedną z metod służących do jej powstania (do niedawna najważniejszą) była metoda fotogrametryczna. Specyfika metody fotogrametrycznej umożliwia w ułamku sekundy obiektywny i trwały zapis wycinka przestrzeni, a potem wielostronne wykorzystanie tak zarejestrowanych obrazów (materiałów dokumentalnych obiektu) do celów merytorycznej i nie merytorycznej ich interpretacji.

Obecnie stosowane technologie oparte o fotogrametryczne wspomaganie procesu konserwatorskiego korzystają z wielu nowych rozwiązań tak w zakresie optyki, jak w dziedzinie przetwarzania obrazów. Zapewnił to niewątpliwie dynamiczny, ewolucyjny postęp w rozwoju elektroniki i informatyki. Wymienić w tym względzie należy:

- technologię opartą o możliwość wykorzystania ortofotografii,
- zintegrowaną technologię opartą o cyfrowe obrazy fotograficzne oraz numeryczny proces przetwarzania i generowania obrazów cyfrowych.
- technologię naziemnego skaningu laserowego

2.4. Technologia skaningu laserowego i problemy związane z jej wykorzystaniem w praktyce

Skaning laserowy stał się powszechną metodą pozyskiwania danych 3D, znajdując sobie miejsce na rynku obok od dawna ugruntowanych metod pomiarowych takich, jak tachimetria, fotogrametria i pomiary GPS. W ciągu ostatnich kilku lat rozwinięta została zaawansowana technologia i nowe elementy laserowych skanerów 3D, wprowadzając dodatkowe funkcje instrumentów takie, jak: możliwość teksturowania skanów z wykorzystaniem zdjęć cyfrowych bądź tzw. „intensity image”, elektroniczne poziomowanie, wymuszone centrowanie i możliwość natychmiastowego zorientowania instrumentu „na miejscu”. Cały czas wzrasta także prędkość działania i dokładność skanerów.

Mimo, że coraz to nowsze generacje naziemnych skanerów laserowych oferują wiele nowych funkcji i lepszą wydajność, wciąż najważniejsze jest przetestowanie zachowań dokładnościowych nowych systemów w celu ich optymalnego wykorzystania dla różnych zastosowań. Wielu autorów opublikowało raporty z różnych metod badania naziemnych systemów skanowania laserowego (Boehler *et al.*, 2003; Mechelke, 2007), niemniej jednak nie istnieją jeszcze zestandaryzowane metody kalibracji systemów

skanowania laserowego. Specyfikacje techniczne dostarczane przez producentów systemów wciąż nie są porównywalne. Dlatego też, dla użytkowników trudny może być wybór właściwego skanera dla konkretnego zastosowania, co podkreśla potrzebę badań porównawczych zachowań dokładnościowych naziemnych systemów skanowania laserowego. Pomimo obiektywnych problemów z zastosowaniem tej technologii, jej wykorzystanie jest faktem i, jak już wspominaliśmy, wymaga konieczności wygenerowania modelowego standardu w kwestiach dotyczących opracowania konkretnego produktu będącego efektem jej użycia.

Należy zauważyć, że jeżeli do inwentaryzacji nie wykorzystane zostaną instrumenty i metody pozwalające na uzyskanie dokładności zgodnych z wymaganiami istniejących standardów, doprowadzi to do powstania niepotrzebnych kosztów i wydatków. Z tego powodu każde geometryczne zadanie pomiarowe musi zawierać nie tylko wyznaczenie wzajemnych pozycji punktów i obiektów, ale również określenie dokładności wyników. W przypadku skanerów laserowych, w bardzo krótkim czasie mierzona jest bardzo duża liczba współrzędnych 3D na powierzchni obiektu. Ważne elementy obiektu, takie jak narożniki i krawędzie, nie są mierzone bezpośrednio; w związku z tym muszą one zostać wymodelowane w osobnym procesie na podstawie wyznaczonej chmury punktów. Wyniki badań [(Boehler *et al.*, 2003) wskazują, że paradoksalnie takie rozwiązania mogą podnieść dokładność w stosunku do pomiarów pojedynczych punktów, dzięki zastosowaniu metod automatycznego wpasowania kształtów z wykorzystaniem fragmentu chmury punktów.

Oddzielnym zagadnieniem pozostaje prezentacja wyników inwentaryzacji. Już sama chmura punktów po wyznaczeniu elementów orientacji zewnętrznej skanera staje się wirtualnym modelem obiektu z którego za pomocą prostych i darmowych aplikacji programowych można odczytywać miary, generować przekroje, itp. Spotkania autorów referatu z architektami, inżynierami budowlanymi i konserwatorami zabytków prowadzą do tworzenia koncepcji nowych form dokumentacji inwentaryzacyjnej. Na podstawie dotychczasowych doświadczeń można wymienić następujące formy opracowania inwentaryzacji:

- zarejestrowane i zorientowane chmury punktów w formacie możliwym do odczytania przez programy typu CAD
- zarejestrowane i zorientowane chmury punktów w formacie specjalistycznych programów pozwalających na dokonywanie pomiarów, wykonywanie przekroi, itp.
- chmury punktów uzupełnione treścią wektorową
- modele wektorowe w postaci siatek TIN lub MESH wygenerowane bezpośrednio z chmury punktów
- zbiory przekroi powstałych z przecięcia chmury punktów płaszczyznami
- ortofotomapy będące rzutami ortogonalnymi poszczególnych elewacji
- wektorowe rysunki inwentaryzacyjne wykonane zgodnie z zaleceniami norm dla budownictwa
- trójwymiarowe wektorowe modele obiektu tworzone zgodnie z zasadami obowiązującymi dla tworzenia rysunków inwentaryzacyjnych
- trójwymiarowe modele uzupełnione o tekstury poszczególnych elementów

Powyższy wykaz nie wyczerpuje wszystkich możliwych form prezentacji wyników inwentaryzacji. Należy zwrócić uwagę, że w świetle istniejących obecnie norm, jedyną dopuszczalną formą wykonywania inwentaryzacji architektonicznych jest stworzenie

rysunków inwentaryzacyjnych. Alternatywą dla tej metody mogą być trójwymiarowe wektorowe modele, które jednak muszą zawierać wszystkie informacje zawarte na rysunku dwuwymiarowym. Innym opracowaniem, które znajduje odniesienie w stosowanych dotychczas praktykach, jest zarejestrowana i zorientowana chmura punktów, są to tzw. „surowe dane”, odpowiadające zdjęciom pomiarowym w inwentaryzacji metodami fotogrametrycznymi. W inwentaryzacjach metodami fotogrametrycznymi stosowana jest także technika generowania ortofotomap, która znajduje wiele zastosowań, szczególnie w konserwacji zabytków, należy jednak pamiętać, że ortofotomapa nie jest produktem końcowym przy wykonywaniu inwentaryzacji architektonicznych.

Pojawienie się możliwości wykonywania inwentaryzacji w nowych formach wymaga zbadania, które z tych form gwarantują właściwą dokładność opracowania, pozwalają na jednoznaczną interpretację obiektu i są możliwe do zastosowania ze względów praktycznych (obciążenie komputera, koszty, itp)

2.5. Inwentaryzacja metodą skaningu laserowego w świetle Polski Norm

Ilość Polskich Norm (PN), w jakich znajdujemy odniesienia do tematyki związanej z inwentaryzacją architektoniczną, jest bardzo duża. Należy tutaj uwzględnić zarówno 13 norm z zakresu geodezji, jak i różnorodne normy odnoszące się do tolerancji wymiarowania, stosowanych technik i metod sporządzania rysunków technicznych w budownictwie. Szczegółowe opracowania dotyczące problematyki PN w geodezji i budownictwie można znaleźć w komentarzach na stronie internetowej stowarzyszenia GISPOL.

Wymienione powyżej normy dają podstawy dla zdefiniowania, szczegółowego określenia i opisanie standardowej postaci produktu, który jest wynikiem inwentaryzacji architektonicznej i budowlanej zarówno po stronie branży geodezyjnej jak i budowlanej, jednak ze względu na ilość oraz niejednorodność norm, które należy przy tym uwzględnić, wydaje się zasadne uporządkowanie i ujednolicenie ich pod kątem zdefiniowania jednorodnego standardu. Także na etapie tworzenia takiego standardu konieczne jest odniesienie się do techniki skaningu laserowego i produktów jakie ta technika może zaoferować. Dopiero takie podejście pozwoli określić, zdefiniować i opisać jednorodny standard w zakresie:

- definicji produktu, jakim jest efekt końcowy inwentaryzacji
- postaci i jego rodzaju
- dokładności
- jakości

Na marginesie trzeba jednak zaznaczyć, iż wiedza i analizy poszukiwawcze autorów dotyczące w/w zagadnień w dziedzinie szeroko rozumianej inwentaryzacji architektoniczno – budowlanej dla celów konserwatorskich nie posiadają swoich jednoznacznych, oficjalnych odpowiedników w postaci opisanych i zdefiniowanych instrukcji branżowych i wydaje się, że będą musiały być podporządkowane z konieczności proponowanym rozwiązaniom. W jaki sposób należałoby tego dokonać – o tym traktuje kolejna część referatu będąca propozycją lub wskazówką do rozwiązań.

3. PRÓBA OPRACOWANIA STANDARDÓW JAKOŚCIOWYCH DLA NAZIEMNEGO SKANINGU LASEROWEGO

Autorzy referatu podjęli próbę stworzenia rozwiązania, które pozwoliłoby na ujednolicenie wymagań odnośnie dokładności, szczegółowości opisu oraz form prezentacji inwentaryzacji architektonicznych. Przedstawione poniżej rozwiązanie ma charakter modelu, który wymaga odniesienia do istniejących norm oraz weryfikacji poprzez wykonanie próbnych opracowań i ich analizę.

Wymagania stawiane przez odbiorców wobec inwentaryzacji a w szczególności wobec inwentaryzacji zabytkowych budynków pozwalają na wyodrębnienie dwóch czynników, które wpływają na jakość produktu końcowego. Są to następujące czynniki:

- dokładność geometryczna opracowania. Dokładność geometryczna określa geometryczną ścisłość (identyczność) modelu wobec rzeczywistości.
- szczegółowość opisu przedstawianego obiektu. Szczegółowość określa głębię treści danego modelu, tzn. semantyczną (opisową) precyzję

Z punktu widzenia praktyki geodezyjnej ważniejsza wydaje się dbałość o dokładność geometryczną opracowania, należy jednak pamiętać, że w praktycznych zastosowaniach także ważna jest część opisowa inwentaryzacji mówiąca o zastosowanych materiałach, rodzaju konstrukcji, opisująca uszkodzenia, ubytki, itp. Szczególnie konserwatorzy zabytków zwracają uwagę na część opisową, w zakresie geometrii ograniczając się do przybliżonych szkiców z podstawowymi miarami, bądź w ogóle rezygnując z opisu geometrii obiektu. Z pojęciem szczegółowości wiąże się także sposób prezentacji graficznej danych wynikowych. Szczególnie należy tutaj zwrócić uwagę na fakt że technologia skaningu laserowego wraz ze współczesnymi technikami informatycznymi daje możliwość wykonania nie tylko dwuwymiarowych rysunków inwentaryzacyjnych, ale także pozwalają na opracowanie szeregu innych produktów, które w wielu przypadkach mogą w łatwiejszy do opracowania i odczytu a zarazem bardziej dokładny sposób pokazać inwentaryzowany obiekt.

Przy zastosowaniu technologii skaningu laserowego, w wyniku pomiaru uzyskujemy surowe dane w postaci chmury punktów o współrzędnych XYZ, zazwyczaj do każdego punktu przypisana jest także informacja albo o jego kolorze albo o tonie w skali szarości odpowiadającemu odbiciu danego obiektu dla długości fali lasera. Aby w oparciu o te dane stworzyć dokumentację inwentaryzacyjną obiektu należy te dane poddać obróbce polegającej na ekstrakcji istotnych informacji. Obróbka musi opierać się o właściwą wiedzę z zakresu architektury, konstrukcji budynków, konserwacji zabytków, dzięki której możliwa jest poprawna interpretacja zarejestrowanych obiektów. W przedstawionym wyżej ujęciu zagadnienia, proces opracowania inwentaryzacji obiektu można podzielić na następujące etapy:

- określenie charakteru i struktury obiektu oraz celu dla którego inwentaryzacja jest wykonywana – Na tym etapie musi być wykonana wstępna analiza struktury obiektu, obejmująca wydzielenie podstawowych fragmentów, grup funkcjonalnych, odrębnych elementów, itp. Konieczne jest też określenie celu dla którego inwentaryzacja będzie wykonywana i w oparciu o to zdefiniowanie podstawowych wymogów odnośnie produktu końcowego.
- pozyskanie „surowych” danych – pomiar, pozyskanie dodatkowych informacji poprzez pobranie próbek, odkrywkę, itp.

- modelowanie geometrii – odtworzenie geometrii poszczególnych elementów obiektu.
- uzupełnienie części geometrycznej o część opisową - dodanie informacji o użytych materiałach, opisanie istniejących elementów
- interpretacja uzyskanych wyników – stworzenie modelu opisowego (semantycznego)

Przedstawiony powyżej podział opracowania na etapy pokazuje, że ze względu na specyfikę pomiaru skanerem, dla każdego obiektu konieczne jest ponowne definiowanie warunków jakie musi spełniać inwentaryzacja. Autorzy referatu chcą zatem zaproponować usystematyzowanie tego zagadnienia poprzez wprowadzenie podziału na stopnie odpowiadające poszczególnym poziomom dokładności oraz następnie przypisanie najczęściej wykonywanych zadań do poszczególnych stopni. Jak już wyżej wskazano dokładność każdego opracowania można rozbić na dwie składowe: dokładność geometryczną i poziom szczegółowości opisu. Możliwe jest zatem wydzielanie poszczególnych grup dokładności oznaczonych: G1, G2, ... Gn odpowiadających poszczególnym poziomom dokładności zwymiarowania obiektu (np. G1 - dokładność opisana przez błąd średni wyznaczenia danej miary rzędu 1 dm, G2 – 1 cm, itd.) oraz poszczególnym poziomom szczegółowości opisu : S1, S2, ... Sn. Dokładność inwentaryzacji byłaby w takim wypadku opisywana dwoma parametrami: „geometria” Gn i „szczegółowość” Sn. Parametry te tworzą przestrzeń dwuwymiarowa w której możliwe jest umieszczenie każdego rodzaju inwentaryzacji. Przypisanie poszczególnych wartości do parametrów Gn i Sn jest możliwe tylko po szczegółowej analizie obowiązujących norm i innych opracowań wyznaczających standardy w zakresie inwentaryzacji architektonicznych. Wykonanie takiej pracy daje jednak możliwość szybkiego i łatwego definiowania wymogów odnośnie produktu końcowego. Wydaje się też zasadne aby po określeniu wartości Gn i Sn dla najbardziej typowych opracowań, stworzyć grupy jakości Qn, które będą odpowiadały tym typom opracowań.

Tabela 1. Dwuwymiarowa przestrzeń definiowania dokładności inwentaryzacji wraz z przykładowymi grupami jakości Q

	G1	G2	G3	...	Gn
S1		<i>Q1</i>			
S2		<i>Q2</i>			
S3			<i>Q3</i>		
...					
Sn					<i>Qn</i>

4. PODSUMOWANIE

Autorzy jeszcze raz pragną podkreślić, iż celem niniejszego referatu nie było wypracowanie gotowych rozwiązań problemu standaryzacji opracowań inwentaryzacyjnych wykonywanych metodą skaningu laserowego, lecz raczej rozpoczęcie dyskusji o konieczności wprowadzenia nowych standardów, bądź reinterpretacji istniejących. Zaprezentowany materiał obrazuje bogactwo istniejących opracowań normalizacyjnych z zakresu inwentaryzacji architektonicznych, jednocześnie wykazuje, iż bezpośrednie zastosowanie tych standardów do technologii inwentaryzacji

metodą skaningu laserowego wymaga uporządkowania wymagań zapisanych w Polskich Normach, przeprowadzenia badań odnośnie dokładności pomiaru geometrii z wykorzystaniem skanera laserowego oraz zdefiniowania dopuszczalnych form prezentacji wyników opracowania.

5. LITERATURA

Boehler W., Bordas Vicent M., Marbs A., 2003. Investigating Laser Scanner Accuracy *Materiały z XIX Sympozjum CIPA w Antalyi, Turcja, 30 września – 4 października 2003*

Eckstein G., 1999. *Empfehlungen Für Baudokumentationen*. Theiss, Niemcy 1999

Kurzątkowski M., 1989. *Mały Słownik Ochrony Zabytków*, MKiS Ośrodek Dokumentacji Zabytków, Warszawa 1989

Mechelke K., Kersten T., Lindstaedt M., 2007. *Comparative Investigations Into The Accuracy Behaviour Of The New Generation Of Terrestrial Laser Scanning Systems*, Materiały z Optical 3-D Measurement Techniques VIII, Gruen/Kahmen, Zurich, 9-12 lipiec 2007

Miśniakiewicz E., Skowroński W., 2008. *Rysunek Techniczny Budowlany* ARKADY, Warszawa 2008

Strona internetowa Stowarzyszenia GISPOL Komentarz GISPOL 18 (62/07) z 23 kwietnia 2007 r. oraz Komentarz GISPOL 13 (57/07) z 19 marca 2007 r. <http://www.gispol.org.pl/>

THE PROBLEM OF STANDARDIZATION OF TERRESTRIAL LASER SCANNING TECHNIQUES FOR ARCHITECTURE INVENTORY PURPOSES

KEY WORDS: architectural inventory, building construction inventory, standardization, terrestrial lasers scanning, Polish Standards (PN)

Summary

The wide application of laser scanning for inventory purposes (housing, architecture) has convinced all the interested parties that the existing regulations, as specified in obligatory technical instructions, should be verified. This is particularly relevant to issues related to standardization of the final product, i.e., the inventory documentation of a site, combined with modified technical standards, based on the implemented ISO series, obligatory in the European Union.

The paper discusses all those aspects in the context of the proposed methodology developed to solve the existing problems.

mgr inż. Jacek Uchański
e-mail: j.uchanski@wpg.com.pl
tel. +4822 621 44 61
fax: 022 625 78 87

mgr inż. Piotr Falkowski
e-mail: p.falkowski@wpg.com.pl
tel. +4822 629 43 15
fax: 022 625 78 87

dipl ing. Lars Sörensen
e-mail: soerensen@scan-3d.com
tel. +4930 46007915
fax: +4930 46007998

TEKSTUROWANIE DANYCH Z NAZIEMNEGO SKANINGU LASEROWEGO OBRAZAMI TERMALNYMI

TEXTURE MAPPING OF TERRESTRIAL LASER SCANNING DATA USING THERMAL IMAGES

Piotr Walczykowski, Wiesław Dębski, Michał Kędzierski

Zakład Teledetekcji i Fotogrametrii
Wojskowa Akademia Techniczna w Warszawie

SŁOWA KLUCZOWE: skanowanie laserowe, obrazy termalne, teksturowanie, 3D, model termalny.

STRESZCZENIE: Przedmiotem artykułu jest połączenie danych ze skaningu laserowego ze zobrazeniami termalnymi. Obiektem badań wykorzystanym w eksperymencie był monitor komputerowy LG Flatron F900P. Do pozyskania danych przestrzennych wykorzystano skaner laserowy Leica ScanStation 2, a obrazów termalnych kamerą termalną ThermoCam PM575. W wyniku przetworzenia pozyskanych danych uzyskano chmurę punktów powierzchni monitora. Każdy z punktów oprócz współrzędnych X, Y, Z posiadał również informację o temperaturze oraz intensywności odbicia w zakresie długości fali skanera laserowego. Możliwa była więc budowa modelu przestrzennego wzbogaconego o informacje o intensywności odbicia w zakresie widzialnym jak również termalnym. Wykorzystana w eksperymencie metoda łączenia danych ze skaningu laserowego z danymi obrazowymi pozyskanymi w termalnym zakresie widma elektromagnetycznego znacznie rozszerza zakres zastosowań skanerów laserowych i kamer termalnych. Daje możliwość dokładnego pomiaru i analizy obiektów niedostępnych dla człowieka lub takich, gdzie przebywanie człowieka wiąże się z dużym zagrożeniem dla niego.

1. WSTĘP

Naziemny skanowanie laserowe znajduje coraz szersze zastosowania w dziedzinach, gdzie konieczne są szybkie i dokładne pomiary kształtu skomplikowanych obiektów.

Istotą działania skanera laserowego jest pomiar dużej ilości punktów położonych blisko siebie. Pomiar odbywa się dzięki wykorzystaniu lasera o określonej długości fali i obrotowego lustra, dzięki któremu promieniowanie lasera może być kierowane w dowolnym kierunku wokół urządzenia. Automatyczny pomiar kątów i odległości pozwala na wyznaczenie współrzędnych przestrzennych mierzonych punktów obiektu. W wyniku pomiarów skanerem uzyskuje się tzw. „chmurę punktów” złożoną często z milionów punktów. Każdy z tych punktów posiada określone współrzędne przestrzenne XYZ.

Oprócz współrzędnych przestrzennych każdy pomierzony punkt posiada także informację o intensywności odbicia. Informacja ta może znajdować szerokie zastosowanie, ale należy pamiętać, że dotyczy ona tylko wąskiego zakresu promieniowania o długości fali lasera, np. dla Leica ScanStation 2 laser ma kolor

zielony. Dodatkowe bardzo użyteczne informacje mogą nieść ze sobą zobrażenia cyfrowe, pozyskane wbudowanymi aparatami cyfrowymi.

W niniejszym artykule autorzy przedstawiają możliwość wykorzystania zobrażeń pozyskanych kamerą termalną, które przedstawiają rozkład temperatur badanego obiektu. Odpowiednio pozyskane i przetworzone do jednolitej skali temperaturowej zobrażenia termalne po nałożeniu na trójwymiarowy model obiektu pozwalają na stworzenie termalnego modelu 3D.

2. SKANER LASEROWY LEICA SCANSTATION 2

Obiektem wybranym do badań jest monitor komputerowy LG Flatron F900P. Model przestrzenny tego monitora wykonano na podstawie pomiarów skanerem laserowym Leica ScanStation 2.

Leica ScanStation 2 jest skanerem należącym do rodziny skanerów Leica Geosystems HDS. Jest to uniwersalny skaner impulsowy o zasięgu kilkuset metrów pozwalający na wykonywanie pomiarów 3D z milimetrową dokładnością. Wysoka jakość pomiarów ScanStation 2 jest zapewniona poprzez wysoką dokładność wyznaczenia pozycji (6 mm), pomiaru odległości (4 mm), a przede wszystkim niespotykaną dotąd zdolność zagęszczenia ścieżki skanowania poniżej 1 mm. Takie rozwiązanie jest szczególnie przydatne przy precyzyjnych pomiarach niewielkich elementów architektonicznych czy przemysłowych. Przewagą systemu jest również możliwość wizualnego umiejscowienia pojedynczego, specyficznego punktu czy wybranego elementu obiektu na badanej powierzchni i wykonanie bardzo dokładnego pomiaru tego elementu.

Optyka skanera składa się z pojedynczego zwierciadła, nadającego wiązkę światła kierunek podczas wychodzenia jak i powracania sygnału. Wielkość plamki lasera padającego na obiekt waha się w granicach od 4 do 6 mm na odległości od przeszkody nie przekraczającej 50 m. System ma zdolność rejestracji nawet do 50 000 punktów na sekundę, gdy badany przedmiot znajduje się w dużej odległości. Zasięg pracy, gwarantowany przez producenta to 300 m przy albedo na poziomie 90 % i około 130 m dla obiektów słabo odbijających wiązkę światła (18% albedo). Urządzenie charakteryzuje się również poszerzonym polem widzenia ($360^{\circ} \times 270^{\circ}$), a przy dużych zasięgach skanowania pozwala to na skanowanie trudnodostępnych miejsc takich jak: stropy, tunele, mosty, wysokie budowle, kolumny, wieże, czy monitorowanie obszarowo rozległych prac w terenie.

Zasada działania skanera sprowadza się do obliczenia drogi przebycia sygnału lasera w określonej jednostce czasu, zapisaniu wszystkich powracających sygnałów i nadaniu im współrzędnych w jednym układzie.

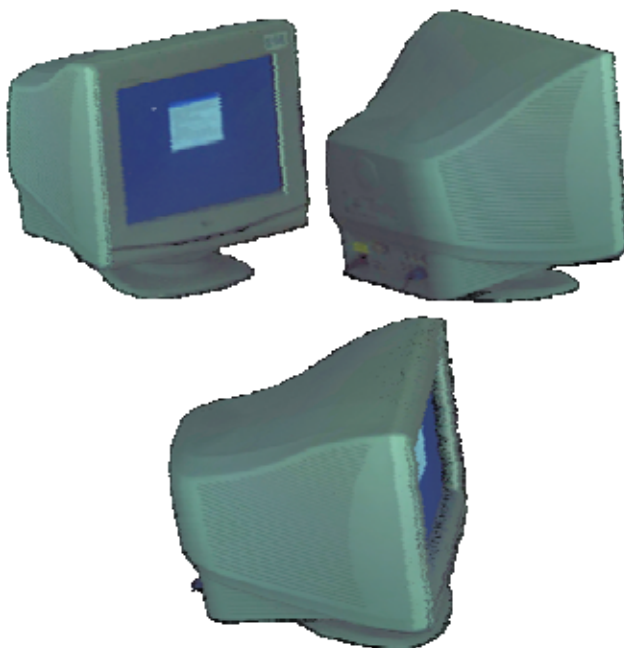
Sterowanie skanerem odbywa się zawsze za pośrednictwem komputera z wykorzystaniem oprogramowania Leica Cyclone, zapewniającego obsługę całego procesu skanowania i przetwarzania pomiarów. W programie można zdefiniować gęstość ścieżki, obszar, a także sekwencje skanowania kolejnych obiektów.

Skaner Leica ScanStation 2 wyposażony jest w wewnętrzny aparat cyfrowy wykonujący zobrażenia barwne w zakresie widzialnym widma elektromagnetycznego. Dane z tych zobrażeń mogą być połączone z modelem 3D

w postaci chmury punktów. Każdemu punktowi można nadać barwę na podstawie obrazu z kamery. W ten sposób można utworzyć model 3D z realistyczną teksturą.

3. MODEL 3D OBIEKTU TESTOWEGO

Obiektem wybranym do badań jest monitor komputerowy LG Flatron F900P. Model przestrzenny tego monitora wykonano na podstawie pomiarów skanerem laserowym Leica ScanStation 2. Pomiary wykonano z trzech stanowisk tak, aby wszystkie elementy obiektu były pokryte punktami. Rozdzielczość skanowania ustalono na 1 mm. Pozyskano w ten sposób 3 niezależne skany, na podstawie których uzyskano model przestrzenny obiektu, składający się z chmury ok. 700 000 punktów.



Rys. 1. Model 3D obiektu w postaci chmury punktów z rozdzielczością 1 mm z teksturą z wbudowanego w skaner aparatu cyfrowego

4. TERMALNE ZOBRAZOWANIA OBIEKTU

Jednym z urządzeń najczęściej wykorzystywanych do pozyskiwania zobrazowań w zakresie termalnym są kamery. Kamery termalne rejestrują obraz za pomocą detektorów FPA (ang. *Focal Plane Array*). Zasada działania detektorów FPA jest taka sama jak zasada działania detektorów CCD. Główna różnica polega na zakresie spektralnym, który jest przez sensor rejestrowany. Sensory CCD i CMOS są czułe tylko na zakres widzialny i bliskiej podczerwieni. Detektory FPA zbudowane są ze związków czułych na podczerwień termalną, do których zalicza się tellurek rtęciowo-kadmowy

(HgCdTe lub MCT), antymonek indu (InSb), arsenek indowo-galowy (InGaAs) oraz tlenek wanadu (VOx).

Kamera termalna dokonuje pomiaru i rejestruje na obrazie promieniowanie podczerwone emitowane od obiektu. Ponieważ promieniowanie jest funkcją temperatury powierzchniowej obiektu, kamera ma możliwość obliczenia i wyświetlenia tej temperatury.

Ilość promieniowania pomierzona przez kamerę nie jest funkcją jedynie temperatury kinetycznej obiektu, ale również jego emisyjności. Dodatkowo, promieniowanie emitowane przez obiekt, jak i promieniowanie z otoczenia przez niego odbite zostanie częściowo zaabsorbowane przez warstwę atmosfery. W celu precyzyjnego pomiaru temperatury, niezbędne jest uwzględnienie wpływu kilku różnych parametrów:

- współczynnik emisyjności, czyli miara stopnia w jakim emitowane jest promieniowanie z obiektu w stosunku do emitowania ciała doskonale czarnego o tej samej temperaturze.
- odległość pomiędzy obiektywem a obiektem, parametr ten pozwala uwzględnić fakt, że część promieniowania termalnego zostaje zaabsorbowana przez otoczenie na tej odległości.
- temperatura otoczenia pozwala wyeliminować promieniowanie odbite przez obiekt i wyemitowane przez atmosferę pomiędzy kamerą a obiektem.
- wilgotność względna

4.1. Kamera termalna ThermaCam PM575

Do pozyskania zobrażeń termalnych wykorzystano kamerę ThermaCam PM575 (FLIR).



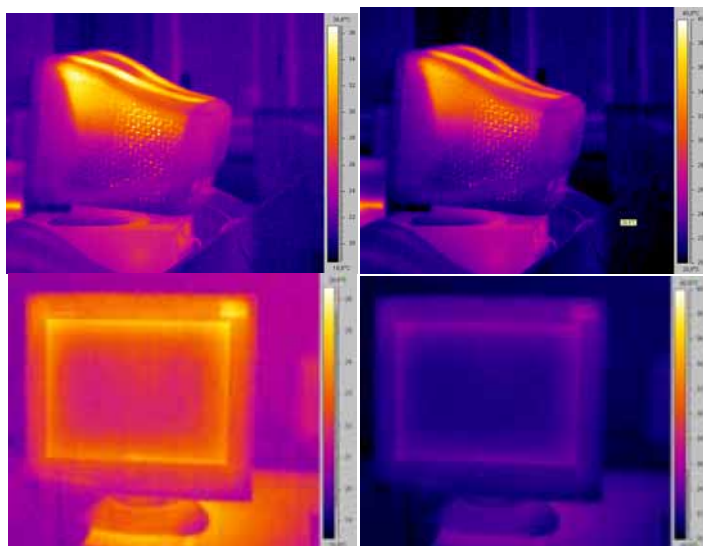
Rys. 2. Kamera termalna ThermaCam PM575

Kamera ThermaCam PM575 jest przystosowana do detekcji promieniowania o długości fali od 7.5 μm do 13 μm . Dokonuje pomiarów temperatury w zakresie od -20° do $+350^{\circ}$ (przy wykorzystaniu dodatkowego filtra z możliwością rejestracji

temperatur aż do 1000°C). Posiada matrycę cyfrową o wielkości 320x240 pikseli a dane zapisywane są z głębią 14 bitów

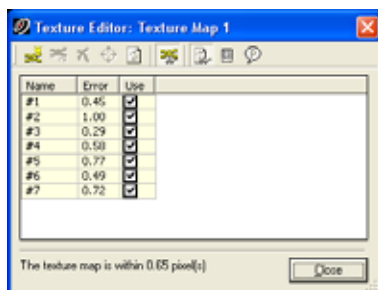
5. ZOBRAZOWANIE I MODEL TERMALNY 3D

Po pozyskaniu zobrażeń termalnych obiektu dokonano przetworzenia termogramów do jednolitej skali temperaturowej.

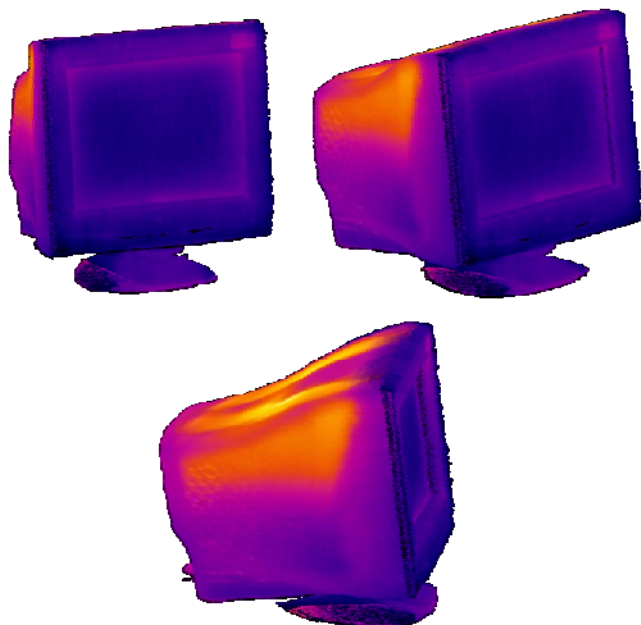


Rys. 3. Zobrazowania termalne pozyskane kamerą ThermoCam PM575. Po lewej skala temperaturowa dopasowana do obiektu – po prawej ujednolicona skala temperaturowa

W celu budowy termalnego modelu 3D model pozyskany skanerem laserowym poddano teksturowaniu czterema zobrazeniami pozyskanymi kamerą termalną. Ponieważ model obiektu składa się z bardzo dużej ilości punktów i większość popularnego oprogramowania CAD ma problem z obróbką tak dużej ilości danych – do przetworzeń wykorzystano program Cyclone w wersji 5.8. Oprogramowanie to pozwala na nakładanie dowolnych zobrażeń na model w postaci chmury punktów w oparciu o 7 punktów homologicznych obrazu i modelu. Dokładność procesu określona jest średnim błędem wpasowania, który w analizowanym przypadku wyniósł 0.65 piksela.



Rys. 4. Dokładność wpasowania tekstury



Rys. 5. Termalny model przestrzenny obiektu

Utworzony model jest chmurą punktów, gdzie dla każdego z punktów została przypisana wartość DN (*Digital Number*) obrazu termalnego. Aby model był szczegółowy musi składać się z dużej ilości punktów. W związku z tym założono dużą gęstość skanowania o wartości 1 mm. Duża gęstość punktów modelu pomaga także przy transformacji zobrazowań termalnych, które ze względu na niewielkie rozmiary matryc detektorów charakteryzują się względnie niedużą liczbą pikseli.

Termalny model 3D obiektu posiada wiele zalet w porównaniu z klasycznym termogramem uzyskanym bezpośrednio z kamery termalnej. Jedną z nich jest możliwość pomiarów odległości i powierzchni a także wykonywania przekrojów wzdłuż dowolnie zdefiniowanej płaszczyzny.



Rys. 6. Przykładowy przekrój modelu

6. PODSUMOWANIE

W wyniku przeprowadzonego eksperymentu uzyskano model 3D monitora składający się z chmury ok. 700 000 punktów. Każdy z tych punktów posiada informację o intensywności odbicia w widzialnym i termalnym zakresie widma elektromagnetycznego. Obrazy z aparatu cyfrowego, wbudowanego w skaner laserowy Leica ScanStation 2, można wykorzystać nie tylko do określania zasięgu skanowania ale również do uzyskania tekstury. Na ich podstawie powstała tekstura w zakresie widzialnym. Do wykonania tekstury w zakresie termalnym wykorzystano obrazy z kamery termalnej. Wysoką dokładność naniesienia tekstury termalnej na model przestrzenny uzyskano dzięki dużej gęstości punktów modelu powierzchni obiektu testowego.

Niewątpliwe zalety skaningu laserowego, takie jak np. możliwość pomiaru obiektów niedostępnych dla człowieka lub takich, gdzie przebywanie człowieka wiąże się z dużym zagrożeniem dla niego, w połączeniu z możliwością przestrzennego obrazowania rozkładu temperatur badanego obiektu znacznie rozszerza zakres dotychczasowych zastosowań. Jednym z nich może być np. projektowanie nowych instalacji, wrażliwych na zewnętrzne warunki temperaturowe.

Wydaje się również, że badanie stanu technicznego i stopnia zużycia instalacji i różnego rodzaju obiektów przemysłowych będzie można wykonywać w oparciu o modele termalne o wiele szybciej i dokładniej niż przy wykorzystaniu pojedynczych termogramów. Połączenie obrazów termalnych z danymi ze skaningu laserowego pozwala nie tylko na odczyt temperatury w dowolnym miejscu obrazu ale również na pomiary odległości i powierzchni.

Uzyskany model termalny obiektu testowego stanowi jedynie przykład. Do teksturowania modeli utworzonych przy pomocy naziemnego skaningu laserowego można wykorzystać również zobrażenia pozyskane w innych zakresach widma elektromagnetycznego.

7. LITERATURA

Bielecki Z., Rogalski A., 2001. *Detekcja sygnałów optycznych*, WNT.

Fryśkowska A., Kędzierski M., Sanecki J., Walczykowski P., 2008. *Laser scanning of cultural heritage objects*. Polish Journal of Environmental Studies. Vol. 17 No. 1C. s. 27-30.

Aguilera D., Gonzalez P., Lahoz J., 2007. Paper on the ISPRS Workshop on Laser Scanning „Automatic co-registration of terrestrial laser scanner and digital camera for the generation of hybrids models”, Espoo, Finland.

http://www.commission3.isprs.org/laser07/final_papers/Gonzalez_Aguilera_2007.pdf

TEXTURE MAPPING OF TERRESTRIAL LASER SCANNING DATA USING THERMAL IMAGES

KEYWORDS: laser scanning, thermal images, texture mapping, 3D, thermal model

Summary

Terrestrial laser scanning is becoming increasingly widely used in those fields in which it is necessary to obtain fast and precise measurements of complex objects.

The essence of the laser scanner function is the measurement of a large quantity of points located in close proximity of each other. The measurement takes place owing to the use of a laser with a defined wavelength and a rotating mirror, by means of which the laser radiation can be pointed in any direction around the instrument. The automated measurement of angles and distances allows determination of spatial coordinates of the measured points of the object. Scanner measurements result in the so-called "point cloud" which usually consists of a few million points. Each of these points possesses very precisely determined spatial coordinates X, Y, Z.

Apart from the spatial coordinates, each point contains information about its reflection intensity. This information has many applications, but it has to be borne in mind that it refers only to a very narrow radiation band, equal to the laser wavelength, e.g., for the Leica ScanStation2 the laser is green. Additional, very useful information can be found on digital images, acquired by inbuilt digital cameras. However, the electromagnetic spectrum considered is still in the visible range.

The paper presents a possibility of using imagery acquired by means of external sensors (not integrated with the scanner). Imagery acquired with a thermal camera, which represents the temperature distribution of the given object, has been deemed most useful. Thermal images, properly acquired and processed to a unified temperature scale, are placed onto a three dimensional model of the object to create a 3D thermal model.

The objective of the paper was to present a connection between laser scanning data and thermal imagery. As a result, a point cloud of the objects surface is obtained. Each point, apart from its X, Y, Z coordinates, includes information about its temperature. This greatly broadens the existing range of applications of laser scanning, as measurements and analyses of inaccessible objects or those posing hazard to humans can be carried out,

Doubtless, the advantages of laser scanning combined with the possibility of acquiring images representing spatial distribution of the temperature of the object, greatly broaden the existing range of applications. Novel application include, i.a., aiding the design of new installations, e.g., those sensitive to external thermal conditions. It seems that surveys of technical conditions and wearing rate of installations and other types of industrial objects could be completed with the thermal model much faster and more accurately than by using separate thermograms. By combining thermal images with laser scanning data it is possible to not only read the temperature at any given point of the image, but also to take measurements of length and area.

dr inż. Piotr Walczykowski
e-mail: pwalczykowski@wat.edu.pl
tel. +4822 6839021

dr hab. inż. Wiesław Dębski
e-mail: wdebski@wat.edu.pl
tel. +4822 6839296

dr inż. Michał Kędzierski
e-mail: mkedzierski@wat.edu.pl
tel: +4822 6837718

**GENEROWANIE NUMERYCZNYCH MODELI POWIERZCHNI
ORAZ TERENU W TATRACH NA PODSTAWIE CHMURY PUNKTÓW
Z LOTNICZEGO SKANINGU LASEROWEGO (ALS)**

**GENERATION OF DIGITAL SURFACE AND TERRAIN MODELS OF THE
TATRAS MOUNTAINS BASED ON AIRBONE LASER SCANNING (ALS)
POINT CLOUD**

Piotr Wężyk¹, Natalia Borowiec², Stanisław Szombara³, Robert Wańczyk³

¹ Laboratorium GIS i Teledetekcji, Wydział Leśny Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

² KGFiTŚ, Wydział Geodezji Górniczej Inżynierii Środowiska, AGH, Kraków

³ ProGea Consulting, Kraków

SŁOWA KLUCZOWE: ALS, NMPT, NMT, znormalizowany NMPT, Tatry

STRESZCZENIE: Celem pracy było zaprezentowanie metod zastosowanych w pół-automatycznym procesie generowania numerycznych modeli bazujących na chmurze punktów zarejestrowanych technologią lotniczego skaningu laserowego (ang. *Airborne Laser Scanning; ALS*) w trudnych obszarach wysokogórskich Tatr. Teren badań o powierzchni około 60 km², obejmował masyw Kasprowego Wierchu, Kuźnice oraz fragment miasta Zakopane ze stokami Gubałówki. Dane ALS pozyskano w 2007 roku w 33 pasach (RIEGL LMS-Q560), w zagęszczeniu, co najmniej 20 pkt/m². Wpasowania połączonych skanów dokonano w oparciu o pomiary tachimetryczne powierzchni planarnych (dachy budynków) i dowiązanie przez dGPS. Błędy położenia punktów w płaszczyźnie poziomej wahały się w przedziale -0.09÷+0.28 m, a błędy wysokościowe w przedziale od -0.12÷0.14 m (HAE). Wykonawca dostarczył dane osobno z 2 skanerów, dla każdego: pierwsze i ostatnie odbicie impulsu. Ze względu na duży rozmiar plików podzielono ją na mniejsze generując 353 obszary robocze o rozmiarze 500·500 m dla każdego skanera i numeru odbicia. Przeprowadzono filtrację chmury punktów oraz ich klasyfikację do zestawów danych: „*low points*”, „*ground*”, „*low vegetation*”, „*medium vegetation*”, „*high vegetation*” oraz „*air points*”. W celu wygenerowania NMPT stworzono klasę „*ground_inverse*” wymagającą kontroli operatora wspomagającego się ortofotomozaiką cyfrową (RGB/CIR; kamera Vexcel). Dla każdego przetwarzanego obszaru roboczego wygenerowano NMT oraz NMPT. Na podstawie zweryfikowanych modeli wygenerowano znormalizowany numeryczny model powierzchni terenu obrazujący wysokości względne obiektów występujących w obszarze opracowania (drzewa, piętro kosodrzewiny, budynki, linie energetyczne, liny wyciągów, etc). Analizy przestrzenne bazujące na wygenerowanych modelach otwierają zupełnie nowe możliwości licznym badaniom naukowym.

1. WSTĘP

Postępujący rozwój technologii geoinformatycznych jak również świadomości ekologicznej szerokich grup społecznych w Polsce przynoszą ze sobą wzrost zapotrzebowania na aktualne i precyzyjne dane opisujące m.in. ukształtowanie terenu (NMT) oraz na informację o obiektach typu 3D tworzących elementy krajobrazu (np. las

czy infrastruktura techniczna). W związku z powyższym niezbędna staje się sprawna weryfikacja i aktualizacja geodanych dotyczących opracowań rzeźby terenu. Coraz częściej gwałtownie postępujący rozwój infrastruktury drogowej czy technicznej zaczyna kolidować z obszarami prawnie chronionymi (np. ESE Natura 2000). W sytuacjach konfliktowych dotyczących interesów poszczególnych grup społecznych najlepiej szukać rozwiązań poprzez debatę publiczną i rozważanie scenariuszy wyboru najbardziej odpowiednich wariantów inwestycji. Wykorzystanie w takich sytuacjach systemów wspomagania decyzji (ang. *Decision Support Systems; DSS*) wywodzących się z Systemów Informacji Geograficznej (GIS), wymusza odpowiednią jakość stosowanych danych, w tym informacji o rzeźbie terenu i klasach jego pokrycia. Tego typu dane gromadzone są w PZGiK od bardzo wielu lat i pochodzą głównie z opracowań fotogrametrycznych (np. Phare 2001), pomiarów bezpośrednich (geodezyjnych) czy też z wektoryzacji map warstwicowych (topograficznych; DTED-2). Problem dla fotogrametrycznych opracowań rzeźby terenu stanowią obszary leśne (ok. 28% powierzchni kraju), które ze względu na zwarcie koron drzew uniemożliwiają poprawne posadowienie znaczka pomiarowego. Numeryczny Model Powierzchni Terenu, może być obecnie tworzony na drodze manualnych lub automatycznych obserwacji znanych jako *stereomatching*. Nowe kamery cyfrowe, szybkie stacje fotogrametryczne i zaawansowane algorytmy bazujące na autokorelacji obrazu rastrowego dają duże możliwości w tworzeniu NMPT dla obszarów leśnych tą technologią (Baltsavias 1999a, Baltsavias 1999b, St-Onge et al. 2006). Wykorzystanie danych pochodzących z lotniczego skaningu laserowego (ALS) do generowania modeli NMT i NMPT i tworzenia produktów pochodnych (znormalizowanych NMPT) jest znane blisko już od 10 lat (Wehr i Lohr 1999, Wężyk et al. 2006). Niezmierna precyzja pomiaru ALS sięgająca 10÷15 cm (współrzędna Z) i 30÷50 cm (współrzędne XY) wraz z pojawieniem się skanerów nowych generacji (większa częstotliwość wysyłania impulsu do 200 kHz i możliwość rejestracji więcej niż pierwszego i ostatniego odbicia – szczególnie urządzenia typu full waveform) otwiera nowe możliwości generowania poprawnych modeli terenu w obszarach leśnych w tym szczególnie w górach (Næsset 1997, Hyypä et al. 2000; Ducic 2006, Wężyk et al. 2008). Komercyjne oprogramowania (np. Terrasolid) umożliwiają przetwarzanie danych ALS, które polega na eliminacji (filtracji) punktów, odbitych od obiektów tworzących pokrycie terenu (np. od koron drzew czy linii energetycznych), w celu generowania NMT (Lee et al. 2002, Marmol 2003). Służy to aproksymacji przebiegu gruntu przy wykorzystaniu różnego rodzaju algorytmów, tj.: gradientowych (Hyypä et al. 2000), morfologicznych (Wack i Wimmer 2002, Zhang et al. 2002), aktywnej powierzchni (Elmqvist et al. 2002), predykcji liniowej (Pfeifer et al. 2001), czy aktywnego modelu TIN zaimplementowanego w oprogramowaniu Terrsolid (Axelsson 2000). Pokrycie terenu (drzewostan, infrastruktura) ma oczywiście wpływ na jakość tworzonych modeli, ale jest ona głównie uzależniona od zagęszczenia punktów pomiarowych oraz kąta padającego promieniowania i wielkości plamki. Badania dowodzą, iż nawet w pełni zwartych drzewostanach liściastych do gruntu dociera od kilkunastu do kilkudziesięciu procent wszystkich impulsów co jest wielkością w pełni wystarczająca do modelowania powierzchni terenu na dużych obszarach.

Celem pracy było zaprezentowanie możliwości automatyzacji procesów generowania różnych typów modeli terenu oraz pokrycia terenu w trudnych warunkach wysokogórskich na podstawie chmury punktów ALS.

2. TEREN BADAŃ

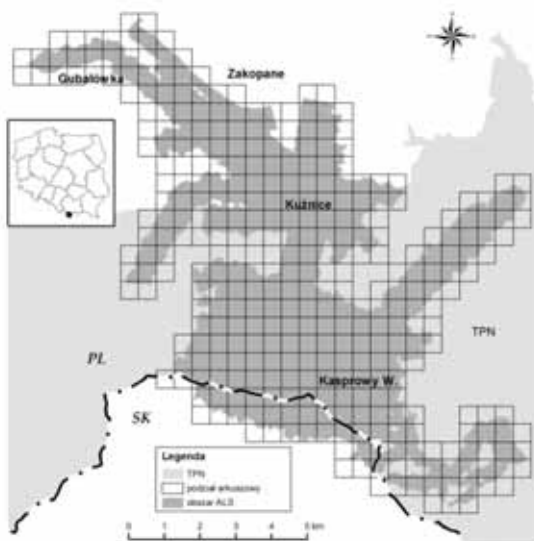
Teren badań o powierzchni 59,5 km² zlokalizowany był w Tatrach obejmując swym zasięgiem masyw: Kasprowego Wierchu, Kotły Goryczkowy i Gąsienicowy, Kuźnice, fragment centrum Zakopanego oraz stoki Gubałówki (Rys.1). Dane dla analizowanego obszaru Tatr (tereny użytkowane narciarsko) zostały pozyskane w celu monitorowania ewentualnego wpływu na środowisko, inwestycji jaką była modernizacja kolei linowej na szczyt Kasprowego Wierchu.

3. METODYKA

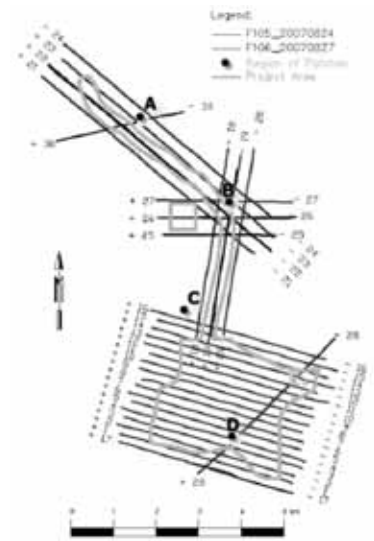
Dane ALS pozyskano w dniach 24 i 27.08.2007 roku, w 33 pasach nalotu przy zastosowaniu dwóch jednocześnie pracujących skanerów RIEGL LMS-Q560 podwieszonych w specjalnej platformie pod pokładem samolotu DA42 MPP. Skaner ten umożliwia zapisanie informacji o całej fali powrotnej sygnału (ang. *full waveform*), na podstawie której wykonawca pozyskał pierwsze (ang. *first echo*; *FE*) i ostatnie odbicie (ang. *last echo*; *LE*).

Łączenia skanów oraz wpasowania w układ odniesienia dokonano w oparciu o pomiary powierzchni planarnych (dachy budynków; Rys. 2). W tym celu użyto odbiornika dGPS (Leica 1230) oraz tachimetru bezlustrowego (Leica 407power). W celu zminimalizowania błędów pomiarowych, na terenie Dyrekcji TPN w Zakopanem, ulokowano lokalną stację bazową GPS, nawiązując ją do najbliższego punktu państwowej osnowy POLREF 0502. Do kontroli w procesie obliczeniowym wykorzystano także dane z sieci EUPOS-ASG („NTWG”). Dla każdego miejsca pomiaru (Rys. 2; oznaczenia literowe) określono położenie połaci dachów (min. 3) ustawionych w różnych płaszczyznach. Każda powierzchnia dachu wyznaczana była przez 6 do 10 punktów rozmieszczonych równomiernie, pomierzonych tachimetrem. Jednocześnie dokonano pomiarów punktów dostosowania (*GCP*) dla potrzeb przeprowadzenia orientacji zdjęć wykonywanych kamerą cyfrową Vexcel.

W procesie półautomatycznego generowania modeli: terenu (NMT) wykorzystano programy: pakiet oprogramowania Terrasolid (Terrasolid Ltd.), ER Mapper Professional 7.1 (ERDAS), Fusion (Pacific Northwest Research Station, USDA), LAStools (M. Isenburg, J. Shewchuk) oraz ArcGIS 9.2 (ESRI). W celu zautomatyzowania działań, część procesów przetwarzania realizowano w procesorze poleceń systemu operacyjnego Windows (Microsoft) w trybie wsadowym oraz korzystano z makropoleceń w Terrasolid.



Rys. 7. Obszar nalogu w Tatrach (TPN) i Zakopanem



Rys. 2. Lokalizacja powierzchni planarnych (dachy budynków, oznaczenia literowe) oraz szeregi nalogu obszaru badań

3.1. Przygotowanie danych do przetworzeń

Proces produkcyjny poprzedzono przygotowaniem odpowiedniej struktury danych jak samych katalogów dla wszystkich kombinacji: skanu (szeregu), źródła danych (numer skanera (*FW* - patrzący lekko w przód i *BW* – w tył) oraz numeru odbicia (*FE* lub *LE*). Dane przekonwertowano w trybie wsadowym z formatu ASCII do LDA. Format LDA jest stosowany przez program FUSION Pacific Northwest Research Station, USDA), które nie oferuje jednak możliwości zapisu identyfikatora kolejnego pasa nalogu (skanu), stąd dane musiały być przekonwertowane do formatu LAS (format binarny ASPRS). Ze względu na duży rozmiar plików ograniczono je do zasięgu terenowego 500·500 m tworząc tym samym 353 obszary robocze. W obrębie pojedynczego obszaru, dane połączono w jeden plik LAS w sekwencji: współrzędna X, Y oraz Z odbicia, numer odbicia (pierwsze = 1; ostatnie = 2), liczba odbić (2), numer pasa nalogu oraz identyfikator skanera. W procesie kontroli jakości modeli, informacje te pozwoliły autorom na identyfikację obszarów z błędnymi pomiarami.

3.2. Filtracja danych oraz generowanie DTM i DSM

Procesu filtracji plików LAS dokonywano pod nadzorem operatora, a dalsze kroki ich klasyfikacji oparto na półautomatycznym przetwarzaniu uruchamianych makropoleceniami (Terrasolid 2001). Pozwoliły one znacznie zaoszczędzić czas pracy operatora wykonując zadania w trybie wsadowym. Wynikowo punkty zostały pogrupowane w następujących klasach: „low points”, „ground”, „low vegetation”, „medium vegetation”, „high vegetation” oraz „air points” (błędne odbicia, elementy

infrastruktury kolei linowej, ptaki). Klasa „ground” pozbawiona tzw. *low points* (poniżej gruntu) zawierała punkty reprezentujące teren, na których oparto generowanie wynikowego NMT o oczku 1·1m (ASCII GRID). Sam proces czyszczenia oraz interpolacji punktów do regularnej siatki nie jest skomplikowany, jednak w przypadku stromych zboczy i skał oraz zwartego drzewostanu występowały problemy z efektywnym i automatycznym przeprowadzeniem procesów. Często dokonywano ponownej edycji punktów ALS (zmiana klas) doskonaląc generowane modele poprzez odpowiedni dobór prawidłowych parametrów interpolacyjnych (metoda TIN). W celu weryfikacji modeli często operator wspomagał się ortomozaiką CIR lub RGB (uzyskaną z przetworzenia zdjęć wykonanych kamerą Vexcel). W celu wygenerowania poprawnego NMPT reprezentującego powierzchnie aproksymującą wierzchnie warstwy koron drzew, kosodrzewiny czy roślinności alpejskiej (hale), chmurę punktów ALS poddano inwersji (mnożnik dla współrzędnej wysokościowej = -1), tak aby można było zastosować schemat przetwarzania analogiczny jak w przypadku NMT. W ten sposób tworzona była tymczasowa klasa „ground_inverse” zawierająca najwyżej położone w koronach punkty pomiarowe (po ponownym odwróceniu). Klasa ta podobnie jak „ground” wymagała kontroli operatora wspomagającego się w trudnych obszarach ortofotomozaiką cyfrową (RGB/CIR). Ważnym krokiem okazała się wcześniej przeprowadzona filtracja w kierunku poszukiwania *air points* i ich wyeliminowania w procesie tworzenia „ground_inverse”, a w efekcie NMPT. Kolejny krok kontroli przeprowadzonych filtracji i wygenerowanych modeli prowadzono na obrazie cieniowanego reliefu (ang. *hillshade*), co pozwoliło operatorowi oprogramowania Terrasolid, na kontrolę poprawności modeli oraz ewentualną kolejną edycję klas „ground” oraz „ground_inverse”. Obraz hillshade generowano w oprogramowaniu ER Mapper Professional 7.1.

3.3. Generowanie modelu znormalizowanego

Oprogramowanie ER Mapper posłużyło także w procesie generowania produktu pochodnego, ale niezwykle ważnego w analizie klas pokrycia terenu czy określaniu jakości filtracji i klasyfikacji (kontrola różnicy NMPT-NMT). Stosując odpowiedni algorytm różnicy dwóch warstw rastrowych otrzymano znormalizowany NMPT przyjmując rozmiar piksela wynikowego 1x1 m. Prezentuje on wysokości względne obiektów występujących na gruncie w obszarze opracowania, do których najczęściej zaliczyć można było: drzewa, kosodrzewinę, budynki, podpory oraz krzeselka i wagony wyciągów narciarskich, linie energetyczne etc).

4. WYNIKI

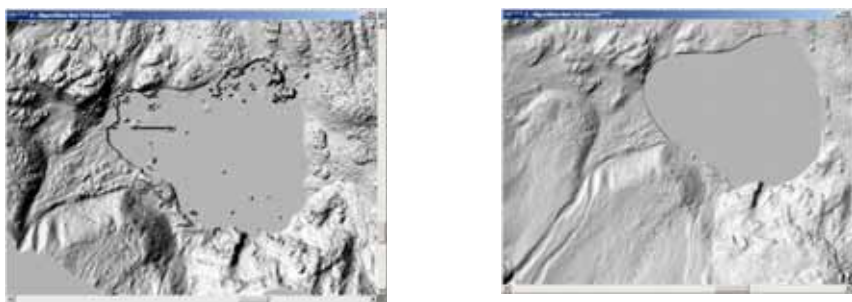
Łącznie podczas nalotu ALS pozyskano niemal 1.5 miliarda punktów pomiarowych o współrzędnych XYZ, osiągając średnie zagęszczenie na bardzo wysokim poziomie ok. 22 pkt/m². Maksymalne zagęszczenie punktów w miejscach pokrywania się kilku skanów wyniosło aż 80 pkt/m². Wykonawca nalotu ALS dokonał połączenia (ang. *matching*) poszczególnych skanów ze sobą oraz ich transformacji do przyjętego układu współrzędnych (UTM 34N stosowanego w parkach: TPN i TANAP). Połączenie skanów polegało na wpasowaniu „chmury punktów” w oparciu o pomierzone powierzchnie planarne. Metoda ta stosowana jest w Austrii i zastępuje punkty wiążące, tzw. powierzchniami wiążącymi (Kager 2004). Wśród danych ALS

identyfikacja homologicznych punktów na poszczególnych skanach, jest zwykle niemożliwa, dlatego poszukuje się prostych geometrycznych kształtów, które można jednoznacznie wskazać. Idea pasowania płaszczyzn polega na wyborze trzech homologicznych powierzchni planarnych, a uzyskany efekt wpasowania jest analogiczny jak tradycyjne wyrównywanie bloku zdjęć lotniczych w oparciu o punkty wiążące. Optymalne płaszczyzny homologiczne to takie, które przecinają się pod kątem prostym, a ich nachylenia są przeciwległe. Wyniki wpasowania chmury punktów ALS na podstawie pomiarów (dGPS + tachimetr) powierzchni planarnych wskazują na wysoką precyzję wykonania samego skaningu i pomiarów naziemnych (Tabela 1). Największe błędy dotyczyły współrzędnych X (0.28 m; skan numer 16) oraz Y (0.13 m; skan numer 3), a współrzędna wysokościowa obarczona była błędem (0.14 m) w przypadku skanu o numerze 15, co wykazano na powierzchni planarnej C.

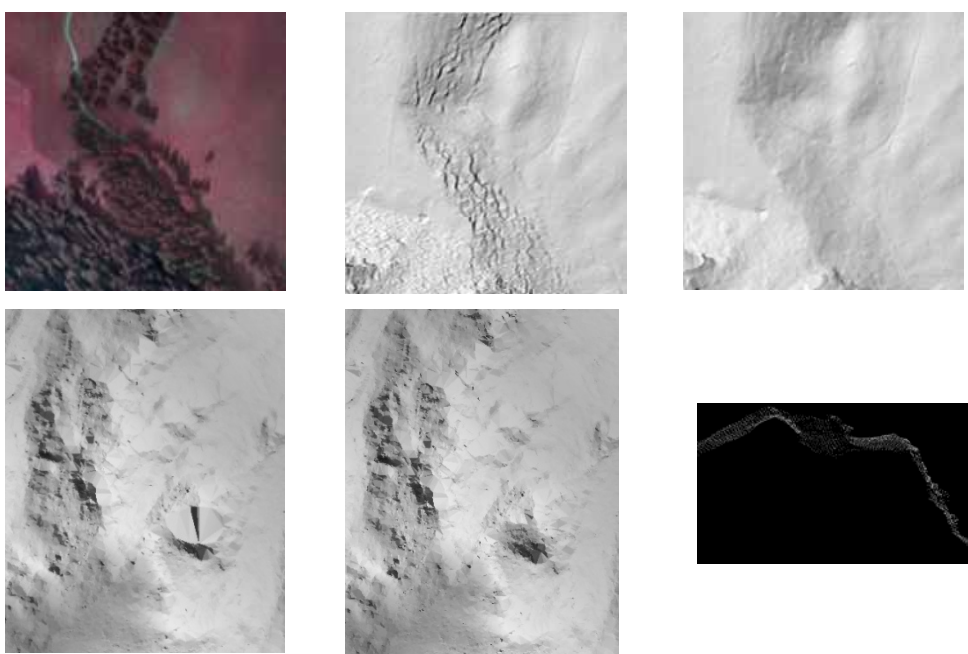
Tabela 1. Odchyłki wpasowania chmury punktów ALS określone na powierzchniach planarnych

Obszar pomiarowy (min. 3 dachy budynków)	Numer szeregu (skan)	dY [m]	dX [m]	dZ [m]
A	24	0.01	0.02	0.02
	30	-0.09	0.20	0.03
B	23	0.06	-0.02	0.07
C	15	0.05	-0.10	0.14
	16	0.02	0.28	0.06
D	3	0.13	0.06	-0.02
	4	0.03	0.08	0.04
	17	-0.05	0.23	-0.02
E	4	0.00	-0.09	-0.10
	12	0.03	-0.03	-0.11
	13	0.04	0.01	-0.12

Zdarzało się, iż niektóre punkty pomiarowe były błędne (ang. *air points*, np. przypadki ptaków w powietrzu) lub brak było sygnału powracającego (problemy pochłaniania sygnału przez wodę; Rys. 3). Sytuacja błędnego zaklasyfikowania punktów do odpowiedniej klasy skutkowałą generowaniem niedoskonałego modelu. Najczęściej takie przypadki zachodziły dla kęp kosodrzewiny rosnącej na półkach skalnych, czy też w przypadku modelowania stromych zboczy porośniętych przez drzewostan nieprzepuszczający wystarczającej ilości plamek lasera do gruntu. W takich przypadkach nieodzowna była manualna edycja punktów lub zmiana parametrów tworzenia TIN (maksymalny rozmiar trójkąta) prowadzona na nowo przez operatora (Rys. 4).



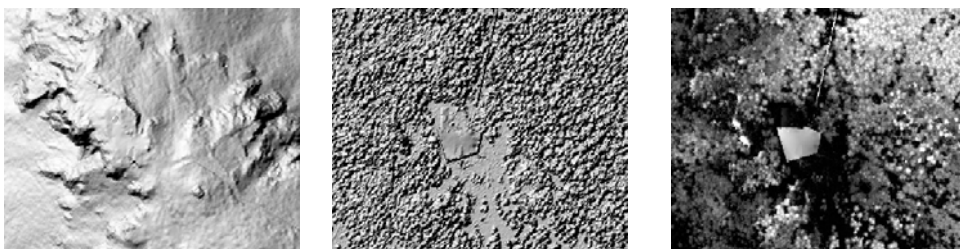
Rys. 3. Fragment NMT przed (z lewej) oraz po manualnej klasyfikacji punktów ALS (z prawej)



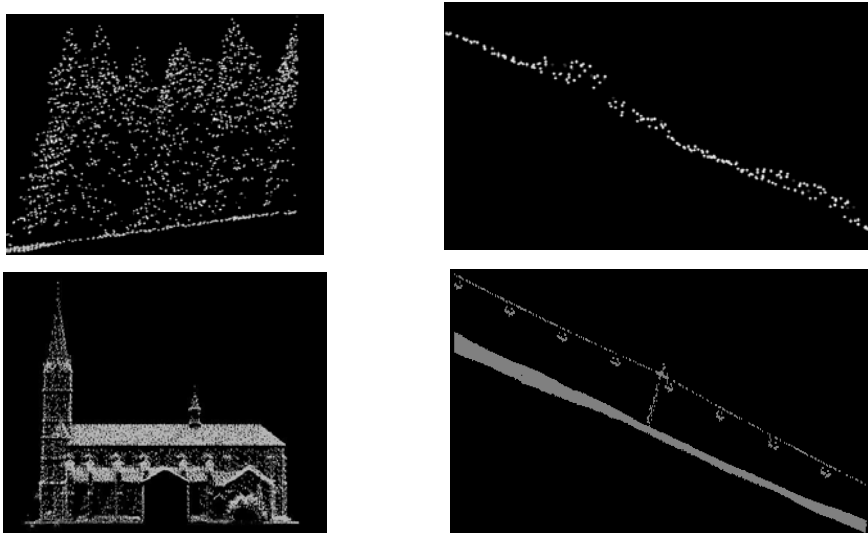
Rys. 4. Proces doskonalenia modeli: u góry od lewej: ortomozaika w kompozycji CIR, NMT z błędami interpolacji, NMT po edycji; na dole od lewej: NMT z „obciętą” skałą w wyniku zakwalifikowania punktów do błędnej klasy, poprawiony model, przekrój przez chmurę punktów

W wyniku opracowania schematu przetwarzania klasy *inverse_ground*, otrzymywano modele NMPT, które dla poszczególnych obszarów były kontrolowane przez operatora w procesie nakładania transparentnej ortomozaiki CIR lub RGB. Ta interaktywna kontrola pozwoliła na szybką identyfikację niewielkich błędów automatycznej klasyfikacji obiektów (dachów domów, koron drzew) pokrycia terenu (Rys. 4 i 5). Problemem przy tworzeniu znormalizowanego NMPT, jest zaklasyfikowanie takich obiektów występujących nad gruntem jak: linie energetyczne czy liny kolei narciarskiej. Ich uwzględnienie zależy to od odbiorcy końcowego

produktów, stąd należy liczyć się z koniecznością generowania modeli w różnych wariantach. Efektem końcowym prac było wygenerowanie dla każdego obszaru roboczego, modeli: NMT, NMPT oraz znormalizowanego NMPT (Rys. 5).



Rys. 5. Fragment modeli: NMT, NMPT oraz znormalizowany NMPT (Myślenickie Turnie)



Rys. 6. Przykłady klas pokrycia terenu (profile przez chmurę punktów ALS) uczestniczących w generowaniu NMPT w obszarze opracowania. U góry: drzewostan świerkowy i płaty kosodrzewiny. U dołu: kościółek w Zakopanem oraz kolej krzeselkowa w Kotle Gąsienicowym

5. WNIOSKI

Wyniki osiągnięte podczas opracowania zautomatyzowanego procesu przetwarzania chmury punktów ALS, pozwoliły na wyciągnięcie określonych wniosków dotyczących technologii ALS oraz jej przydatności w generowaniu numerycznych modeli terenu. Modele konstruowane w oparciu o pełną automatyzację z użyciem algorytmów, niestety nie są wolne od błędów. Szczególnie w terenach wysokogórskich charakteryzujących się występowaniem zwartej szaty roślinnej (drzewostan, kosodrzewina), turni, skal i piargów porośniętych roślinnością wymagana jest interwencja operatora. Pomimo pewnych ograniczeń, duża część procesów

przetwarzania danych daje się zautomatyzować, co pozwala na pełne wykorzystanie sprzętu komputerowego przy zapewnieniu jedynie odpowiedniej przestrzeni na dyskach twardych. Lotniczy skaningu laserowy pozwala w stosunkowo krótkim pozyskać dane dla dużego obszaru z niespotykaną dotąd liczbą punktów pomiarowych. Uzyskiwane modele: NMT, NMPT oraz znormalizowany NMPT są w pełni weryfikowalne i w znakomitej części obiektywne. Automatyczna klasyfikacja chmury punktów ALS przebiegająca od aproksymowanej powierzchni gruntu może prowadzić nawet do wyznaczenia poszczególnych pięter roślinnych w oparciu o atrybut wysokości względnej obiektu (np. kosodrzewina, górna granica lasu, itp.). Technologia skaningu laserowego otwiera przed geomorfologią czy kartografią nowe możliwości analizy i wizualizacji form terenowych w obszarach o urozmaiconej rzeźbie. Określenie jakości modeli terenu w obszarach górskich (w Polsce zwykle zalesionych) nie było dotąd tematem szczegółowych badań podejmowanych przez geodetów, ze względu na brak odpowiednich technologii. Wraz z pojawieniem się aktywnych systemów teledetekcyjnych takich jak *LiDAR* (ALS) czy radar, otwierają się jednak możliwości pozyskiwania danych referencyjnych o rzeźbie (NMT) oraz NMPT oraz generowanie na ich podstawie modelu znormalizowanego NMPT, znajdującego odbiorcę w wielu badaniach naukowych.

6. LITERATURA

- Terrasolid. 2001. Tutorial TerraScan, TerraPhoto, TerraModel: <http://www.terrasolid.fi>
- Axelsson P., 2000. DEM generation from laser scanner data using adaptive TIN models. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing Vol. XXXIII/4B, Amsterdam.
- Baltsavias E. P., 1999a. Airborne laser scanning: Basic relations and formulas. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 54 (2-3), 199-214.
- Baltsavias E.P. 1999b. A comparison of between photogrammetry and laser scanning. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 54:83-89.
- Ducic V., Hollaus M., Ullrich A., Wagner W., Melzer T., 2006. 3D Vegetation Mapping and Classification using Full-Waveform Laser Scanning. International Workshop "3D Remote Sensing in Forestry", Vienna, Austria, s. 211-217.
- Elmqvist, M., Jungert, E., Lantz, F., Persson, Å., Söderman, U., 2001. Terrain modelling and analysis using laser scanner data. Estimation of laser radar data using active shape models. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. 34-3/W4, pp. 219-227.
- Hyypä J., Pyysalo U., Hyypä H., Samberg A., 2000. Elevation accuracy of laser scanning-derived digital terrain and target models in forest environment. In Proceedings of the EARSeL-SIG-Workshop on LIDAR, June 16-17, Dresden, Germany pp. 139-147.
- Kraus K., Pfeifer N., 1998. Determination of terrain models in wooded areas with airborne laser scanner data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol: 53 (4), 193-203.
- Kager H., 2004. Discrepancies between overlapping laser scanner strips – simultaneous fitting of aerial laser scanner strips. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, Istanbul, Turkey, Vol. XXXV, Part B/1, pp.555-560.

- Lee H. S., Younan N. H., 2003. DTM extraction of lidar returns via adaptive processing. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol: 41 (9 PART I), pp.2063-2069.
- Marmol U., 2003. Pozyskiwanie Numerycznego Modelu Powierzchni Topograficznej (NMPT) w oparciu o dane wysokościowe pochodzące z lotniczego skanera laserowego. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji* Vol. 13b.
- Næsset E., 1997. Determination of mean tree height of forest stands using airborne laser scanner data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol: 52 (2), 49-56.
- St-Onge B., Hu Y., Véga C., 2006. Reconstruction of Forest Canopy Height Using Stereo-IKONOS panchromatic Images and a Lidar DTM. Int. Workshop "3D Remote Sensing in Forestry", Vienna, Austria, pp. 97-102.
- Wack R., Wimmer A., 2002. Digital terrain models from airborne laser scanner data – a grid based approach. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. XXXIV / 3B, Graz.
- Wehr A. i Lohr U., 1999. Airborne laser scanning—an introduction and overview. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* Vol: 54 (2-3), 164-198.
- Wężyk P., 2006. Wprowadzenie do technologii skaningu laserowego lidar w leśnictwie. *Annals of Geomatics*. Vol. IV. Number 4., s. 119-132.
- Wężyk P., Tompalski P., Szostak M., Glista M., Pierzchalski M., 2008. Describing the selected canopy layer parameters of the Scots pine stands using ALS data. *ISPRS Workshop on Laser Scanning 2007 and SilviLaser 2008*, Edynburg, September 17-19, 2008 (in print).
- Zhang K., Chen S., Whitmann D., Shyu M., Yan J., Zhang C., 2002. A progressive morphological filter for removing non-ground measurments from airborne LIDAR data. *Journal of Latex Class Files*. Vol.1(8).

GENERATION OF DIGITAL SURFACE AND TERRAIN MODELS OF THE TATRAS MOUNTAINS BASED ON AIRBONE LASER SCANNING (ALS) POINT CLOUD

KEY WORDS: ALS, DTM, DSM, nDSM, Tatras Mountains

Summary

The work presented was aimed at constructing a semi-automatic work-flow of Digital Surface Model (DSM) and Digital Terrain Model (DTM) generation based on an ALS point cloud gathered in a very difficult mountain area. The study area located in the Polish part of the Tatras Mountains covered about 60 km² and included the Kasprowy Wierch, Kuźnice, and downtown Zakopane with the Gubałówka. ALS data, collected in 2007, consisted of 33 scans (minimum density of 20 points/m²). To combine all the scans and match them to the coordinate system, planar surfaces (building roofs) were measured using a tachimeter and a dGPS survey. Position errors of the ALS points in the horizontal plane varied from -0.09m to +0.28m; height errors ranged from -0.12m to 0.14m (HAE). The operator delivered the data separately from 2 Riegl Q-560 scanners, for every FE and LE. The ALS files, due to their huge size, were divided into smaller ones and generated 353 sheets (500x500 m in size) for every scanner and number of returns combination. The point cloud was filtered and assigned to the following levels: "low points", "ground", "low vegetation", "medium vegetation", "high vegetation" and "air points". To generate a DSM, a special class called "ground_inverse" was created; it required an operator control supported by a digital orthophoto (RGB\CIR; Vexcel camera). For every sheet processed, the DTM and DSM were generated. Those verified models served as a basis for developing an nDSM model using the ER Mapper software. The nDSM shows relative heights of objects in the study area (forest stands, dwarf mountain pines, buildings, power lines, ski lifts, etc.). Development of a precise DSM and nDSM as well as analyses of the nDSM open new perspectives for numerous scientific projects.

dr inż. Piotr Wężyk
rlwezyk@cyf-kr.edu.pl
tel. +48 (0) 12 662 50 82
faks.: +48 (0) 12 662 50 82

mgr inż. Natalia Borowiec
e-mail: nboro@agh.edu.pl
tel. +48 (0)12 617 39 93

mgr inż. Stanisław Szombara, Robert Wańczyk
e-mail: ss@progea.pl
tel. +48 (0) 12 415 06 41

OKREŚLANIE WYSOKOŚCI DRZEWOSTANÓW NADLEŚNICTWA CHOJNA W OPARCIU O LOTNICZY SKANING LASEROWY (ALS)

AIRBORNE LASER SCANNING (ALS)-BASED DETERMINATION OF THE CHOJNA FOREST DISTRICT TREE STAND HEIGHTS

Piotr Wężyk, Krzysztof Solecki

Laboratorium GIS i Teledetekcji, Wydział Leśny, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

SŁOWA KLUCZOWE: lotniczy skaningu laserowy (ALS), wysokość drzew i drzewostanów, powierzchnie próbne

STRESZCZENIE: Praca omawia nowe możliwości określania wysokości drzew i drzewostanów w oparciu o techniki lotniczego skaningu laserowego (*LiDAR*) porównując uzyskane wyniki do tradycyjnych metod inwentaryzacji lasu. Obiekt badawczy stanowił Obręb Piasek (Nadleśnictwo Chojna) o powierzchni 6.380,26 ha. Zestaw danych referencyjnych stanowiło 276 powierzchni próbnych (zwane TEREN) założone w 2006 roku oraz zaktualizowana baza danych opisowych (SILP) z roku 2005. Do analiz wysokości drzew na powierzchniach kołowych oraz całych wydzieleń wykonywanych w oparciu o ALS, posłużył zNMPT (*nDSM*; 90 percentyl). Badania wykazały, iż na podstawie ALS uzyskano wyższe wartości wysokości drzewostanów w porównaniu do wyników urządzania lasu (SILP 2005). Największą zgodność wyników z danymi referencyjnymi zaobserwowano w przypadku całych drzewostanów liściastych, dla których średnie różnice wynosiły: +1.07 m (LIDAR - SILP) ÷ -1.72 m (TEREN - LIDAR). Inaczej było w przypadku drzewostanów iglastych +3.58 m (LIDAR - SILP) ÷ -3.01 m (TEREN - LIDAR). W przypadku niektórych powierzchni kołowych stwierdzono tendencję zaniżania wysokości określanej na podstawie ALS (drzewostany iglaste: -0.02m (LIDAR - SILP) ÷ +0.76 m (TEREN - LIDAR); d-stany liściaste -0.41 m (LIDAR - SILP), co potwierdzają w zasadzie wyniki innych prac naukowych. Otrzymane wyniki pozwalają wnioskować, iż technologia ALS wspomagana ortofotomapami doskonale nadaje się do obiektywnego i precyzyjnego określania wysokości całych drzewostanów i rewizji wektora LMN.

1. WPROWADZENIE

Wysokość drzew jest niezmiernie ważną cechą taksacyjną rejestrowaną podczas prac z zakresu inwentaryzacji lasu, odgrywającą znaczącą rolę w procesie określania zasobności drzewostanów. Wysokość drzew jest wypadkową takich zmiennych jak: wiek drzewa, jakość siedliska czy kondycja drzewa, jednocześnie obrazując efekty zabiegów gospodarczych i zdarzeń losowych zachodzących w drzewostanie. Pomiar wysokości wszystkich drzew w drzewostanie był do tej pory niemożliwy do przeprowadzenia ze względu na czasochłonność i stosowaną metodykę prac inwentaryzacyjnych. Często błąd określenia wysokości przez taksatora posługującego się nawet precyzyjnym wysokościomierzem może przekraczać dopuszczalne 5 % i wiąże się zwykle z dużą subiektywnością wskazania wierzchołka oraz pochyleniem całego drzewa.

Inwentaryzacja, wykonywana co 10 lat, opiera się w głównej mierze na pomiarze wysokości kilku drzew na wytypowanych powierzchniach kołowych reprezentujących grupy stratyfikacyjne drzewostanów. Wysokości pojedynczych drzew jak i całych drzewostanów mogą być jednak określane w sposób bardziej obiektywny i precyzyjny, przy wykorzystaniu technologii lotniczego skaningu laserowego (ALS; Airborne Laser Scanning; Næsset et al. 2002, Maltamo et al. 2004, McGaughey et al. 2004, Heurich et al. 2004, Holmgren et al. 2004, Yu et al. 2004,) co potwierdzają praktyczne wdrożenia w krajach wysokorozwiniętych. Celem prezentowanej pracy było określenie przydatności wykorzystania danych ALS w pracach z zakresu inwentaryzacji lasu w Polsce, szczególnie w aspekcie określania wysokości drzewostanów.

2. TEREN BADAŃ

Przy wyborze obiektu badawczego w nadleśnictwie Chojna (RDLP Szczecin) kierowano się: wielkością obiektu (Obręb Piasek 6.380,26 ha), aktualnością danych z pomiarów inwentaryzacyjnych (prace urządzeniowe rok 2005), kształtem obiektu (kompaktowy, regularny kształt), wiekiem drzewostanów (średnio 59 lat) zróżnicowaniem gatunkowym (sosna pospolita *Pinus sylvestris* 61%; dąb szypułkowy *Quercus robur* i bezszypułkowy *Quercus petraea* ok. 11%; buk zwyczajny *Fagus sylvatica* 16%; inne 5%) i układem siedlisk leśnych, jak również zróżnicowaniem rzeźby terenu (Zajączkowski, Wężyk 2007).

3. METODYKA

Realizacja projektu zleconego przez Instytut Badawczy Leśnictwa w Warszawie wymagała integracji technologii geoinformatycznych z tradycyjną metodyką inwentaryzacji lasu.

3.1. Moduł naziemny

Na potrzeby projektu utworzono tzw. grupy stratyfikacyjne, wg kryterium: typu drzewostanu (iglasty/liściasty) oraz średniej wysokości drzew. W ten sposób można uzyskać reprezentację poszczególnych drzewostanów kolejnych faz rozwojowych. W terenie założono: 148 powierzchni kołowych w 67 pododdziałach liściastych oraz 128 powierzchni kołowych w 66 pododdziałach iglastych. Przy wyborze powierzchni uwagę skierowano głównie na takie gatunki lasotwórcze jak: sosna pospolita (*Pinus sylvestris*), modrzew (*Larix sp.*), dagleżja zielona (*Pseudotsuga menziesii*) oraz buk pospolity (*Fagus sylvatica*) i dęby (*Quercus sp.*). Prace terenowe prowadzono w lipcu 2006 roku. Drzewostany wytypowano na podstawie zapytań SQL do bazy danych LAS systemu SILP. W terenie nawigowano się do wybranych wyłączeń drzewostanowych przy wykorzystaniu odbiorników kartograficznych Pathfinder ProXRS (Trimble). Wielkość powierzchni badawczych uzależniona była od wysokości drzewostanu i wahała się od 200 m² (klasa wysokości drzewostanu 10 oraz 15 m) do 500 m² (klasa wysokości > 30 m) (Zajączkowski, Wężyk 2007). Na powierzchniach kołowych pomierzono współrzędne środka powierzchni (dGPS ASG-PL; min. 300 epok) oraz określono

położenie pni drzew (pomiar biegunowy) i środków koron. Pomierzono wysokości 5-ciu najbliższych środka powierzchni drzew (teoretycznie widocznych z góry; dokładność do 0,1 m) oraz ich pierśnice (z dokładnością do 0,05 m). W pododdziale zakładano najczęściej po 2 powierzchnie kołowe, stąd średnia wysokość dla pododdziału obliczona była jako średnia z 10 drzew. Ze względu na nawigację i pomiary dGPS a także sposób zapisu danych z poziomu lotniczego, przyjęto układ współrzędnych WGS-84 w odwzorowaniu UTM (strefa 33N). Transformacji do tego odwzorowania poddano wektor Leśnej Mapy Numerycznej z PUWG 1992/19.

3.2. Moduł lotniczy

W dniach 6 i 8 września 2006 r. firma Milan Flug GmbH przeprowadziła lotniczy skanowanie laserowe (ALS) przy wykorzystaniu urządzenia skaner RIEGL LMS-Q560 (typ skanera *full waveform*) wraz z jednoczesnym pozyskiwaniem zdjęć lotniczych cyfrową kamerą Rolleiflex 6008 digital metric (rozdzielczość terenowa około 7cm). Nalot prowadzono z wysokości ok. 500 m nad terenem wykorzystując śmigłowiec Eurocopter w szeregach na kierunkach: NE ↔ SW. Szerokość jednego skanu wynosiła ok. 600 m a ich wzajemne pokrycie poprzeczne kształtowało się na poziomie 60-80 %. Łącznie pozyskano 44 skany (ang. *strip, scan*), które zapisano w 54 plikach. Korekcję dGPS prowadzono w oparciu o sieć niemieckich stacji referencyjnych SAPOS ze względu na bezpośrednie sąsiedztwo obszaru badań. Dokładność lokalizacyjna połączonych skanów wg. raportu wykonawcy kształtowała się na poziomie około 0.5 m dla współrzędnych płaskich (XY) oraz 0.15 m dla wysokościowej (Z). Zakładano uzyskanie średniego zagęszczenia punktów na poziomie 4 pkt/m². Poza przekazaniem przez wykonawcę nalotu danych z pierwszego i ostatniego odbicia (na podstawie analizy pełnej fali; *full waveform*) wygenerowano także: Numeryczny Model Terenu (NMT) oraz Numeryczny Model Powierzchni Terenu (NMPT) zapisując je do postaci siatki o oczku 1.0 m (ASCII).

3.3. Prace kameralne

Ze względu na wielkość danych i możliwości techniczne ich przetwarzania w roku 2006 i 2007 (komputery PC oraz oprogramowanie) chmurę punktów ALS przekonwertowano do postaci umożliwiającej użycie programów w środowisku ESRI. Konwersji poddano także NMT oraz NMPT do formatu *.ERS (ER Mapper Raster Dataset), co pozwoliło znacznie zmniejszyć rozmiary plików jak i skrócić czas przeprowadzania analiz. W oprogramowaniu ER Mapper Professional 7.1, na podstawie NMPT i NMT wygenerowano tzw. znormalizowany Numeryczny Model Powierzchni Terenu (zNMPT; ang. *nDSM*) niezbędny i podstawowy produkt wykorzystany w kolejnych krokach do określania wysokości drzew i drzewostanów. Obrazuje on wysokości obiektów (szaty roślinnej) znajdujących się w obszarze lotniczego skanowania laserowego.

3.4. Określanie wysokości drzew i drzewostanów

Podstawowym produktem wykorzystywanym w analizach przydatności danych ALS do określania wysokości drzew i drzewostanów, był znormalizowany Numeryczny Model Powierzchni Terenu (zNMPT, ang. *nDSM*) nazywany także często w przypadku obszarów leśnych Modelem Koron Drzew (ang. CHM - *Crown*

Height Model). Na podstawie wektora Leśnej Mapy Numerycznej (LMN) wyselekcjonowano do dalszych analiz tylko te dane ALS (FE), które zawierały się w pododdziałach, w których z kolei zlokalizowano kołowe powierzchnie badawcze. Z tych zestawów wyselekcjonowano dalsze, odpowiadające tylko powierzchniom kołowym (analizy przestrzenne GIS). Na podstawie analizy modelu nDSM (ang. *CHM* – *Crown Height Model*) określano wysokość maksymalną tzw. $H_{\max}$ wydzielenia/powierzchni, która stanowiła podstawę do wstępnego podziału na 3 strefy wysokościowe.

Najbardziej interesująca w aspekcie badań wysokości była najwyższej położona górna strefa, obejmująca obszar do 1/3 d-stanu. (strefa koron). Kolejnym krokiem było podzielenie najwyższej strefy na 5 kolejnych podstref i wyselekcjonowanie punktów nDSM, mieszczących się w przedziale powyżej 90% percentyla (1/15 wartości zasięgu maksymalnego $H_{\max}$). Dla tego zestawu punktów obliczono podstawowe statystyki w postaci wartości średniej, która traktowanej była jako właściwa wysokość drzewostanu bądź też średnia wysokość drzew na powierzchni kołowej. Strefa 1/15 w przypadku d-stanów o wysokości około 30 metrów odpowiadała mniej więcej zakresowi przyjętej dokładności ($\pm 1 \div 2$ m) w pomiarach tradycyjnych (zwanych dalej H_{SILP}), choć w instrukcji urządzania lasu przyjmuje się wartość 0.5 m jako błąd dopuszczalny. Analizy koncentrowały się na różnicach pomiędzy wysokością drzewostanu uzyskaną na podstawie nDSM (ALS; zwaną H_{LIDAR}) a poszczególnymi danymi referencyjnymi, tj.: z prac urządzeniowych (2005 r.; dalej zwanych H_{SILP}) oraz z własnych pomiarów terenowych na powierzchniach kołowych (dalej zwane H_{TEREN}). W celu uzyskania jak najlepszych wyników dane ALS poddano szczegółowej analizie pod kątem zgodności przebiegu wektora LMN z modelem nDSM oraz cyfrową ortomozaiką. Te dwa zintegrowane ze sobą rastrowe warstwy informacyjne pozwoliły na korektę przebiegu granic i doprowadzenie LMN do zgodności topologicznej (poprawne relacje przestrzenne i powierzchnia).

4. WYNIKI I DYSKUSJA

Wysokość drzewostanów zapisana w bazach danych LAS/SILP oznacza w zasadzie przeciętną wysokość drzew określonego gatunku obliczoną na podstawie nie mniej niż 5-ciu drzew rosnących w miejscach przeciętnych i reprezentatywnych dla danego pododdziału, albo też na podstawie powierzchni kołowej zakładanej w celu pomiaru pierśnic. Informacja z bazy danych SILP nie uwzględniała jeszcze przyrostu wysokości jaki dokonał się pomiędzy inwentaryzacją (2005 r.) a nalotem (2006 r.) czy też pomiarami terenowymi (2006 r.). Wartość przyrostu wysokości dla najstarszych (najwyższych) drzewostanów iglastych oszacowano na podstawie obserwacji terenowych na poziomie około $0.15 \div 0.25$ m. W przypadku drzewostanów młodszych klas wieku wartość ta mogła jednak osiągać nawet 0.5 m.

Porównując wysokość pomierzoną w terenie (TEREN) do uzyskanej na podstawie nDSM (ALS), dla całych pododdziałów, zdecydowano się wykorzystać średnią wartość wysokości ze wszystkich założonych w terenie badawczych powierzchni kołowych. W przypadku, gdy porównywano się tylko do obszaru powierzchni kołowych, obliczano wówczas średnią wysokość (H_{TEREN}) na podstawie 5-ciu drzew. Zestawienie uzyskanych wyników będących różnicą wysokości określanej poszczególnymi metodami przedstawiono na różnych poziomach stratyfikacyjnych drzewostanów

w zależności od typu (liściaste i iglaste) oraz analizowanego obszaru (pododdział/powierzchnia kołowa) i klas wysokości (Tabela 1 i 2). Odniesienie wyników do skali całych pododdziałów (warianty: A.1, A.2, B.1 i B.2) miało na celu ukazanie dokładności metody tradycyjnej określenia wysokości drzewostanów w oparciu o miejsca, których lokalizacje do tej pory nie były trwale stabilizowane.

Tabela 1. Podstawowe statystyki dla wysokości określonej w terenie na powierzchniach kołowych (TEREN), z bazy SILP oraz na podstawie danych ALS (LIDAR)

Wariant	Porównanie	Średnia [m]	Minimum [m]	Maksimum [m]	Wariancja	Odch. std.
LIŚCIASTE – CAŁE PODODDZIAŁY						
A.1.1	LIDAR – SILP	1.07	-3.89	5.59	2.51	1.58
A.1.2	TEREN – LIDAR	-1.72	-8.5	7.15	7.18	2.68
A.1.3	TEREN - SILP	-0.63	-7.00	6.95	8.48	2.91
LIŚCIASTE – POWIERZCHNIE KOŁOWE						
A.3.1	LIDAR – SILP	-0.41	-6.88	7.63	5.89	2.42
A.3.2	TEREN – LIDAR	-0.30	-7.28	6.42	5.81	2.41
A.3.3	TEREN - SILP	-0.63	-7.80	7.90	10.83	3.29
IGLASTE – CAŁE PODODDZIAŁY						
B.1.1	LIDAR – SILP	3.58	-0.75	7.98	2.69	1.64
B.1.2	TEREN – LIDAR	-3.01	-6.83	0.78	2.90	1.70
B.1.3	TEREN - SILP	0.85	-4.30	6.70	4.03	2.01
IGLASTE – POWIERZCHNIE KOŁOWE						
B.3.1	LIDAR – SILP	-0.02	-4.58	6.14	3.56	1.89
B.3.2	TEREN – LIDAR	0.76	5.31	5.19	2.42	1.56
B.3.3	TEREN - SILP	0.74	-4.90	6.70	4.90	2.21

Inne warianty (A.3, A.4, B.3 oraz B.4) odnoszą się do porównania różnych metod pomiarowych na konkretnych drzewach na powierzchniach kołowych. Analizując uzyskane wyniki można zaobserwować, iż informacje o wysokości tych samych drzewostanów różnią się między sobą, w zależności od metody jej określania (Tabela 1 i 2).

Na podstawie zaprezentowanych statystyk (Tabela 1 i 2) zaobserwować można, iż w przypadku drzewostanów liściastych wysokość określana dla całych pododdziałów metodami tradycyjnymi (urządzenie lasu 2005 rok - SILP oraz powierzchnie kołowe 2006 rok - TEREN) jest zaniżana w stosunku do danych ALS średnio o około 1,0 m (dla młodszych klas wieku 3.3 m; starsze klasy 0.5 m). Analiza regresji wykazała wysoka wartość współczynnika determinacji $R^2 = 0.92$. Porównując wartość określoną dla powierzchni kołowej metodą tradycyjną (TEREN) oraz LiDAR (ALS) stwierdzono tendencję znacznego zaniżania przez obserwatora wysokości drzewa (średnia o około -1.7 m; $R^2=0.77$). Okazuje się, że dla wszystkich klas poza najwyższymi drzewostanami (pełna zgodność) wartości te wahały się od -3.2 m do -1.46 m. Przyczynę tej sytuacji można najprościej wytłumaczyć nie tylko subiektywizmem obserwatora odczytującego wskazania wysokościomierza wycelowanego w hipotetyczny wierzchołek, co ewentualnie niezbyt odpowiednim wyborem lokalizacji powierzchni kołowych wewnątrz drzewostanu. Lokalizacja powierzchni i wysokość drzew na nich mierzonych determinowała wartość średnią dla pododdziału.

Tabela 2. Podstawowe statystyki dla wysokości określonej w terenie (TEREN), z bazy SILP oraz na podstawie danych ALS (LIDAR) dla grup stratyfikacyjnych wysokości

		WARIANT					
		PODODDZIAŁY LIŚCIASTE			POW. KOŁOWE LIŚCIASTE		
	Klasa wys. [m]	A.2.1 LIDAR - SILP	A.2.2 TEREN - LIDAR	A.2.3 TEREN - SILP	A.4.1 LIDAR - SILP	A.4.2 TEREN - LIDAR	A.4.3 TEREN - SILP
ŚREDNIA	10	+3.34	-3.2	+0.12	+1.22	-2.09	-0.69
	15	+1.53	-3.94	-2.1	-1.06	-2.1	-3.2
	20	+0.98	-2.93	-1.94	-0.96	-1.35	-2.32
	25	+0.54	-1.46	-0.91	-0.69	-0.27	-0.96
	30	+1.0	-0.01	+0.98	+0.04	+1.45	+1.65
ODCH. STD.	10	2.29	1.85	3.86	3.96	1.56	3.58
	15	2.06	3.32	3.68	2.19	1.44	2.02
	20	1.3	2.42	2.5	2.53	2.02	2.68
	25	1.44	1.85	1.8	1.83	1.96	2.09
	30	1.37	2.53	2.95	2.17	2.26	3.31
		PODODDZIAŁY IGLASTE			POW. KOŁOWE IGLASTE		
	Klasa wys. [m]	B.2.1 LIDAR - SILP	B.2.2 TEREN - LIDAR	B.2.3 TEREN - SILP	B.4.1 LIDAR - SILP	B.4.2 TEREN - LIDAR	B.4.3 TEREN - SILP
ŚREDNIA	10	+3.54	-2.06	+1.48	+0.22	+1.23	+1.46
	15	+3.66	-3.69	+0.54	-0.62	+0.86	+0.23
	20	+3.96	-3.81	+0.41	+0.08	+0.38	+0.46
	25	+3.27	-2.91	+0.36	+0.22	+0.11	+0.33
	30	+3.02	-1.96	+1.49	+0.01	+1.59	+1.61
	35	+4.91	-1.49	+3.42	+0.72	+1.77	+2.50
ODCH. STD.	10	2.23	0.77	1.78	1.54	1.44	1.88
	15	1.39	1.89	2.25	2.08	1.36	2.15
	20	1.61	1.62	1.83	1.86	1.52	2.19
	25	1.51	1.18	1.61	1.76	1.30	1.91
	30	1.66	1.61	1.98	1.91	1.79	2.39
	35	1.67	2.24	3.92	2.88	1.16	3.75

Uwiarygodnienie wyników następowało przez porównanie własnych wyników pomiarów terenowych (TEREN) z danymi z urządzania lasu (SILP). Stwierdzono, iż wartość średnia (-0.63 m; $R^2=0.72$) dla wszystkich analizowanych drzewostanów liściastych wskazuje, iż powierzchnie kołowe zlokalizowano niestety na obszarze o lokalnej niższej wysokości drzew (np. wpływ mikrosiedliska). Największe różnice wykazano dla klasy stratyfikacyjnej 15 m drzewostanów liściastych, tj. -2.1 m. Maksymalne różnice pomiędzy pomiarami sięgały około ± 7 m co potwierdza z jednej strony przypadkowość wyboru miejsca opróbowania, a z drugiej niedoskonałość samej metody stosowanej w urządzaniu lasu, która zakłada pomiar wysokości jedynie w części wybranych pododdziałów z grup stratyfikacyjnych. W przypadku powierzchni kołowych ulokowanych w wydzieleniach liściastych stwierdzono tendencję odwrotną do opisanej powyżej, tj. zaniżania wysokości określonej na podstawie LiDAR (średnio o -0.41 m; $R^2=0.77$). Analizując szczegółowo poszczególne grupy stratyfikacyjne wykazano jednak, iż w klasach 15 m, 20 m i 25 m występuje zaniżenie wysokości LiDAR o około 1.0 m, a dla najniższych drzewostanów (klasa 10 m) obserwuje się różnicę odwrotną

(+1.22 m). Grupa najstarszych (najwyższych) drzewostanów (klasa 30 m) nie wykazywała znaczących różnic określania wysokości różnymi technologiami. Oznaczać to może, iż właśnie w przypadku wykształcenia się pełnych koron drzew bez wyraźnych pędów wierzchołkowych pierwsze impulsy skanera odbijane są przede wszystkim z wierzchnich warstw sklepienia drzewostanu (ang. *forest canopy*). W przypadku młodszych klas wieku korony drzew mogą charakteryzować się zupełnie inną strukturą przestrzenną wywołaną obecnością pędów wierzchołkowych dominujących nad resztą. Promień lasera ma niewielką szansę przy założonej gęstości 4 punktów na jednostce powierzchni aby trafić w taki właśnie pęd i najczęściej odbicie następuje z niższych części korony. Podobne zjawisko występuje w okresie bezlistnym kiedy brak liści determinuje odbijanie się promienia lasera wyłącznie od grubszych gałęzi czy fragmentów pnia. Analizując różnice pomiędzy pomiarem TEREN a SILP na powierzchniach kołowych uzyskano niemal identyczne wyniki jak w przypadku całych pododdziałów z tym, że maksymalne i minimalne różnice uległy powiększeniu do niemal $\div 8$ m. Niedoszacowanie wartości wysokości drzewostanów liściastych stwierdzili w swoich badaniach także Persson et al. (2002), Maltamo et al. (2004), McGaughey et al. (2004), Heurich et al. (2004), Abraham et al. (2006). W większości przypadków były to bardzo zbliżone wyniki aczkolwiek stosowane technologie i gęstość punktów były zazwyczaj różne od siebie.

Analiza różnic wysokości w obrębie całych drzewostanów iglastych wykazała jednoznacznie zaniżanie wysokości przez pomiary taksatorów, na podstawie których co 10 lat wypełnia się bazy danych SILP/LAS. Średnia wartość różnicy LIDAR-SILP wskazuje na duże zaniżanie wartości przez SILP aż o 3.58 m (we wszystkich klasach wysokościowych, poza drzewostanami 35 m; wartość aż +4.91 m) przy jednoczesnym wysokim współczynniku determinacji $R^2=0.93$. Analiza porównawcza TEREN - LiDAR ponownie wykazuje różnice około 3 m wskazując na wyżej położone punkty chmury ALS. Nie jest to wynik błędnej filtracji, ale co najwyżej niedokładność pomiaru terenowego lub skutek niereprezentatywnego wyboru lokalizacji powierzchni kołowej w obszarze o lokalnie niższych drzewach. Zdecydowana większość wyników badań innych autorów (Hyypä et al., 1999; Persson et al., 2002; Maltamo et al., 2004; Yu et al., 2004; McGaughey et al., 2004; Heurich et al., 2004; Abraham et al., 2006) wskazuje na zupełnie odmienną sytuację czyli na zaniżanie wysokości drzew przez ALS w drzewostanach iglastych, co można łatwo wytłumaczyć problemem z trafieniem w wierzchołek drzewa przy stosunkowo niewielkiej ilości punktów lasera na jednostce powierzchni. Odbicie impulsu od części wierzchołkowej uzależnione jest od gatunku drzewa (pokrój wierzchołkowej części korony) jak również lokalnie kształtowanych ekotypów przez warunki abiotyczne i biotyczne. Swoiste „zawyżanie” wysokości drzew przez LiDAR w stosunku do pomiarów terenowych wykazali Holmgren et al. (2004) oraz Næsset et al. (2002) jednak używanie tego określenia wydaje się niewłaściwe, gdyż albo to dane ALS są niewłaściwie przetworzone (pomiar GPS/INS, pasowanie skanów, *ghost points*) albo dane referencyjne są niepoprawne. Średnia różnica pomiarów TEREN-SILP okazała się stosunkowo niewielka (+0.85m) osiągając w najwyższych drzewostanach (klasa stratyfikacyjna 35m) około +3.4 m. Ta ostatnia wartość może wzbudzać duże zaniepokojenie niedokładnością metod tradycyjnych przy założeniu, iż powierzchnia kołowa w roku 2006 została wybrana w miejscu reprezentatywnym (podobnie jak zbieranie danych dla SILP).

Analizy wysokości przeprowadzone w drzewostanach iglastych na powierzchniach kołowych wykazały niemal całkowitą zgodność -0.02 m (odch. std. 1.56; $R^2=0.77$)

w przypadku porównywania danych LiDAR-SILP. Dla poszczególnych grup stratyfikacyjnych największe wartości ponownie wykazano dla klasy 30 metrowych drzewostanów (+0.7 m) co potwierdza jedynie problemy pomiaru drzew wysokich o trudno widocznych wierzchołkach. Różnice pomiędzy danymi LIDAR – TEREN ($R^2=0.83$) wyniosły średnio jedynie +0.76 m co wskazywać może na zaniżanie pomiaru przez taksatora lub nieodpowiednią lokalizację drzew na powierzchniach kołowych, z których obliczana jest średnia (TEREN). W poszczególnych klasach stratyfikacyjnych różnice oscylowały na różnym poziomie z tym że w przypadku najstarszych drzewostanów i najmłodszych miały one największe wartości co można tłumaczyć albo problemami wskazania wierzchołka i pochylenia wysokich drzew lub też szybkim wzrostem młodych drzewostanów (nawet od 1,0 m rocznie sosna pospolita) podobnym poziomie. Niemal identyczna wartość różnicy (+0.74 m; $R^2=0.76$) wykazano dla danych TEREN oraz SILP, przy czym SILP wskazywał na niższą wartość. Pomimo, iż instrukcja urządzania lasu przewiduje dokładność 0.5 m to w praktyce akceptowane są o wiele wyższe różnice.

5. WNIOSKI

Podstawą funkcjonowania nowoczesnej gospodarki leśnej jest szybkie i dokładne szacowanie zasobów drzewnych, w celu wypełniania postulatów z zakresu trwałości ekosystemów i ochrony przyrody przy jednoczesnym zapewnieniu poprawnego modelu ekonomicznego. Dotychczasowe sposoby pozyskiwania informacji o zasobach leśnych muszą być wspomagane nowoczesnymi technologiami geoinformatycznymi, takimi jak lotniczy skanিং laserowy (ALS), który oferuje znacznie więcej niż tylko określanie wysokości obiektów czy generowanie numerycznych modeli terenu. Uzyskane wyniki dla drzewostanów liściastych Obrębu Piasek w Nadleśnictwie Chojna wskazują na bardzo niewielkie różnice pomiędzy pomiarem wysokości metodą LiDAR a metodami tradycyjnymi inwentaryzacji (w granicach dopuszczalnego błędu) przy jednocześnie bardzo wysokim współczynniku determinacji ($R^2=0.92$). Uzasadnia to potrzebę jak najszybszego wdrożenia technologii ALS na skalę ogólnokrajową. W przypadku jednak drzewostanów iglastych stwierdzone znaczne różnice wysokości drzewostanów pomiędzy pomiarem wykonanym na podstawie chmury punktów LiDAR a aktualną bazą danych SILP dają podstawy do rewizji wykonanych już opracowań (pomimo współczynnika $R^2=0.93$). Różnica ze znakiem dodatnim (rezerwa) odgrywa znacząco pozytywną rolę w szerszym rozumieniu roli lasu i biomasy traktowanej jako odnawialne źródło energii czy w procesie handlu emisjami CO₂.

Lotniczy skanিং laserowy, jak pokazuje praktyka krajów wysoko rozwiniętych z pewnością zdominuje czy wręcz zastąpi tradycyjne metody inwentaryzacji zasobów drzewnych. Ze względu na pełen obiektywizm pozyskiwanych informacji, metoda ta jest niewątpliwie bardziej wiarygodna od subiektywnej oceny przeprowadzonej przez taksatora i umożliwia pozyskiwanie danych na dużych obszarach w krótkim czasie. Spadające koszty skaningu laserowego i rosnące koszty pracy tradycyjnej inwentaryzacji stanowią poważny argument za wykorzystywaniem tej technologii w procesie pozyskiwania informacji o lasach.

6. LITERATURA

- Abraham, J., Adolt, R. 2006. Stand height estimations using aerial images and laser scanning data. In: *International Workshop "3D Remote Sensing in Forestry"*. Wien, ss. 24-31.
- Heurich, M., Persson, A., Holmgren, J., Kennel, E. 2004. Detecting and Measuring Individual Trees with Laser Scanning in Mixed Mountain Forest of Central Europe Using an Algorithm Developed for Swedish Boreal Forests Conditions. *Proc. of the ISPRS working group VII/2 "Laser-Scanners for Forest and Landscape Assessment"* In: *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XXXVI, part 8/W2*. ss. 307-312
- Holmgren, J., Jonsson, T. 2004. Large Scale Airborne Laser Scanning of Forest Resources in Sweden. *Proc. of the ISPRS working group VII/2 "Laser-Scanners for Forest and Landscape Assessment"*. Freiburg, Germany: International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XXXVI, part 8/W2. s. 157-160
- Hyypä, J., Inkinen, M. 1999. Detecting and estimating attributes for single trees using laser scanner. *The Photogrammetric Journal of Finland*, vol. 16, No. 2, s. 27-42.
- Persson, A., Holmgren, J., Söderman, U. 2002. Detecting and measuring individual trees using an airborne laser scanner. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 68, No. 9, s. 925-932
- Næsset, E., Okland, T. 2002. Estimating tree height and tree crown properties using airborne scanning laser in a boreal nature reserve. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 79, s. 105-115.
- Maltamo, M., Mustonen, K., Hyypä, J., Pitkänen, J., Yu, X. 2004. The accuracy of estimating individual tree variables with airborne laser scanning in boreal nature reserve. *Abstract. Canadian Journal of Forest Research*. s. 1791-1801.
- McGaughey, R., Carson, W., Reutebuch, S., Andersen, H.-E. 2004. Direct measurement of individual tree characteristics from LIDAR data. *Proceedings of the Annual ASPRS Conference, 23-28 May 2004*. Denver: American Society of Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS).
- Yu, X., Hyypä, J., Hyypä, H., Maltamo, M. 2004. Effects of flight altitude on tree height estimation using airborne laser-scanning. *Laser-Scanners for Forest and Landscape Assessment: Proceedings of the ISPRS Working Group VIII/2, 3-6 October 2004. Edited by M. Thies, B. Koch, H. Spiecker, and H. Weinacker*. Freiburg, Germany: International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing, and the Spatial Information Sciences, Vol. XXXVI-8/W2.
- Zajączkowski, G., Wężyk, P. 2007. Ocena przydatności skaningu laserowego oraz cyfrowych obrazów multi- i hiperspektralnych do określania miąższości drzewostanów. *Sękocin Stary, Raport z tematu BLP 302. Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Stary*.

AIRBORNE LASER SCANNING (ALS)-BASED DETERMINATION OF THE CHOJNA FOREST DISTRICT TREE STAND HEIGHTS

KEY WORDS: airborne laser scanning (ALS), tree and stand height, inventory plots

Summary

The paper describes the most recent development in using the airborne laser scanning technology (ALS; LiDAR) to determine heights of individual trees and tree stands and compares the results to data derived from the traditional forest inventory. The Piasek Forest of 6,380.26 ha (the Chojna forest district managed by the Regional State Forest Administration in Szczecin) was chosen as a test site. The first reference data set for the forest stand height was obtained from the SILP data base (LAS tables) updated a year (2005) before the ALS was performed. The other reference data set (called TERRAIN) was assembled during the ground-truthing campaign in 2006, which resulted in establishing 276 circular inventory plots (148 plots in 67 deciduous stands and 128 plots in 66 coniferous forest stands). The nDSM (90th percentile) was selected as the input data for the height analysis. The results showed that the ALS-based tree heights were higher than those recorded in the official SILP database for the Chojna district. In the deciduous forest stand, differences between the LiDAR and SILP data were not particularly large and amounted to as little as about 1.07 m ($R^2 = 0.92$). Differences between the LiDAR and TERRAIN data sets were about 1.72 m ($R^2=0.77$), higher values being obtained using ALS. In the coniferous stands, differences between the LiDAR and SILP were considerably higher, up to +3.58 m ($R^2 = 0.93$), whereas the other TERRAIN set, when compared to the LiDAR data, showed that the traditional forest inventory underestimated the Scots pine height by about -3.01 m. A detailed analyses revealed that, in some inventory plots, the LiDAR data underestimated the tree stand height (LiDAR vs SILP; coniferous: -0.02m; deciduous: -0.41 m). Such underestimation may be explained by the lack of signals coming back from warming tops of the trees. The results obtained allow to conclude that the LiDAR technology supported by the digital orthophotomaps can objectively and precisely supply height data not only for single trees, but it makes it possible to measure the whole stand (whole trees). Therefore, the existing inventory methods need to be changed to make forest planning and monitoring more precise, faster, comparable, cheaper, and not dependable on subjective measurements.

Piotr Węzyk
rlwezyk@cyf-kr.edu.pl
tel. +48 (0)12-662 50 82
fax: +48 (0)12-662 50 82

Krzysztof Soleccki
krsolecki@gmail.com
tel. +48 (0)12-662 50 82
fax: +48 (0)12-662 50 82

IMPLEMENTACJA DYREKTYWY INSPIRE NA PRZYKŁADZIE INTERNETOWEGO SERWISU „MAPA ROŚLINNOŚCI RZECZYWISTEJ MIASTA KRAKOWA”

IMPLEMENTATION OF THE INSPIRE DIRECTIVE, AS EXEMPLIFIED BY THE “VEGETATION MAP OF CRACOW” WEBGIS SERVICE

Piotr Wężyk¹, Robert Wańczyk²

¹ Laboratorium GIS i Teledetekcji, Wydział Leśny Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

² ProGea Consulting, Kraków

SŁOWA KLUCZOWE: WebGIS, INSPIRE, UMN MapServer, Mapa roślinności rzeczywistej

STRESZCZENIE: Społeczeństwa informacyjne krajów UE tworzą się w oparciu o: zbieranie, przetwarzanie i udostępnianie informacji co znajduje swoje podstawy prawne we wdrażanej dyrektywie INSPIRE (2007/2/EC). Portal „Zielony Kraków” prezentujący rezultaty 2 lat prac nad Mapą roślinności rzeczywistej Krakowa, oparto na technologii z zakresu wolnego oprogramowania (Open source), tj.: UMN Mapserver, PHP MapScript oraz MySQL. Interoperacyjność „Zielonego Krakowa” zabezpieczają dostępne serwisy: WMS oraz WFS zgodne ze standardami OGC. W realizacji projektu wykorzystano m.in.: Apache, PHP, MapServer CGI, MapScript (CSharp, Java, PHP, Python), PHP/Mapscript, Java Rosa, GD, FreeType, GDAL/OGR oraz MySQL. Użytkownikowi udostępniono 8 różnych warstw tematycznych (wektorowych), tj.: wydzielenia (15.993 poligonów), obszary waloryzacji waloryzacja przyrodnicza (14.773 poligonów), stanowiska roślin chronionych (814 punktów), dzielnice miasta (18 poligonów), obszary z nazwami lokalnymi (139 poligonów), ulice (6.592 linii), oraz warstwę wody (linie i poligony) a także arkusze map w skali 1:10.000 (99 szt.) i 1:5.000 (325 szt.). Do wizualizacji wykorzystano także: rastrową mapę sytuacyjno-wysokościową, ortofotomapę lotniczą (B&W) oraz NMT (hillshade). W skład bazy tzw. multimediiów zaliczyć można: 144 zdjęć cyfrowych, 101 plików PDF (kompozycje mapowe/ arkusze map) oraz 97 plików KMZ (Google Earth). Otwarcie się Urzędu Miasta Krakowa poprzez serwis WebGIS jest niezmiernie ważnym krokiem milowym w procesie implementacji Dyrektywy INSPIRE w Polsce.

1. WPROWADZENIE

Poprawiający się dostęp do coraz wydajniejszej sieci Internet skutkuje upowszechnianiem się nowych technologii udostępniania informacji, co stanowi jeden z elementów rozwoju i kształtowania społeczeństwa geo-informacyjnego (Wężyk i Świąder 2003). Akty prawne będące podstawą wdrażania w krajach UE Dyrektywy INSPIRE (INfrastructure for SPatial InfoRmation in, Europe; 2007/2/EC), tworzona infrastruktura techniczna (SDI), przyjmowanie odpowiednich standardów (np. normy ISO), zawieranie porozumień pomiędzy instytucjami oraz odpowiednia struktura i jakość danych przestrzennych – wszystkie one mają zabezpieczyć obywatelowi dostęp do geo-informacji (Gaździnki 2007; Internet 2008; Świąder et al. 2005). Komisja Europejska wypracowała i wdrożyła do tej pory wiele Dyrektyw, które mają na celu poprawę stanu

środowiska naturalnego (Abramowski et al. 2005; Weihs i Wężyk 2003). Działają one w sposób bezpośredni (np. sieć ESE Natura 2000), bądź też pośredni, poprzez zagwarantowanie obywatelom dostępu do informacji o środowisku (np. Dyrektywa 90/313/EWG dotycząca swobodnego dostępu do informacji o środowisku nakłada na państwa członkowskie UE obowiązek zapewnienia każdej osobie na jej żądanie dostępu do informacji o środowisku, będącej w posiadaniu władz publicznych). Dnia 23 lipca 2004 Komisja Europejska zaakceptowała projekt dyrektywy w sprawie utworzenia Infrastruktury Informacji Przestrzennej w Europie, a dnia 14.02.2007 Parlament Europejski przyjął ją poprzez głosowanie. Umożliwiło to uruchomienie procesu tworzenia jednolitej infrastruktury danych przestrzennych, stanowiącej podstawę monitoringu i oceny stanu środowiska naturalnego, a w konsekwencji źródła informacji dla potrzeb kreowania polityki UE w tym zakresie. Celem inicjatywy INSPIRE jest zbudowanie europejskiej referencyjnej bazy danych opartej na jednolitych standardach i specyfikacjach poprzez integrację danych w określonym porządku przestrzennym (warstwy informacji przestrzennej i dane tematyczne) oraz usprawnienie zarządzania informacją pod kątem sprawozdawczości i oceny efektywności polityki ekologicznej i polityk sektorowych (rolnictwo, transport i energetyka). Podstawowe założenia INSPIRE (Internet 2008):

1. pozyskiwanie danych tylko jeden raz oraz ich przechowywanie i zarządzanie w sposób najbardziej poprawny i efektywny przez odpowiednie instytucje i służby do tego powołane;
2. zapewnienie ciągłości przestrzennej danych w celu pozyskiwania ich z różnych zasobów oraz udostępniania wielu użytkownikom do różnorodnych zastosowań;
3. przechowywanie geodanych na odpowiednim poziomie administracji publicznej i udostępnianie podmiotom na wszystkich pozostałych poziomach;
4. zapewnienie powszechnego dostępu do danych przestrzennych niezbędnych do odpowiedniego zarządzania na wszystkich poziomach administracji publicznej (bez warunków ograniczających i/lub utrudniających ich swobodne wykorzystanie), oraz
5. zapewnienie obywatelowi informacji o dostępności i jej warunkach, co pozwoli na ocenę przydatności tych danych.

Do dnia 15.05.2009 wszystkie Państwa członkowskie UE mają czas na dostosowanie i wprowadzenie w życie ustaw i przedsięwzięć koniecznych do spełnienia wytycznych Dyrektywy INSPIRE. Wszystkie systemy powinny posiadać pełną **interoperacyjność**, czyli łączenia zbiorów danych przestrzennych oraz interakcji usług danych przestrzennych, bez powtarzalnej interwencji manualnej, w taki sposób, by wynik był spójny, a wartość dodana zbiorów i usług danych przestrzennych została zwiększona. Technologię WebGIS (InternetGIS) wspierającą implementację dyrektywy INSPIRE, można definiować jako witrynę internetową (tzw. geoportal) zapewniającą dostęp za pośrednictwem Internetu lub innego odpowiedniego środka telekomunikacji m.in. do usług (Internet 2008; Iwaniak 2006):

- a) wyszukiwania zbiorów oraz usług geodanych na podstawie metadanych oraz wyświetlania ich zawartości (odpowiednio zdefiniowany profil metadanych);
- b) przeglądania, tj: wyświetlania, nawigowania, powiększania i pomniejszania, przesuwania lub nakładania zbiorów geodanych oraz wyświetlania legendy i metadanych;

c) pobierania kopii całych zbiorów geodanych lub ich części ewentualnie zapewnienie dostępu bezpośredniego;

d) przekształcania geodanych w celu osiągnięcia interoperacyjności oraz

Jedną z najczęściej stosowanych współcześnie metod udostępniania danych przestrzennych szerokiej rzeszy odbiorcom posiadającym różne uprawnienia jest technologia WebGIS (InternetGIS), często oparta na rozwiązaniach „wolnego oprogramowania” (Śliwiński i Iwaniak 2006).

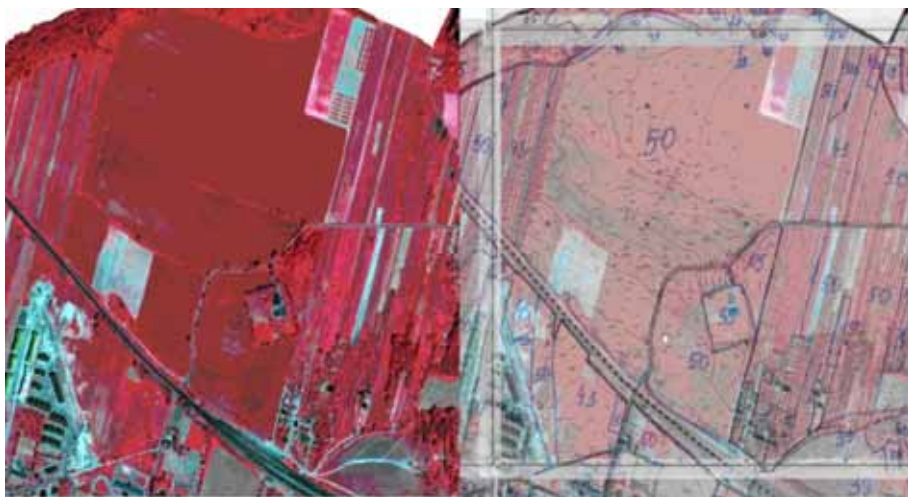
2. METODYKA

W latach 2006-2007 ProGea Consulting wykonywała pierwsze tego typu w Polsce opracowanie kartograficzne pod tytułem „Mapa roślinności rzeczywistej”. Unikatowość dotyczyła szczegółowości oraz obszaru opracowania, które swoim zasięgiem objęło granice administracyjne Krakowa (obszar około 330 km²). Kartowanie roślinności w terenie prowadzone było przez dwa sezony wegetacyjne, przez zespoły ekspertów z zakresu botaniki i fitysocjologii. Całość prac koordynowana była przez wykonawcę zamówienia tj. firmę ProGea Consulting, która zapewniła odpowiednie wsparcie logistyczne i geoinformatyczne. Dla grupy botaników pracujących w terenie, w oparciu o oprogramowanie ArcGIS (ESRI) przygotowano specjalne materiały kartograficzne, tj. arkusze map (format A4) w skali 1:5.000 zawierające informacje z mapy zasadniczej (udostępnione przez UMK). Wydrukowano je monochromatycznie na transparentnej folii, na której w dalszej kolejności w terenie wkreślano zasięgi poszczególnych kartowanych obiektów (wydzielen). W tym samym cięciu arkuszowym przygotowano wydruki ortofotomapy satelitarnej (VHRS IKONOS-2; Wężyk et al. 2006) w kompozycjach RGB oraz CIR (Rys.1) stanowiące uzupełniający podkład zawierający szeroką informację radiometryczną i geometryczną. Zespół osób kartujących otrzymał odpowiednie wsparcie w zakresie treningu fotointerpretacji obrazów RGB i CIR. Dodatkowo osoby wykonujące prace terenowe wyposażono w odbiorniki GPS kartograficzne (Trimble) i turystyczne (Garmin) dla celów nawigacji oraz określania lokalizacji stanowisk roślin chronionych i wykonywanych zdjęć fitysocjologicznych metodą Braun-Balquet’a (Dzwonko 2007). Dzięki zastosowaniu aktualnej ortofotomapy satelitarnej IKONOS (2005) zapewniono bardzo wysoką jakość pozyskiwanych granic zbiorowisk roślinnych i innych rodzajów wydzielen. Do części terenów dostęp był poważnie ograniczony bądź wręcz niemożliwy (np. tereny prywatne; obszary ogrodzone, fabryki, etc.), stąd wykorzystanie VHRS było niezmiernie utrafionym rozwiązaniem. W terenie klasyfikowano poszczególne obszary do 54 klas wydzielen zgrupowanych w obrębie:

- lasów liściastych siedlisk wilgotnych (6 klas),
- lasów liściastych siedlisk świeżych (5 klas),
- borów mieszanych (1 klasa),
- naturalnych zarośli (2 klasy),
- innych drzewostanów (3 klasy),
- roślinności wodnej i bagiennej (5 klas),
- roślinności łąk i pastwisk (15 klas),
- skał muraw i wrzosowisk (4 klasy),
- spontanicznych zbiorowisk ruderalnych (4 klasy),
- kompleksów pól uprawnych (1 klasa),
- zieleni urządzonej (6 klas) oraz

- innych (2 klasy).

Po dostarczeniu przez botaników folii ze szkicami zakodowanych odpowiednio wydzieleni, przetwarzano je (skanowanie) do obrazów cyfrowych *.TIFF, nadawano im następnie georeferencję (PUWG 1992) i poddawano wektoryzacji ekranowej (ArcGIS ESRI). W ten sposób dla obszaru opracowania powstawała warstwa wydzieleni poprawna topologicznie. W celu identyfikacji poszczególnych wydzieleni tego samego typu, przygotowano odpowiednie narzędzie (skrypt), który nadawał niepowtarzalny kod ID (np. 54_2028; 54 - typ wydzielenia, 2028 - kolejny numer w obrębie danego typu). Każde wydzielenie otrzymało także odpowiedni atrybut tzw. waloru przyrodniczego (w 5-cio stopniowej skali) opisujący stopień naturalnego zachowania badanego terenu czy też jego znaczenie jako korytarza ekologicznego. Dla części wydzieleni, podczas dwóch sezonów wegetacyjnych, wykonywano zdjęcia fitosocjologiczne, stosując metodę znaną jako Braun-Blanquet’a, opisując gatunki flory występujące w zbiorowisku, ich liczebność i sposób ich występowania (pokrywa, towarzyskość). Lokalizacje zdjęć fitosocjologicznych określano pomiarem autonomicznym GPS (odwzorowanie UTM, strefa 34N; kodowanie nazw plików z poszczególnych odbiorników zgodne z inicjałami autorów), co umożliwiło ich precyzyjne wniesienie do baz danych geometrycznych. Identyfikacja poszczególnych zdjęć fitosocjologicznych była zintegrowana numeratorem z ID wydzieleni.



Rys. 1. Kompozycja CIR ortofotomapy IKONOS-2 (z lewej) oraz fragment szkicu terenowego z zakodowanymi wydzieleniami tworzonego na arkuszu roboczym (transparentna folia; z prawej)

W analogiczny sposób lokalizowano stanowiska roślin objętych ochroną prawną. Baza atrybutowa zbiorowisk roślinnych i innych rodzajów wydzieleni powiązana w relacji do bazy geometrycznej, zawierała informacje o:

- lokalizacji rozumianej jako nazwa lokalna dzielnicy czy fragmentu miasta (np. Las Wolski) lub poprzez zdefiniowanie szerokości i długości geograficznej (WGS84);

- kolejnym numerze wydzielienia i identyfikatorze arkusza mapy z podziału sekcijnego 1:5.000 (wydzielenie mogło występować na kilku arkuszach);
- polskiej i łacińskiej nazwie zbiorowiska roślinnego lub innego rodzaju wydzielienia,
- opisie zbiorowiska i uwagach osoby kartującej,
- proponowanej formie ochrony oraz uzasadnienie waloru dla wydzieleń (lub ich części) szczególnie cennych przyrodniczo, a także
- spisie gatunków chronionych występujących w granicach kartowanego wydzielienia oraz kolejne numery zdjęć fitosocjologicznych (Rys.2).

Dla każdego wykonanego zdjęcia fitosocjologicznego oraz stanowiska rośliny chronionej została przygotowana pojedyncza tabela, która celowo nie została zaimplementowana w internetowym serwisie mapowym „Zielony Kraków”, z przyczyn ochrony stanowisk cennych gatunków flory. Dane opisowe (wydzielenia; zdjęcia fitosocjologiczne) zapisywane w terenie wprowadzane były przez osoby kartujące w jednolitym układzie, co zapewniła aplikacja udostępniona poprzez Internet na serwerze ProGea Consulting. Po wypełnieniu formularza i bazy Access dane z formatu *.mdb zostały przekonwertowane do formatu *.SQL i zaimplementowane w bazie danych MySQL.

The image shows a screenshot of a web application interface. It consists of two main panels. The left panel is titled 'Formularz dla wydzieleń - Baza danych Regionalny M. Krakowa Etap 22' and contains fields for 'Użytkownik zalogowany: 35', 'Numer arkusza 104', 'Data 2000-08-14', 'Wydzielenie z UTM', 'Lokalizacja', 'Typ', and a large text area for 'Opis'. The right panel is titled 'Formularz dla zdjęć fitosocjologicznych' and contains fields for 'Użytkownik: 35', 'Data 2000-08-14', 'Lokalizacja', 'Opis', and a table with columns 'Lokalizacja', 'Opis', and 'Data'. The table has several rows with data.

Rys.2. Formularz do wprowadzania informacji o: wydzielaniu, zdjęć fitosocjologicznych, stanowisk roślin chronionych oraz zdjęć fitosocjologicznych

3. SERWER MAPOWY UMN Mapserver

Portal „Zielony Kraków” oparto na technologii Open Source (Śliwiński, Iwaniak 2006) sprawdzonej przy wdrażaniu serwisu mapowego „Europejska Sieć Ekologiczna - Natura 2000” dla Ministerstwa Środowiska, tj. wykorzystującej takie komponenty jak: UMN Mapserver, PHP MapScript oraz MySQL. „Zielony Kraków” udostępnia dane przestrzenne składające się na opracowanie „Mapa roślinności rzeczywistej Miasta Krakowa”, ale także cały szereg innych geodanych przygotowanych w ramach innych projektów lub pochodzących z innych zasobów (MZBD czy WODGiK). Architektura i rozwiązania technologiczne aplikacji WebGIS „Zielony Kraków” w pełni zabezpieczają interoperacyjność wskazywaną przez Dyrektywę INSPIRE poprzez uruchomione serwisy: WMS (Web Map Service) oraz WFS (Web Features Service)

zgodne ze standardami OGC (Open Geospatial Consortium; Inc.). Organizacja OGC jest międzynarodową organizacją typu *non-profit*, skupiającą około 350 firm, agencji rządowych i uniwersytety, które biorą udział w tworzeniu, na zasadzie uzgodnień, publicznie dostępnych specyfikacji i interfejsów usług sieciowych związanych z informacją przestrzenną. Służy to tworzeniu interoperacyjnych rozwiązań pozwalających na wymianę informacji i współdziałanie serwisów, niezależnie od platformy, na której aplikacje zostały zaimplementowane (Internet 2008).

Aplikacja WebGIS: UMN Mapserver - jest jednym z najbardziej zaawansowanych i bardzo popularnym modulem tworzonych internetowych serwisów mapowych. Obok głównej części oprogramowania będącej aplikacją CGI serwowanej poprzez Apache Server, zaimplementowano szereg innych aplikacji współpracujących z bibliotekami GDAL, PROJ i OGR oraz bazami danych wolnego oprogramowania takimi jak MySQL. W realizacji portalu „Zielony Kraków” wykorzystano: Apache, PHP, MapServer CGI, MapScript (CSharp, Java, PHP, Python), PHP/Mapscript, Java Rosa, GD, FreeType, GDAL/OGR oraz bazę danych MySQL. Serwis został zainstalowany na platformie systemowej Linux.

Najważniejszą funkcję w procesie generowania obrazu mapy przesyłanej do użytkownika jest tzw. plik MAP, w którym zdefiniowano wszystkie warstwy tematyczne uczestniczące w tworzeniu kompozycji. Jest to jądro serwera mapowego, w którym definiowane są również serwisy WMS oraz WFS. Aby serwer poprawnie interpretował plik MAP, musi on posiadać, co najmniej jedną warstwę (LAYER), zdefiniowaną klasę dla warstwy i kilka innych parametrów. Obiekt LAYER jest najważniejszym obiektem, parametry i obiekty w nim zawarte opisują, w jaki sposób ma być on wyświetlany na mapie. Parametr NAME służy do komunikacji przeglądarki internetowej z serwerem mapowym. Na jego podstawie obiekty przestrzenne definiowane w legendzie są wyświetlane na mapie. Jeśli dana warstwa posiada tzw. obiekt METADATA możliwe jest utworzenie relacji do opisowej bazy danych MySQL, poprzez skrypty PHP. W module METADATA definiowana jest również nazwa warstwy WMS ("wms_title") oraz WFS ("wfs_title").

Prezentacja obiektów z bazy danych w serwisie „Zielony Kraków” możliwa jest w odniesieniu do warstw wektorowych:

- zbiorowisk roślinnych i innych rodzajów wydzieleń (15.993 poligonów),
- poszczególnych klas waloryzacji przyrodniczej (14.773 poligonów),
- stanowisk roślin chronionych (814 punktów);
- dzielnic miasta (18 poligonów) oraz nazw lokalnych (139 obszarów),
- rzeki Wisły i innych cieków i zbiorników wodnych;
- ulic Krakowa (6.592) oraz
- poszczególnych arkuszy sporządzonych map w skali 1:10.000 (pliki *.PDF; 99 szt.) i skali 1:5.000 (325 szt.).

Dodatkowe warstwy rastrowe tła wspomagające wizualizację Mapy roślinności pochodzą z zasobu Miejskiego Zarządu Baz Danych (postać zaskanowanych arkuszy mapy sytuacyjno-wysokościowej; rozmiar pliku: 2.52 GB) oraz WODGiK - mozaika czarno-białej lotniczej ortofotomapy Phare 2001 (rozmiar pliku: 2.02 GB) i cieniowany relief terenu na bazie NMT (rozmiar pliku: 1 GB). Są one widoczne dzięki zastosowaniu transparentcji dla warstw wektorowych (np. wydzieleń czy walorów przyrodniczych).

Użytkownik aplikacji WebGIS „Zielony Kraków” poprzez przeglądarkę internetową ma dostęp do podstawowych paneli, którymi są: Panel zarządzania, mapy, wyszukiwania oraz wyników zapytań (Rys. 3). W Panelu zarządzania można zdefiniować wielkość mapy (rozmiar w pikselach) w zależności od używanego monitora i odpowiednio modyfikować kompozycję poprzez wybór warstw i uaktywnienie ich do zapytań. Pod listą tematów znajduje się przycisk odświeżania kompozycji mapowej i trybu HTML w przypadku braku obsługi języka Java. W Panelu mapy dostępne dla użytkownika jest 5 intuicyjnych ikon: powiększania, pomniejszania skali, przesuwania kadru mapy, zadawania zapytań przestrzennych do włączonych (aktywnych) warstw i powiększania do całego zakresu. Pod kompozycją mapową znajduje się podziałka liniowa. Użycie ikony selekcji i wskazanie obszaru na mapie powoduje zadanie zapytania przestrzennego (Intersect) i wyświetlenie odpowiedzi w panelu wyników (Rys. 4). Podobne efekty można uzyskać wybierając odpowiednie atrybuty w panelu zapytań do typu wydzielania czy waloru bądź dzielnicy i arkusza mapy. Można też wybrać ulicę ze spisu i nastąpi wyświetlenie mapy do maksymalnego zasięgu geometrycznego wyselekcjonowanej ulicy. Wybierając z listy arkusz mapy, wynikiem zapytania będzie powiększenie obszaru kompozycji do wyselekcjonowanego arkusza oraz wygenerowanie linków do plików PDF oraz KMZ (Google Earth) w panelu wyników (Rys. 4).



Rys. 3. Widok poszczególnych paneli aplikacji internetowej „Zielony Kraków” prezentującej „Mapę roślinności Miasta Krakowa”

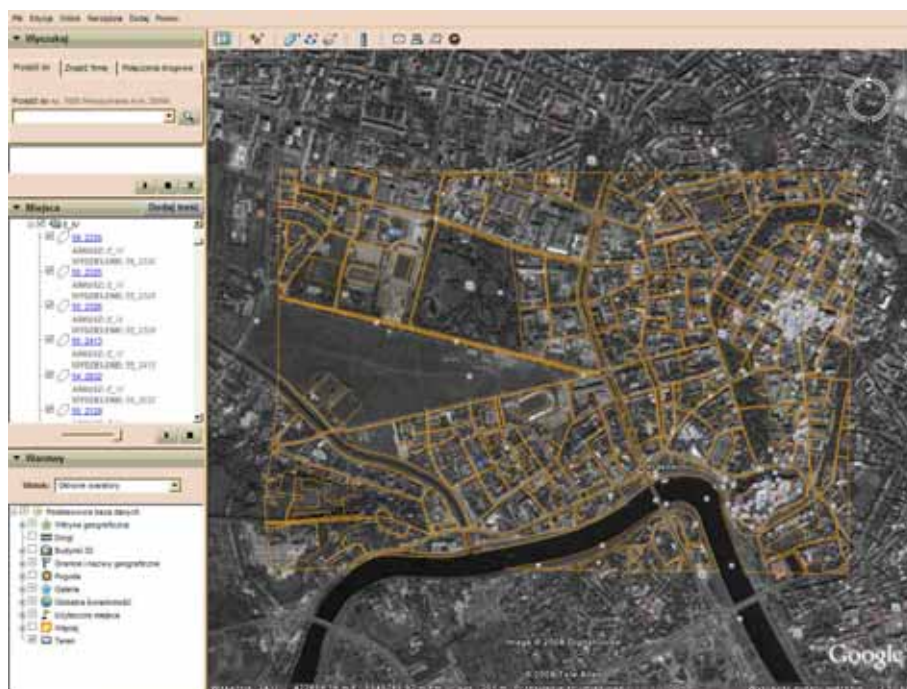


Rys. 4. Wyniki zapytania (czerwone poligony) do bazy danych na podstawie wyboru typu wydzielenia: Łęg jesionowo-olszowy

Baza danych MySQL zmodyfikowana dla potrzeb serwisu zawiera 7 tabel z łączną liczbą 35.905 rekordów. Dla warstwy ulic Krakowa stworzono specjalną tabelę, w której znajdują się atrybuty zakresu współrzędnych maksymalnego zasięgu, co umożliwia sprawne ich wskazanie bez potrzeby udostępniania warstwy wektorowej (nie została przekazana przez UM Krakowa). Nazwy ulic na kompozycji mapowej są generowane jako opisy (ang. annotation). W skład tzw. multimediiów zaliczyć można: 144 zdjęć cyfrowych poszczególnych typów wydzieleni, 101 plików PDF (kompozycje mapowe) oraz 97 plików KMZ (Rys. 5).

4. PODSUMOWANIE

Od momentu przekazania opracowania analogowego oraz wersji cyfrowej „Mapy roślinności rzeczywistej Krakowa” do Zamawiającego (UM Kraków), jest ona obiektem dużego zainteresowania deweloperów i organizacji pozarządowych a także zwykłych obywateli zainteresowanych stanem zieleni swego miasta. Wynika to głównie z faktu uwzględniania informacji o skartowanych zbiorowiskach roślinnych i roślinach podlegających ochronie prawnej (ściśła i częściowa ochrona) na etapie analizowania wniosku o określenie warunków zabudowy i zagospodarowania terenu (popularnie zwane „wuzetką”).



Rys. 5. Plik KMZ mapy roślinności rzeczywistej wyświetlony w przeglądarce Google Earth

Otwarcie się Urzędu Miasta Krakowa poprzez serwis WebGIS w kierunku społeczności Internetu jest niezmiernie ważnym krokiem milowym w procesie implementacji Dyrektywy INSPIRE w Polsce. Potwierdzać to także może fakt gotowości systemu do prezentacji geodanych zgodnie z zaleceniami dyrektywy i standardów OGC, tj., uruchomienia serwisów WMS i WFS.

W fazie testowej przeprowadzono testy interoperacyjności z oprogramowaniem ArcGIS (ESRI) oraz Quantum GIS i innymi (np. Google Earth) co potwierdziło, iż UMN Mapserver w pełni spełnia te standardy OGC.

5. LITERATURA

Abratowski A., Świąder A., Wężyk P., Weihs E. 2005. Baza danych INFOOS – przykład wykorzystania technologii XML w procesie dostępu do informacji o środowisku. *W: Oceny oddziaływania na środowisko na szczeblu krajowym i regionalnym. Instrumenty Zarządzania Ochroną Środowiska*. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, s. 477-484

Dzwonko Z., 2007. Przewodnik do badań fitosocjologicznych. Seria Vademecum Geobotanicum. Sorus. Instytut Botaniki UJ, Poznań-Kraków, 307 ss.

Gaździcki J., 2007. Aktualne problemy polityki geoinformacyjnej państwa w kontekście INSPIRE. *Roczniki Geomatyki*. Tom V. Zeszyt 6, s. 33-61.

Internet 2008. Lokalizacja <http://inspire.jrc.ec.europa.eu/> (pobrano 01.09.2008)

Iwaniak A., 2006. Infrastruktura danych przestrzennych inaczej - system metadanych dla PZDGiK. *Magazyn Geoinformacyjny Geodeta*, nr 1, s. 39-43.

Śliwiński A., Iwaniak A., 2006. Infrastruktura danych przestrzennych inaczej - wolny software. *Magazyn Geoinformacyjny Geodeta*, nr 7, s. 39-42.

Świąder A., Wężyk P., Wańczyk R., 2005. Technologie geoinformatyczne w realizacji dyrektyw i konwencji UE w zakresie informacji o środowisku. *Roczniki Geomatyki*. Tom III. Zeszyt 1, s. 185-192

Weihs E., Wężyk P. 2003. Web services: INFOOS for supporting the public administration with regard to Environmental Impact Assessment (EIA) in Poland within the scope of the EU Directive and Aarhus Convention. In: *Instrumenty Zarządzania Ochroną Środowiska. Problematyka ocen środowiskowych w przededniu wstąpienia Polski do Unii Europejskiej*. s. 147-157.

Wężyk P., Kozioł K., Świąder A., 2004. Integracja internetowych serwisów mapowych z bazami danych na przykładzie prezentacji geodanych obszaru Puszczy Niepołomickiej oraz Krakowa. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji. Fotogrametria, Teledetekcja i GIS w świetle Kongresu ISPRS*. Vol. 14. s. 539.

Wężyk P., Pyka K., Jędrzychowski I., 2006. Wpływ jakości numerycznego modelu terenu na wynik ortorektyfikacji wysokorozdzielczych obrazów satelitarnych Ikonos-2. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji. Fotogrametria, Teledetekcja i GIS w świetle Kongresu ISPRS*. Vol.16.

Wężyk P., Świąder A., 2003. Image Web Server – platforma udostępniania ortofotomap cyfrowych poprzez Internet. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*. Vol.13 B.

IMPLEMENTATION OF THE INSPIRE DIRECTIVE, AS EXEMPLIFIED BY THE “VEGETATION MAP OF CRACOW” WEBGIS SERVICE

KEY WORDS: WebGIS, INSPIRE, UMN MapServer, Vegetation map of Cracow

Summary

The EU member countries' information society is a society in which the creation, distribution, dissemination, use, integration, and manipulation of information is an important economic, political, and cultural activity. Its economic counterpart is the knowledge-based economy, whereby wealth is created through economic exploitation of knowledge. The 2007/2/EC Directive 14 March 2007, adopted by the European Parliament and the European Council provides an opportunity to establish an Infrastructure for Spatial Information in the European Community (INSPIRE). The “Green Cracow” WebGIS portal is a result of a two-year interdisciplinary project “Vegetation map of the City of Cracow”. The geoinformation (GI) technology used in the project included: UMN MapServer, PHP MapScript, and the MySQL data base. Two services, WMS and WFS, involved in running of the “Green City” application corresponded with the Open Geospatial Consortium (OGC). Additionally, the following components were used to construct the whole WebGIS application: Apache ver. 2.2.9, PHP ver. 5.2.6, MapServer 5.2.0 CGI, MapScript (CSharp, Java, PHP, and Python), PHP/MapScript 5.2.0, Java Rosa 1.5.0, GD 2.0.35, FreeType 2.1.10, GDAL/OGRE 1.5.2, and MySQL 5.0.67. The Internet client can access 8 different information layers: community type (54 classes; 15,993 polygons); valuation of natural qualities of the communities (5 classes; 14,773 polygons); protected plant stands (814 locations\points); city districts (18 polygons); local names (139 polygons), streets (6,592 lines); water (lines and polygons); and 1:10,000 and 1:5,000 map sheets (99 and 325 polygons, respectively). Raster layers including the cadastre map, aerial orthophotomap, and hillshade provided a backdrop to the vector geodata information and were used to power the visualisation of the UMN MapServer application. The data base with multimedia files contain 144 digital images of selected plant communities, 101 PDF files of map sets, and 97 KMZ files to be downloaded and directly integrated with the Google Earth application containing the QuickBird images for the Cracow area of May 2007. Installation of the “Green City” WebGIS application based on the Open source modules on the Cracow Municipality servers is a very important milestone achieved by the public administration units responsible for implementation of INSPIRE.

dr inż. Piotr Wężyk
e-mail: rlwezyk@cyf-kr.edu.pl
tel.: +48 (0) 12 662 50 82
faks.: +48 (0) 12 662 50 82

mgr inż. Robert Wańczyk
e-mail: office@progea.pl
tel: +48 (0) 12 415 06 41
www.progea.pl

MODELOWANIE CHMURY PUNKTÓW ZE SKANINGU LASEROWEGO W OBSZARZE KORON DRZEW

THE LIDAR POINT CLOUD DATA-BASED FOREST CANOPY MODELLING

Piotr Wężyk

Laboratorium GIS i Teledetekcji, Katedra Ekologii Lasu, Wydział Leśny,
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

SŁOWA KLUCZOWE: lotniczy skaningu laserowy (ALS), inwentaryzacja lasu, wysokość drzewa, podstawa korony, powierzchnia i objętość warstwy koron.

STRESZCZENIE: Celem pracy było określenie przydatności i zaproponowanie rozwiązań automatyzacji procesu określania wybranych parametrów taksacyjnych drzewostanów związanych z koronami drzew, w oparciu o dane z lotniczego skaningu laserowego (ALS). Analiza przydatności danych ALS bazuje na pomiarach referencyjnych 432 sosen w obszarze badawczym Miłicz (RDLP Wrocław). Osiągnięte wyniki wskazują, iż: (1) wysokość pojedynczych drzew określona na podstawie modelowanej chmury punktów ALS w zależności od użytego algorytmu, prowadzi do niewielkiego zaniżenia wartości (średnia różnica -0.90 m CHM1 lub -0.12 m CHM2); (2) średnia wysokość analizowanych drzewostanów na powierzchniach kołowych określana na podstawie ALS, była wyższa (+0.85 m) od wartości zapisanych w bazie danych SILP (2005) co w efekcie prowadzić może do zaniżenia zasobności drzewostanów w całym obrębie; (3) automatycznie analizowana średnia wysokość drzewostanów sosnowych (95 centyl FE) była wyższa o +0.46 m w stosunku do danych z SILP; (4) automatycznie określona podstawa korony sosny wykazuje błąd zaledwie około 0.56 m; (5) analiza histogramów chmury punktów umożliwiła określenie długości korony z przeszacowaniem o +0.44 m w stosunku do danych referencyjnych; (6) modelowanie warstwy koron otwiera dyskusje na temat homogeniczności jednodrzewowych i jednogatunkowych pododdziałów oraz istniejącego podziału przestrzennego. Nowa metoda inwentaryzacji leśnej bazująca na technologii pozyskiwania danych ALS i modelowaniu chmury punktów ma duże szanse na wdrożenie w lasach Polski o powinno przynieść ze sobą wzrost dokładności jak i obniżyć koszty prac urządzeniowych.

1. WPROWADZENIE

Wysokość drzewa określana na powierzchni kołowej służącej celom inwentaryzacji lasu a tym samym poznanie tej wartości i jej rozkładu przestrzennego jest jednym z najbardziej istotnych parametrów opisujących drzewostan. Określanie miąższości pojedynczych drzew i całych drzewostanów opiera się na wzorach wykorzystujących właśnie wysokość i średnicę drzewa, stąd dokładność szacowania zapasu drewna jest wprost powiązana z jakością informacji o tych zmiennych. W lasach gospodarczych, szczególnie w jednogatunkowych drzewostanach iglastych odnawianych sztucznie z jednolitego materiału genetycznego, wysokości drzew nie powinny różnić się znacznie od siebie przy założeniu występowania jednakowych warunków siedliskowych i prowadzenia identycznych zabiegów hodowlanych (np. nawożenie, trzebieże). Pomiar

wysokości drzew wykonywany tradycyjnie wysokościomierzem (nawet elektronicznym), obarczony jest błędem instrumentu oraz subiektywizmem wskazania przez operatora wierzchołka drzewa, co w niektórych sytuacjach (duże zwarcie, wietrzna pogoda, pochylenie drzewa) powoduje powstawanie dużych błędów. Pomiar wysokości drzew jest przede wszystkim niezmiennie czasochłonny przez co możliwy jedynie dla niewielkiej, losowo wybranej liczby drzew reprezentującej drzewostan. Inne metody pomiarowe jak fotogrametria lotnicza, znane są od wielu dziesiątków lat ale dotychczas kojarzono je z wysoką pracochłonnością pozyskania danych i ich opracowania. Obecnie metody te stają się jednak coraz bardziej interesujące ze względu na technologię lotniczych kamer cyfrowych i procesu automatycznego spasowania obrazów (ang. *stereomatching*; Baltasvicius et al. 2008) prowadzącego do generowania dokładnych modeli powierzchni koron (*DSM*; *CHM* – *Crown Height Model*). Inne technologie z zakresu technik aktywnych, takich jak: radar czy LiDAR (*Light Detection and Ranging*) oferują od kilku lat praktyce leśnej zupełnie nowe podejście do pomiarów wybranych parametrów taksacyjnych i to nie tylko ograniczonych do powierzchni kołowych, na których leśnicy zwykli opisywać cały drzewostan. Dotychczasowe badania nad oceną dokładności laserowego skaningu lotniczego koncentrowały się generalnie na powierzchniach kołowych (*plot level*) jako danych referencyjnych (Means et al. 2000) choć czasami dotyczyły pojedynczych drzew (*tree level*) (Hyypä et al. 2004). Pomiar wysokości drzewostanu za pomocą lotniczego skaningu laserowego był już przedmiotem badań wielu autorów (Næsset 1997, Popescu et al. 2003a, Næsset 2004, Kwak et al. 2007). Lotniczy skaningu laserowy wykorzystywany także bywa do określania innych parametrów drzew, takich jak: wysokość podstawy korony (Næsset & Økland 2002, Hall et al. 2005, Popescu i Zhao 2008), długość korony (Næsset & Økland 2002, Maltamo et al. 2006), średnica korony (Popescu et al. 2003b), zagęszczenie pni w drzewostanie (Riaño et al. 2003), biomasa (Lim & Treitz 2004, Popescu 2007) czy miąższość (Næsset 2004, Hollaus et al. 2007). Celem prezentowanej pracy było przedstawienie możliwości wykorzystania technologii lotniczego skaningu laserowego w procesie automatyzowanego pozyskiwania wybranych parametrów taksacyjnych drzewostanów sosnowych.

2. TEREN BADAŃ

Obiektem testowym były drzewostany nadleśnictwa Milicz (RDLP Wrocław; 51°27' N; 17°12' E), na których od kilku lat prowadzone są badania finansowane przez DGLP a koordynowane przez SGGW w Warszawie nad integracją technologii geomatycznych w zakresie ich wykorzystania w gospodarce leśnej. W pracy prezentowane są wyniki badań uzyskane na podstawie 21 powierzchni kołowych założonych w drzewostanach sosnowych (*Pinus silvatica* L). W zależności od wieku drzewostanu powierzchnie miały różną wielkość, tj.: od 50 m² (26 lat) do 500 m² (powyżej 100 lat).

3. METODYKA

3.1. Dane referencyjne

Dane referencyjne wykorzystane w pracy pochodziły z kilku źródeł. Jedno z nich najczęściej przywoływane nazwano Forest inv., gdyż pomiar ten został wykonany zgodnie z Instrukcją Urządzania Lasu (IUL PGLP 2003) w 2006 roku na 30 powierzchniach kołowych w Miliczu, dostarczając takich parametrów jak: gatunek drzewa, średnica pnia (DBH) na wysokości 1.3m od gruntu, wysokość drzewa, długość korony, współrzędne korony (rzut korony na 8 kierunkach), współrzędne pni i środka korony z pomiaru biegunowego. Wysokość drzew określana była przy wykorzystaniu wysokościomierza Vertex III (Haglöf) z nominalną dokładnością 0.1 m. Inny zestaw danych referencyjnych stanowiła baza danych SILP\LAS wypełniona atrybutami w 2005 roku, kiedy wykonywany był standardowy plan urządzania lasu i przeprowadzono pomiary inwentaryzacyjne. Identyfikacja pojedynczych koron drzew podczas analizy ALS była możliwa dzięki naziemnym pomiarom biegunowym ze środków powierzchni, których lokalizację wyznaczono pomiarem dGPS (Trimble Pathfinder ProXRS) z wykorzystaniem stacji bazowej we Wrocławiu (ASG-PL). Trzeci zestaw danych referencyjnych stanowiły pomiary wykonywane technologią naziemnego skaningu laserowego w 2006 i 2007 roku (Wężyk et al. 2007).

3.2. Dane ALS

Nalot, podczas którego pozyskano dane ALS, zrealizowano w lipcu 2007 wykorzystując technologię firmy TopoSys (Falcon II) tj., skaner typu światłowodowego (*glas fiber*) z mimośrodowym przesunięciem wysyłanego sygnału (*swing mode*). Dane pozyskiwano z wysokości względnej około 550 metrów. Średnia gęstość punktów osiągnęła ok. 14 m^{-2} ($9 \div 18$). Pojedyncze skany (szeregi nalotu) dostarczono jako dane typu RAW w formacie ASCII z podziałem na pierwsze (FE) oraz ostatnie (LE) odbicie sygnału lasera.

3.5. Oprogramowanie i oprzyrządowanie

W projekcie wykorzystywano oprogramowanie Terrascan i Terramodeler (Terrasolid Ltd.) do przetwarzania i klasyfikacji chmury punktów, natomiast do uzyskania poszczególnych wskaźników dla warstwy koron drzew (tzw. *canopy metrics*) - pakiet programów FUSION (McGaughey 2007) oraz LASEdit (Cloud Peak) przy kontroli poprawności plików w formacie *.LAS. Oprogramowanie ArcViewGIS 9.1 (ESRI) stosowano do analiz przestrzennych GIS a Statistica 8.0 (StatSoft Inc.) w analizie regresji i do przeprowadzenia testów istotności.

3.6. Przygotowanie danych ALS do automatycznego modelowania wysokości

Modele NMT (*DTM*) oraz NMPT (*DSM*) generowano z danych RAW (ASCII) ograniczonych do obszarów analizowanych wydzielen leśnych (osobno FE oraz LE). W tym celu użyto wektora Leśnej Mapy Numerycznej (LMN), który jednak musiano zmodyfikować w oparciu o model DSM i tzw. *true ortho* wygenerowane w oparciu o obraz ze skanera linijkowego (piksel 25cm; CIR) z sytemu FALCON. Dane ALS

przekonwertowano do formatu *.LAS (binarny format wymiany danych ASPRS) z zachowaniem informacji o kolejności odbicia (*return number*) i dalej do formatu *.LDA w celu przeprowadzenia analiz nad wskaźnikami dla warstwy koron drzew. Wszystkie dane jakie przetwarzano w projekcie zostały przetransformowane do układu współrzędnych PUWG 1992. Chmura punktów została poddana normalizacji i modelowaniu do znormalizowanego NMPT (ang. *nDSM*; w przypadku koron nazywany Crown Height Model = CHM). Model terenu w tworzony był automatycznie w oprogramowaniu Terrasolid oraz FUSION (McGaughey 2007) wykorzystując algorytmy opisane przez Kraus i Pfeifer (1998). Model CHM był zapisywany do formatu *.dtm (McGaughey 2007). W celu zautomatyzowania określania parametru wysokości całych drzewostanów wykorzystano 95 percentyl FE.

3.7. Automatyczne określanie podstawy korony sosny i jej długości w oparciu o histogram ALS

Na podstawie histogramów ilości punktów ALS w warstwach o grubości 0.5m dokonano oceny położenia podstawy korony pojedynczych sosen oraz dla całego wydzielenia. Długość korony drzewa jest definiowana jako odległość pomiędzy wierzchołkiem a podstawą korony. O ile sprawa położenia wierzchołka nie stanowi większego problemu to, wskazanie podstawy korony obarczone jest dużym subiektywizmem.

3.6. Modelowanie powierzchni koron – wysokości pojedynczych drzew.

Modelowanie powierzchni tworzonej przez korony sosen (ang. *forest canopy*) doprowadziło do powstania dwóch różnych powierzchni, tj.: CHM1 oraz CHM2 zapisanych do formatu *.dtm. Modele różnią się parametrami algorytmu filtrującego odpowiedzialnego za wygładzanie tworzonych powierzchni. Model koron CHM1 wygenerowano bez opcji uwzględniania lokalnych minimów i maksimów w chmurze punktów, w dodatku w opcji dwóch filtrów wygładzających. Model CHM2 generowano w opcji z uwzględnianiem lokalnych maksimów i minimów w celu bardziej realistycznej wizualizacji drzewostanów.

3.7. Obrys koron drzew

Bardziej szczegółowe i poprawne geometrycznie kontury koron niż te pochodzące z prac terenowych (Forest inv.), otrzymano na drodze przetwarzania danych naziemnego skaningu laserowego (ang. *Terrestrial Laser Scanning* = TLS. Wykorzystano je w analizach określania gęstości punktów w koronach poszczególnych drzew jak również najwyższej położonego punktu korony (maxPointZ). W ten sam sposób określono podstawę korony drzewa na drodze analizy histogramów tworzonych z chmury ALS wycinanej pojedynczymi konturami koron pochodzącymi z TLS. Sposób ten wymagał zintegrowania TLS oraz ALS co udało się przeprowadzić na drodze manualnej.

4. WYNIKI

3.2. Wysokość drzew

W pierwszej kolejności wyniki pomiaru wysokości otrzymane różnymi metodami (SILP, Forest Inv., TLS, CHM1 oraz CHM2) poddano statystycznej analizie wariancji. Sprawdzono rozkłady normalności testami nieparametrycznymi (test Friedmana, ANOVA dla wielu zmiennych oraz test Wilcozona dla porównania dwóch). Analizując wszystkie sosny (bez podziału na klasy wieku) stwierdzono pojawianie się wysokich oraz wysoce istotnych różnic w przypadku porównywania grup metod: tradycyjnego pomiaru hipsometrem (Forest Inv. 2006) oraz metodami TLS i ALS (CHM1 oraz CHM2) jak również SILP oraz CHM2 (Tabela 1).

Tabela 1. Statystyki wysokości drzew (h_i) określonej na podstawie wybranych źródeł danych. (**) – wysoce istotne różnice; $p < 0.01$; (*) – istotne różnice, $0.01 < p < 0.05$; (n) – brak istotności; razem 432 drzew

		F. INV	SILP	TLS	CHM1	CHM2
F. INV	średnia różnica [m]		-1.14 (**)	-0.98 (**)	-0.90 (**)	-0.12 (n)
	R^2		0.73	0.81	0.81	0.80
	odch. std. dla różnicy		2.15	2.18	1.77	1.81
SILP	średnia różnica [m]			0.02 (n)	0.13 (n)	0.85 (*)
	R^2			0.96	0.96	0.95
	odch. std. dla różnicy			1.01	0.94	1.02
TLS	średnia różnica [m]				0.08 (n)	0.83 (**)
	R^2				0.95	0.94
	odch. std. dla różnicy				0.86	0.94
CHM1	średnia różnica [m]					0.75 (**)
	R^2					0.98
	odch. std. od średniej					0.58

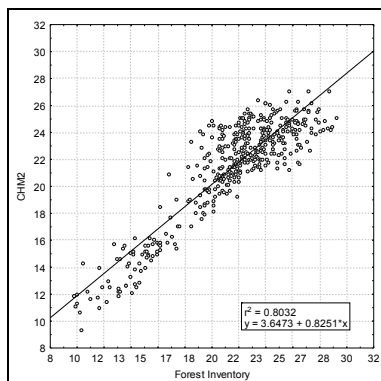
W przypadku porównywania tradycyjnych metod pomiarowych (Forest inv. - Vertex; Haglöf) z technologią ALS zaobserwowano pewien wyraźny trend. Rysunek 1 oraz Tabela 2 jasno dokumentują, iż metoda ALS (CHM1 oraz CHM2) pomiaru wysokości pojedynczych drzew prowadzi do zaniżania wartości tej zmiennej o około -0.90 m (SD=1.77 m) w przypadku wymodelowanej powierzchni CHM1 oraz -0.12 m (SD=1.81 m) w przypadku powierzchni CHM2. Różnica pomiędzy dwoma powierzchniami CHM2 i CHM1 wyniosła średnio w przypadku wszystkich analizowanych drzew około 0.75m przy czym CHM2 generowana w opcji uwzględniania lokalnych maksimów i minimów miała wyższe bardziej zbliżone do referencji wartości. Dodatkowo przeprowadzono analizę na zestawie punktów pierwszego odbicia (FE) w celu określenie rzeczywistych najwyższych punktów w chmurze ALS, która wyraźnie potwierdziła, iż powierzchnia CHM2 była bliżej do najwyższego punktu (+0.20 m) niż CHM1 (-0.50 m). Średnia wysokość sosen odczytana na podstawie bazy danych SILP (2005) była niższa średnio o 1.14m niż wartości zmierzone podczas prac terenowych w 2006 roku (Forest inv.), co może wskazywać na niedokładność wcześniejszych pomiarów terenowych (lokalizacja miejsc pomiarów w roku 2005 nie jest znana). Średni roczny przyrost wysokości wyniósł około 0.15÷0.20 m więc nie jest to jedyny powód niezgodności tych dwóch pomiarów. Średnia

różnica pomiędzy pomiarami z 2006 roku (Forest inv.) a wynikami TLS (2006) wskazuje na niedoszacowanie przez naziemny skaningu laserowego wartości wysokości (-0.98 m) zakładając oczywiście całkowitą poprawność danych uzyskanych wysokościomierzem. Kluczowym w procesie określania wysokości metodami ALS, wydaje się być dobór algorytmu do generowania NMT. W przypadku występującego gęstego podrostu czy podszytu lub też niewielkiej ilości punktów (LE) na gruncie ze względu na bardzo gęste sklepienie, może mieć miejsce błędne generowanie DTM a tym samym niedoszacowanie wysokości drzewa (Pyysalo 1999). Drugi ważny moment wiąże się z generowaniem powierzchni koron (CHM). Wynik porównania najwyższego punktu z chmury ALS wskazuje, iż CHM2 lepiej aproksymuje model powierzchni koron (-0.12 m) co oczywiście skutkuje też większymi różnicami z wartościami SILP (+0.85 m; $R^2=0.95$; SD= 1.02 m; Tabela 1). Przeprowadzona analiza regresji dla wszystkich par metod pomiarowych wykazała, iż najniższa wartość współczynnika determinacji ($R^2=0.73$) została wykazana dla zmiennych: SILP\Forest Inv. Zadawalająco bardzo wysokie wskaźniki $R^2=0.95$ uzyskano w analizie regresji obu zmiennych CHM1 i CHM2 w stosunku do zmiennej wyjaśniającej SILP (2005). Porównując wyniki otrzymane dla obiektu Milicz nie zauważono dużych różnic w stosunku do rezultatów prac innych autorów, którzy w większości przypadków wykazują wartości niedoszacowania wysokości przez ALS (Hyypä et al. 2004, Maltamo et al. 2004, Rönnholm et al. 2004, Yu et al. 2004, Andersen and Breidenbach 2007) lub zbliżone do danych referencyjnych (Næsset 2004). Tylko wyniki osiągnięte przez Næsset oraz Økland (2002) a także McGaughey et al. (2004), wskazują na niewielkie przeszacowanie przez ALS w stosunku do danych referencyjnych (odpowiednio +0.18 m oraz +0.29 m).

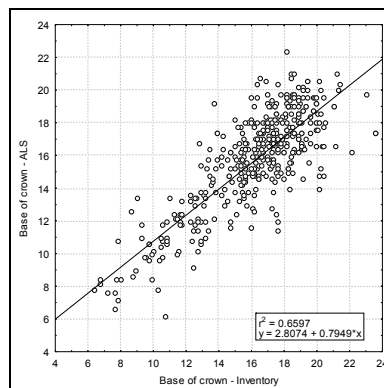
3.3. Podstawa i długość korony (L)

Średnia różnica w określaniu podstaw koron drzew pomiędzy metodą ALS a referencyjnym Forest inv. wyniosła +0.87 m, co wskazuje niedoszacowanie przez skaningu lotniczy odczytu podstawy korony (SD=1.5 m). Analiza histogramów dla przykładowego wydzielienia 214c (19.89 ha) wykazała, iż 82,30 % punktów (z ponad 2.5 mln w tym wydzieleniu) pozostaje w warstwie koron (81,8% FE; 82,9 % LE) a do gruntu dochodzi jedynie 12,5% wszystkich impulsów (12,3% FE; 12,8% LE). Analiza regresji (Rys.1; $R^2=0,66$) wskazuje na możliwość skonstruowania odpowiedniego wzoru do skorygowania odczytu podstawy korony z chmury punktów ALS, co pozwoliło by na bardziej precyzyjne szacowanie takich parametrów jak długość korony, biomasa korony, etc. Przyczyną problemu nieprawidłowego określenia podstawy korony może być wiele, a zaliczyć do nich można przede wszystkim: zwarcie, stan aparatu asymilacyjnego a także występowanie na pniach martwych gałęzi (Chasmer et al. 2006). Poza tym powierzchnie kołowe nie necessarily muszą idealnie reprezentować cały drzewostan co świadczyłoby o subiektywności procesu ich wyboru. Zagadnienie określania wysokości podstawy korony było również przedmiotem badań Næsset i Økland (2002), Hall et al. (2005) oraz Popescu i Zhao (2008). Autorzy ci otrzymali zbliżone współczynniki R^2 w analizie regresji wynoszące odpowiednio: 0.53, 0.80 oraz 0.79. Natomiast Chasmer et al. (2006) w swych badaniach stwierdzili zawyżanie wysokości podstawy korony średnio o 1.4 m. Na dokładność określenia długości korony prawdopodobnie w większym stopniu wpływa błąd położenia podstawy korony niż szacowania wysokości (H) drzewa. Średnia różnica długości koron określana automatyczną metodą dla pojedynczych koron drzew w porównaniu z danymi referencyjnymi (Forest inv.) wyniosła +0.40 m, co oznaczać może generalnie przeszacowanie dla metody ALS. Dla młodszych

drzewostanów (<80 lat) różnica w długości korony dla analizowanych wydzieleń wyniosła zaledwie 0.05m za to w starszych (>80 lat) aż 1.34 m. Analiza regresji wykazała wartość współczynnika $R^2=0.66$ dla równania opisującego długość korony określaną z ALS w porównaniu do tradycyjnych naziemnych metod stosowanych przez urządzenie lasu (Rys.2). Podobną dokładność dla długości koron uzyskał w swych badaniach Næsset i Økland (2002), którzy dla równia regresji liniowej otrzymali wartość współczynnika $R^2=0.51$.



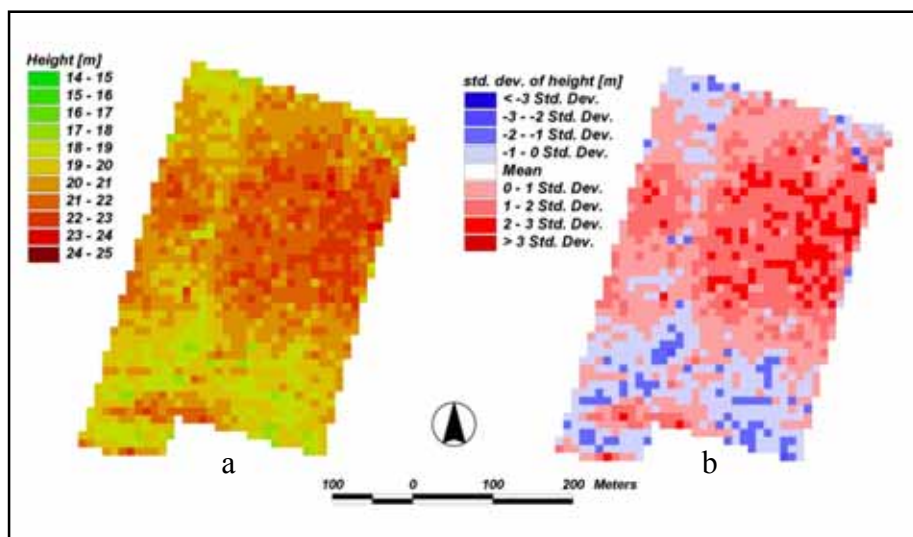
Rys. 1. Analiza regresji wysokości sosen (h_s) określanej w terenie (Forest inv.) w stosunku do zmiennej wyjaśnianej CHM2 (ALS)



Rys. 2. Wykres regresji liniowej dla podstawy korony sosny określanej na podstawie ALS (referencja = Forest inv. 2006)

3.4. Homogeniczność wysokości w drzewostanie

Średnia wysokość drzewostanów w analizowanych wydzieleniach określona na podstawie 95% percentyla bazującego na chmurze punktów ALS (tylko FE) różni się od pochodzącej z baz SILP (2005 rok o +0.47 m; SD=0.60). Różnica wysokości pomiędzy wartością średnią dla pododdziału a średnią z powierzchni kołowych wyniosła -0.37 m (SD=0.95). Rozkład przestrzenny wysokości w przykładowym drzewostanie 232b drzewostanie zaprezentowano na Rysunku 3 (H średnia = 20.96). Jest rzeczą znaną, iż cecha pierśnica (BHD) określana dla całego drzewostanu ma charakter rozkładu normalnego i podobnie rzecz ma się z mocno skorelowaną wysokością drzew, tyle że w wielu przypadkach jej rozkład wskazuje na dużą niehomogeniczność przestrzenną (lokalizację). Taka sytuacja ma miejsce pomimo jednowiekowego i jednogatunkowego charakteru drzewostanu nawet przy identycznych warunkach siedliska. Wynika to ze zmienności osobniczej, mikrosiedliska (substancji odżywczych, wilgotności), obecności luk, ilości energii słonecznej docierającej do korony i gleby, wnikania wiatru, deszczu, immisji itp.



Rys. 3. Wysokość drzewostanu (a) oraz odchylenie standardowe (b) od średniej w pododdziale 232b

5. WNIOSKI

Prezentowane badania poruszyły wiele istotnych pytań co do przyszłości stosowanych obecnie metod oraz możliwości wdrażania nowych opartych o technologie lotniczego skaningu laserowego (ALS). Podważyły tym samym w pewnym stopniu uznawanie dotychczasowych tradycyjnych metod inwentaryzacji lasu jako jedynych prawdziwych danych referencyjnych. Poszukując alternatyw do obecnych rozwiązań trzeba mieć na uwadze, iż tradycyjne metody są niezmiernie czasochłonne i stosunkowo subiektywne (np. wysokości). Technologia ALS po raz pierwszy oferuje leśnikom możliwości automatycznego określania wysokości drzew (oraz innych wybranych cech taksacyjnych) nie tylko w obrębie niewielkiej powierzchni kołowej ale w całym wydzieleniu. Osiągnięte w pracy wyniki wskazują iż:

- wysokość pojedynczych drzew określona na podstawie modelowanej chmury punktów ALS prowadzi to stosunkowo niewielkiego zaniżenia tej wartości (średnia różnica -0.90 m lub -0.12 m w zależności od algorytmu użytego do jego generowania);
- średnia wysokość drzewostanu określana na podstawie zNMPT była wyższa (+0.85 m) od wartości odczytanej z bazy danych SILP, co może prowadzić do stałego zaniżania zasobności drzewostanów w całym obrębie Milicz;
- średnia wysokość automatycznie analizowanych drzewostanów sosnowych (jako 95% percentyl z FE) była przewyższała o +0.46 m dane z baz SILP\LAS;
- przy automatycznie określonej podstawie korony sosny należy liczyć się z błędem przeszacowania około 0.56 m;
- analiza histogramów chmury punktów umożliwiła określenie długości korony (L) z przeszacowaniem około +0.44 m w stosunku do danych referencyjnych, oraz

- modelowanie warstwy koron otwiera dyskusje na temat rzeczywistej homogeniczności jednowiekowych i jednogatunkowych pododdziałów oraz związanego z nią istniejącego podziału przestrzennego.

Należy przewidywać, iż w niedalekiej przyszłości z pewnością zostanie wdrożona nowa metoda inwentaryzacji lasu bazująca na automatycznych metodach modelowania chmury punktów ALS, a wraz z nimi pojawią się zupełnie nowe parametry opisujące przestrzeń 3D obszarów leśnych. Technologia ta poza wzrostem dokładności i obiektywności pozyskiwanych danych, jak również ich powtarzalności przyniesie także obniżenie kosztów metod tradycyjnych i znacznie skróci czas wykonywania opracowań.

6. LITERATURA

Andersen H.-E., Breidenbach J., 2007. Statistical properties of mean stand biomass estimators in a lidar-based double sampling forest survey design. Rönnholm P., Hyypä H. i Hyypä J. (eds.): *ISPRS Workshop on Laser Scanning 2007 and SilviLaser 2007*. Espoo, Finland. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. XXXVI, Part 3 / W52.

Andersen H. E., Reutebuch S. E., Mcgaughey R. J., 2006. A rigorous assessment of tree height measurements obtained using airborne lidar and conventional field methods. *Canadian Journal of Remote Sensing*, Vol: 32 (5), 355-366.

Avery T. E., Burkhardt H. E., 2002. Forest measurements. McGraw-Hill.

Chasmer L., Hopkinson C., Treitz P., 2006. Investigating laser pulse penetration through a conifer canopy by integrating airborne and terrestrial lidar. *Canadian Journal of Remote Sensing*, Vol: 32 (1-2), 116-125.

Hall S. A., Burke I. C., Box D. O., Kaufmann M. R., Stoker J. M., 2005. Estimating stand structure using discrete-return lidar: An example from low density, fire prone ponderosa pine forests. *Forest Ecology and Management*, Vol: 208 (1-3), 189-209.

Hollaus M., Wagner W., Maier B. & Schadauer K., 2007. Airborne laser scanning of forest stem volume in a mountainous environment. *Sensors*, Vol: 7 (8), 1559-1577.

Hyypä J., Hyypä H., Litkey P., Yu X., Haggrén H., Rönnholm P., Pyysalo U., Pitkanen J. & Maltamo M., 2004. Algorithms and methods of airborne laser-scanning for forest measurements. Thies M., Koch B., Spiecker H. i Weinacker H. (eds.): *Laser-Scanners for Forest and Landscape Assessment: Proceedings of the ISPRS Working Group VIII/2*. Freiburg, Germany. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing, and the Spatial Information Sciences. XXXVI-8/W2.

IUL PGLP, 2003. *Część 1. Instrukcja sporządzania planu urządzania lasu dla nadleśnictwa. Załącznik do zarządzenia nr 43 dyrektora generalnego lasów państwowych z dnia 18 kwietnia 2003 r.* Państwowe Gospodarstwo Leśne Lasy Państwowe. Warszawa.

Kraus K. & Pfeifer N., 1998. Determination of terrain models in wooded areas with airborne laser scanner data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol: 53 (4), 193-203.

- Kwak D. A., Lee W. K., Lee J. H., Biging G. S. & Gong P., 2007. Detection of individual trees and estimation of tree height using LiDAR data. *Journal of Forest Research*, Vol: 12 (6), 425-434.
- Laar A. V. & Akca A., 1997. Forest mensuration. Cuvillier Verlag. Gottingen.
- Lim K. S. & Treitz P. M., 2004. Estimation of above ground forest biomass from airborne discrete return laser scanner data using canopy-based quantile estimators. *Scandinavian Journal of Forest Research*, Vol: 19 (6), 558-570.
- Maltamo M., Hyyppä J. & Malinen J., 2006. A comparative study of the use of laser scanner data and field measurements in the prediction of crown height in boreal forests. *Scandinavian Journal of Forest Research*, Vol: 21 (3), 231-238.
- Maltamo M., Mustonen K., Hyyppä J., Pitkänen J. & Yu X., 2004. The accuracy of estimating individual tree variables with airborne laser scanning in a boreal nature reserve. *Canadian Journal of Forest Research*, Vol: 34 (9), 1791-1801.
- McGaughey R. J., 2007. Fusion/ldv: Software for lidar data analysis and visualization. Software manual. USDA Forest Service. Pacific Northwest Research Station.
- McGaughey R. J., Carson W., Reutebuch S. & Andersen H.-E., 2004. Direct measurement of individual tree characteristics from lidar data. *Proceedings of the Annual ASPRS Conference*. Denver. American Society of Photogrammetry and Remote Sensing.
- Means J. E., Acker S. A., Fitt B. J., Renslow M., Emerson L. & Hendrix C. J., 2000. Predicting forest stand characteristics with airborne scanning lidar. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol: 66 (11), 1367-1371.
- Næsset E., 1997. Determination of mean tree height of forest stands using airborne laser scanner data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol: 52 (2), 49-56.
- Næsset E., 2004. Practical large-scale forest stand inventory using a small-footprint airborne scanning laser. *Scandinavian Journal of Forest Research*, Vol: 19 (2), 164-179.
- Næsset E. & Økland T., 2002. Estimating tree height and tree crown properties using airborne scanning laser in a boreal nature reserve. *Remote Sensing of Environment*, Vol: 79 (1), 105-115.
- Popescu S. C., 2007. Estimating biomass of individual pine trees using airborne lidar. *Biomass and Bioenergy*, Vol: 31 (9), 646-655.
- Popescu S. C., Wynne R. H. & Nelson R. F., 2003a. Estimating plot-level tree heights with lidar: Local filtering with a canopy-height based variable window size. *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol: 37 (1-3), 71-95.
- Popescu S. C., Wynne R. H. & Nelson R. F., 2003b. Measuring individual tree crown diameter with lidar and assessing its influence on estimating forest volume and biomass. *Canadian Journal of Remote Sensing*, Vol: 29 (5), 564-577.
- Popescu S. C. & Zhao K., 2008. A voxel-based lidar method for estimating crown base height for deciduous and pine trees. *Remote Sensing of Environment*, Vol: 112 (3), 767-781.

Pyysalo U., 1999. A method to create a three-dimensional forest model from laser scanner data. *The Photogrammetric Journal of Finland*, Vol: 17 (1), 34-42.

Riaño D., Meier E., Allgöwer B., Chuvieco E. & Ustin S. L., 2003. Modeling airborne laser scanning data for the spatial generation of critical forest parameters in fire behavior modeling. *Remote Sensing of Environment*, Vol: 86 (2), 177-186.

Rönnholm P., Hyypä J., Hyypä H., Haggrén H., Yu X. & Kaartinen H., 2004. Calibration of laser-derived tree height estimates by means of photogrammetric techniques. *Scandinavian Journal of Forest Research*, Vol: 19 (6), 524-528.

Yu X., Hyypä J., Kaartinen H. & Maltamo M., 2004. Automatic detection of harvested trees and determination of forest growth using airborne laser scanning. *Remote Sensing of Environment*, Vol: 90 (4), 451-462.

THE LIDAR POINT CLOUD DATA-BASED FOREST CANOPY MODELLING

KEY WORDS: ALS, forest inventory, tree height, canopy base, canopy surface and volume

Summary

The study was aimed at determining the utility of and to improve the understanding of the airborne laser scanning (ALS) technology in acquisition of selected parameters of canopy layers for individual trees and whole stands. This approach, based on ALS data (TopoSys fiber scanner; swing mode + optical line scanner), was compared with reference data drawn from a forest inventory (432 Scots pines). The study showed that: (1) the height of a single tree, as derived from ALS data, leads to underestimation (mean difference -0.90 m or +0.12 m depending on CHM generation algorithm); (2) the mean stand height was higher (+0.85 m) than the height recorded in the SILP database, which may result in underestimation of the timber volume in the entire Milicz forest district; (3) the stand mean height (understood as 95th percentile of the FE point cloud) was +0.46 m higher than the height recorded in the SILP inventory database; (4) it was possible to estimate the canopy base with 0.56 m overestimation; (5) the canopy length as measured during the forest inventory was +0.44 m lower compared to the ALS data (histogram analysis); (6) the homogeneity of a contemporaneous-pine stand is questionable. In a very near future, a new approach to the forest inventory, supported by ALS data, will be presented as a list of new parameters and guidelines.

dr inż. Piotr Wężyk
e-mail: rlwezyk@cyf-kr.edu.pl
tel. +48-12-6625082
faks: +48-12-6625082

ZASTOSOWANIE SATELITARNEJ INTERFEROMETRII RADAROWEJ DO OKREŚLENIA AKTYWNOŚCI OSUWISK OBRZEŻENIA KOTLINY SĄDECKIEJ

APPLICATION OF SAR INTERFEROMETRY TO THE ASSESSMENT OF LANDSLIDING ACTIVITY ON THE EDGE OF THE NOWY SĄCZ BASIN

Tomasz Wojciechowski, Zbigniew Perski

Katedra Geologii Podstawowej, Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski

SŁOWA KLUCZOWE: InSAR, stabilne rozpraszacze, osuwiska, obrzeżenie Kotliny Sądeckiej

STRESZCZENIE: W artykule przedstawiono wyniki badań nad możliwościami zastosowania satelitarnej interferometrii radarowej w kontekście osuwisk polskiej części Karpat. Poligonem badawczym są zbocza występujące w północno-zachodnim obrzeżeniu Kotliny Sądeckiej gdzie występują osuwiska. Na obszarze Karpat metoda InSAR boryka się z problemami związanymi z dużymi deniwelacjami terenu, dużym pokryciem szatą roślinną i długo utrzymującą się pokrywą śnieżną. Dzięki implementacji metody PSInSAR powstałej na Uniwersytecie w Delft, uzyskano punkty PS z serii 51 rejestracji ERS-1/2 SAR. Łącznie uzyskano 145 stabilnych rozpraszaczy z których część wykazuje deformacje związane z osuwiskami. Dane te mogą zostać wykorzystane w kartowaniu osuwisk i w określaniu aktywności zboczy. Dla obszaru badań przeprowadzono analizę dynamiki osuwisk. Przykładowe osuwisko w Podegrodziu charakteryzuje się dynamiką osiadającą 72.9 mm/rok. Uzyskane wyniki określone zostały jako satysfakcjonujące i pozwalające patrzeć z optymizmem w przyszłość badań nad dalszym rozwojem metodyki PSInSAR do badań osuwisk w Polsce.

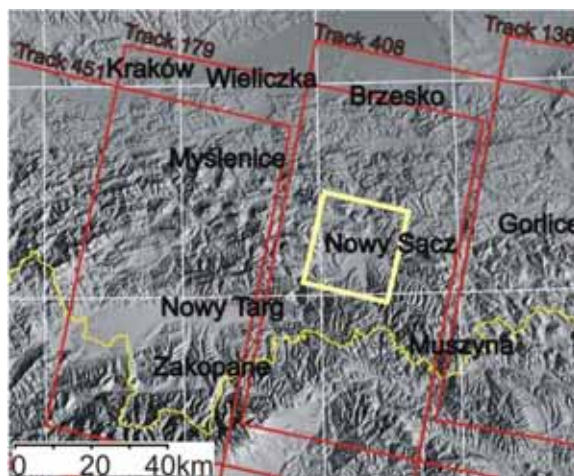
1. WSTĘP

Satelitarna interferometria radarowa jest obecnie jedną z prężniej rozwijających się zdalnych metod mierniczych. Pozwala ona określić zmiany zachodzące na powierzchni terenu z dokładnością milimetrową, co jest dużą zaletą w przypadku subtelnych deformacji takich jak osuwiska. Dotychczasowe osiągnięcia światowe w tym temacie wykazują możliwości stosowania technik InSAR w badaniu osuwisk, wskazując jednocześnie na ograniczenia i problemy związane z badaniem obszarów górskich (Fruneau *et al.*, 1996, Vietmeier *et al.*, 1999, Colesanti *et al.*, 2003, Hilley *et al.*, 2004, Colesanti i Wasowski, 2006). InSAR to technika polegająca na pomiarze różnicy fazy sygnału radarowego dwóch obserwacji typu SAR (Synthetic Aperture Radar) tego samego obszaru przedstawionej na interferogramie radarowym. Stosowanie jej jednak dla górzystego terenu często jest problematyczne z powodu dekorelacji sygnału radarowego, na którą wpływ mają duże deniwelacje terenu, zmiany atmosferyczne i pokrycie szatą roślinną (Vietmeier *et al.*, 1999, Delacourt *et al.*, 2003). Częściowym rozwiązaniem tego ograniczenia jest metoda PSInSAR, która poprzez wykorzystanie dużych serii pomiarowych wyznacza deformacje w punktach zwanych stabilnymi

rozpraszaczami (PS), charakteryzującymi się stabilną fazą sygnału radarowego (Ferretti *et al.*, 2001, Perski *et al.*, 2006). Przegląd metodyki InSAR można znaleźć w (Massonnet i Feigl, 1998, Rosen *et al.*, 2000), a PSInSAR w (Ferretti *et al.*, 2001, Perski i Mróz, 2007, Porzycka i Leśniak, 2007), dlatego szczegóły zostały w tym artykule pominięte.

Satelitarna interferometria radarowa była już z powodzeniem stosowana w Polsce. Problematyka badań dotyczyła powierzchniowych deformacji powierzchni terenu na Górnym Śląsku (Perski i Jura, 1999) i na obszarze Legnicko-Głogowskiego zagłębia miedziowego (Krawczyk i Perski, 2000). Prowadzone są również prace nad interferometrycznymi pomiarami współcześnie zachodzących naturalnych ruchów powierzchni terenu na obszarze Polski w ramach projektu GEO-IN-SAR (Perski i Mróz, 2007) oraz w ramach uczestnictwa Państwowego Instytutu Geologicznego w międzynarodowym konsorcjum Terrafirma (Graniczny *et al.*, 2005, Czarnogórska *et al.*, 2008).

Tematyka osuwisk podjęta została w projekcie badawczym (promotorskim) MNiSW „Geologiczna analiza osuwisk z wykorzystaniem satelitarnej interferometrii radarowej na przykładzie wybranych obszarów Karpat”. W ramach tego projektu oraz wspomnianego już GEO-IN-SAR uzyskano pierwsze w Polsce satysfakcjonujące wyniki badań osuwisk karpackich z wykorzystaniem satelitarnej interferometrii radarowej (Wojciechowski, Perski, 2008). Niniejszy artykuł przedstawia dotychczasowe osiągnięcia w zastosowaniu PSInSAR do analiz osuwisk występujących w północnej części obrzeżenia Kotliny Sądeckiej (rys. 1). Obszar ten jest jednym z poligonów badawczych tego projektu, charakteryzujący się występowaniem ruchów masowych (Oszczypko, Wójcik, 1993).



Rys. 1. Lokalizacja obszaru badań na tle pokrycia zobrazowaniami satelitów ERS

2. OBSZAR BADAŃ

Liczba osuwisk w polskiej części Karpat szacowana obecnie na co najmniej 23 000 (Rączkowski, 2007) może osiągać nawet 50 000 (Grabowski, 2008). Liczba ta robi wrażenie zwłaszcza gdy brana jest pod uwagę w kontekście zagrożeń jakie niosą za sobą ruchy masowe. Na terenie obrzeżenia Kotliny Sądeckiej, które w kierunku NW

przechodzi w Pogórze Łącko-Podegrodzkie, przez osuwiska niszczonych jest kilkadziesiąt odcinków dróg oraz zabudowań w tym mieszkalnych. W badanej części obrzeżenia rozpoznano 356 osuwisk, których znaczna część wykazuje aktywność. Wskaźnik osuwiskowości obszaru wynosi 15.56%. Podłoże dla ruchów masowych stanowią fliszowe osady piaskowcowo-lupkowe serii magurskiej oraz gliny (Oszczypko, 1973, Oszczypko i Wójcik, 1992).

Karpaty dla satelitarnej interferometrii radarowej nie są dogodnym obszarem badawczym. Dobrą koherencję można z reguły otrzymać dla terenów zurbanizowanych, gdzie występuje duża liczba obiektów budowlanych. Patrząc całościowo na polską część Karpat obszarów takich jest stosunkowo niewiele. Przeważa leśne pokrycie terenu, które rozprasza sygnał radarowy. Negatywny wpływ na czytelność interferogramów ma również duża deniwelacja terenu obszarów górskich. Okolice Nowego Sącza charakteryzują się wyższym parametrem koherencji w stosunku do całego obszaru karpackiego i obok terenów Wieliczki są najbardziej perspektywiczne dla testowych badań osuwisk z wykorzystaniem satelitarnej interferometrii radarowej.

3. METODYKA

W ramach prezentowanych badań wygenerowano interferogramy radarowe DInSAR za pomocą programu interferometrycznego DORIS oraz pozyskano 145 punktów PS przy wykorzystaniu implementacji metody PSInSAR powstałej na Uniwersytecie w Delft (Perski i Mróz, 2007). Użyto do tego 51 rejestracji ERS-1/2 SAR objętych ścieżką 179, które reprezentują 7.5 letnią rozpiętość czasową zawartą między 18 czerwca 1992 a 17 grudnia 2000. Niestety z racji słabej koherencji nie udało się wykazać deformacji osuwiskowych na tradycyjnych interferogramach.

Uzyskane punkty PS są obecnie identyfikowane w terenie. Jest to ważna czynność polegająca na wykluczeniu tych rozpraszaczy stabilnych, które wykazują deformacje nie związane z osuwiskami. Te których deformacje mogą być związane z ruchami masowymi wykorzystać można do rozpoznania osuwisk oraz do określenia aktywności w kategoriach „aktywne”, „nieaktywne”.

Techniki InSAR wykorzystywane są najczęściej do określenia dynamiki zjawisk zachodzących na powierzchni terenu. W kontekście badań osuwisk, dynamikę można obliczyć tylko dla punktów spełniających określone zależności morfologiczne. Deformacja InSAR jest pomiarem prędkości zmian obserwowanych na powierzchni terenu

w kierunku sensor satelity – obiekt odbijający wiązkę radarową, dlatego ważne jest by osuwisko przemieszczało się w kierunku zbliżonym do padania wiązki radarowej. Dla orbit zstępujących przelotów satelitów ERS wiązka radarowa kierowana jest w stronę powierzchni Ziemi z kierunku 98.5° pod kątem 67° względem płaszczyzny poziomej. Najdogodniejsze są zatem obszary nachylone w kierunkach zawierających się w przedziałach $68.5^\circ \div 128.5^\circ$ oraz $248.5^\circ \div 308.5^\circ$ i tylko dla nich można określić dynamikę ruchu. Dysponując parametrami morfologicznymi pochodzącymi np. z numerycznego modelu terenu oraz pomiarem interferometrycznym obiektu można obliczyć dynamikę zsuwu koluwium (rys. 2) wg wzoru (1) (Rabus i Fatland, 2000, Coren *et al.*, 2000):

$$V_s = \frac{V_r}{\cos \phi \cos \xi \sin \nu - \sin \phi \cos \nu} \quad (1)$$

gdzie:

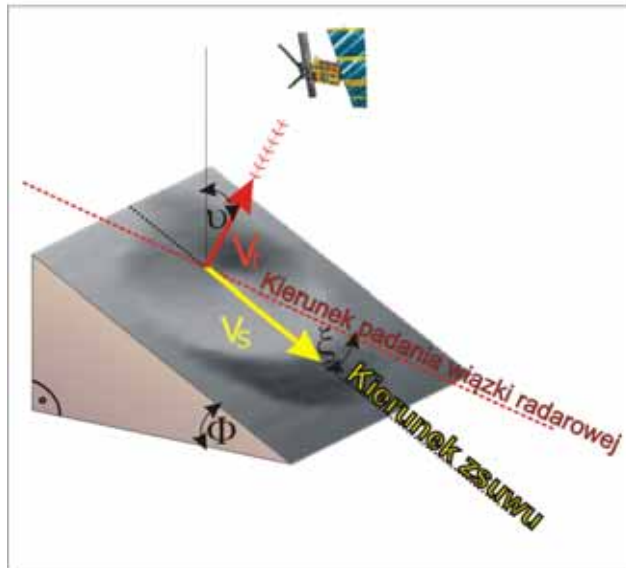
V_s – prędkość deformacji po zboczu

V_r – prędkość deformacji w kierunku sensor – powierzchnia odbicia

ϕ – nachylenie powierzchni

ξ – kąt poziomy zawarty pomiędzy kierunkiem zsuwu a kierunkiem padania wiązki radarowej.

ν – kąt zawarty między kierunkiem padania wiązki radarowej a pionem.



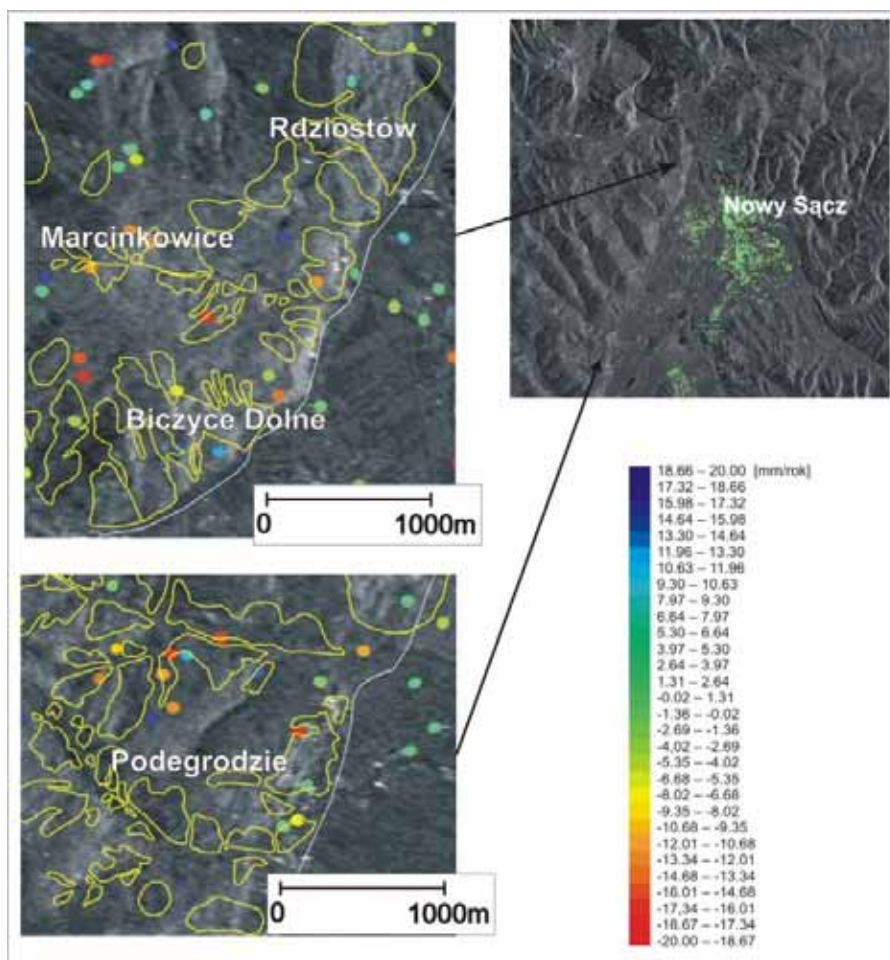
Rys. 2. Geometria obserwacji InSAR powierzchni osuwiska w pomiarze dynamiki osuwisk

Algorytm ten stosowany jest przede wszystkim do pomiaru prędkości lodowców (Perski *et al.*, 2003), jednak biorąc pod uwagę podobieństwo satelitarnej geometrii wobec pomiaru lodowców i osuwisk, można go z powodzeniem używać do badań ruchów masowych.

Równoleżnikowy bieg łańcucha Karpat w Polsce sprawia, że zbocza w przeważającej mierze nachylają się w kierunku północnym (36.5%) i południowym (29.5%). Jest to niekorzystna sytuacja dla satelitarnej interferometrii radarowej w kontekście pomiaru dynamiki osuwisk. Bazując na numerycznym modelu powierzchni terenu DTED-2 (Digital Terrain Elevation Data) obliczono, że tylko 20.1% obszaru Karpat spełnia ten wymóg. Dla obrzeżenia Kotliny Sądeckiej właściwą ekspozycją zboczy charakteryzuje się 28% terenu, co tylko potwierdza słuszność wyboru obszaru badań. Dodatkowym argumentem tego wyboru jest fakt, że skupienie osuwisk obserwuje się tu w dużej mierze na zboczach wschodnich i południowo-wschodnich, czyli sprzyjających pomiarom interferometrycznym z satelitów ERS.

4. WYNIKI BADAŃ

Dla obszaru badań udało się pozyskać 145 punktów PS (rys. 3). Daje to zagęszczenie 1.6 PS na km², co nie jest liczbą imponującą. Po porównaniu ich lokalizacji z zasięgiem osuwisk okazuje się, że 35 rozpraszaczy stabilnych występuje na osuwiskach, a aż 110 poza nimi.



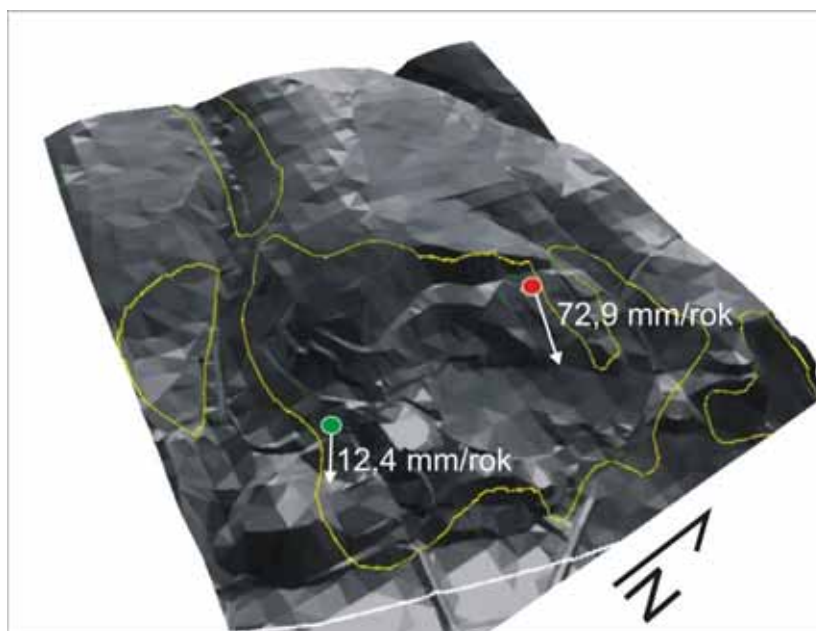
Rys. 3. Zbiory punktów PS dla wybranych obszarów obrzeżenia Kotliny Sandomierskiej. Zasięg osuwisk na podstawie Oszczypki i Wójcika (1992)

Wszystkie punkty występujące w obrębie ruchów masowych wykazują deformacje zarówno dodatnie jak i ujemne. Z pozostałych 110 PS-ów, 35 nie wykazuje deformacji. Istnieją dwie koncepcje wyjaśniające taką postać rzeczy, przy założeniu poprawności obliczeń. Po pierwsze stabilne rozpraszacze nie muszą być związane z osuwiskami. Nawet w przypadku gdy dachy budynków mieszkalnych zachowują stałą w czasie fazę sygnału radarowego, deformacje jakie wykazują obliczenia PSInSAR mogą być spowodowane np. błędami budowlanymi. Druga koncepcja porusza temat lokalizacji

osuwisk. Ich kartowanie terenowe często nie jest łatwym zadaniem, bowiem elementy morfologiczne, które mogły by świadczyć o występowaniu osuwiska są zatarte i zdeformowane przez działalność antropogeniczną. Ruchy masowe mogą być nie rozpoznawalne, zwłaszcza gdy są powolne i nie powodujące zniszczeń. Interferometria radarowa może posłużyć do wyznaczenia takich właśnie stref. Prawdopodobne jest, że duża część punktów PS, występujących poza obecnie rozpoznanymi osuwiskami w rzeczywistości charakteryzują deformacje związane z ruchami masowymi. Wstępne wyniki prowadzonych obecnie prac terenowych wykazują, że liczba osuwisk na tym obszarze jest większa od znanej dotychczas oraz, że osuwiska zwiększyły swoje powierzchnie w ostatnich 12 latach. Można zatem przypuszczać, że większa część punktów PS przedstawia deformacje w obrębi osuwisk. Należy dodać, że uzyskane pomiary interferometryczne są również wykorzystywane w pracach terenowych. Duża część PS-ów przedstawiających deformacje powierzchni terenu zlokalizowana jest w pobliżu osuwisk. Charakterystyczne występowanie ich ponad rozpoznanymi krawędziami nisz osuwiskowych może świadczyć o ekspansywnym charakterze opisywanych struktur w wyższe partie zboczy. Dane interferometryczne można zatem interpretować jako wskaźnik sugerujący o zwiększeniu zasięgu osuwiska, co może mieć wpływ na wzrost zagrożenia dla występujących tam ewentualnych zabudowań.

Duże zagęszczenie stabilnych rozpraszaczy występuje w Rdziostowie i Marcinkowicach. Przeprowadzono wstępne badania terenowe obszaru, który na podstawie prezentowanych obliczeń PSInSAR jest podejrzany o występowanie osuwisk. Jak dotąd udało się ustalić, że część występujących tam ruchów masowych powiększyło swój obszar aktywności. Prawdopodobny jest też fakt powstania zupełnie nowych osuwisk, zwłaszcza w rejonie Marcinkowic. Podobną sytuację obserwuje się w Podegrodziu i Owieczce, gdzie osuwiska niszczą budynki mieszkalne oraz odcinki infrastruktury drogowej. Część punktów PS została tam właśnie zidentyfikowana jako nawierzchnia drogowa oraz dachy popękanych budynków.

W badaniach podjęto również próbę analizy dynamiki osuwisk w punktach PS. Wykorzystując NMT ustalono, że ze wszystkich PS-ów tylko 45 wykazuje przemieszczenia w kierunku zbieżnym z padaniem wiązki radarowej satelity ERS, co jest wymogiem opisanym w rozdziale „Metodyka”. Prędkość zsuwu w danym punkcie obliczono na podstawie NMT DTED-2 i pomiarze PSInSAR. Wyniki jakie uzyskano wahają się pomiędzy 3 a 152 mm/rok. Prędkości te mogą wydawać się w niektórych przypadkach zaniżone w stosunku do zaobserwowanych struktur w terenie. Budynki są poddawane naciskom zsuwających się mas skalnych i stanowią dla nich opór. Tempo deformacji należy zatem identyfikować jako świadectwo aktywności dachu budynku jako stabilnego rozpraszacza pod wpływem osuwiska o większej prędkości przemieszczenia koluwiów. Za przykład analizy dynamiki osuwiska w punktach PS posłużyło osuwisko zlokalizowane w Podegrodziu (rys. 4). Pozyskano tam 2 punkty PS, które odzwierciedlają zmiany powierzchni dachów budynków, które bezspornie są uszkodzane poprzez osuwisko. Wyżej leży obiekt charakteryzuje się dynamiką zsuwu w obrębi niszy osuwiskowej wynoszącą 72.9 mm/rok w kierunku azymutu 94°, ten zlokalizowany bardziej na południu prezentuje dynamikę w obrębi jezora 12.4 mm/rok w kierunku azymutalnym 101°.



Rys. 4. Dynamika zsuwu w punktach PS zlokalizowanych w obrębie osuwiska w Podegrodziu

5. PODSUMOWANIE

Uzyskane dotychczas wyniki badań polegających na wykazaniu przydatności satelitarnej interferometrii radarowej w analizach osuwisk wykazały trudności związane z koherencją oraz z geometrią systemu satelitarnego dla danych SAR. Dla tradycyjnej interferometrii radarowej InSAR obszar Karpat ma zbyt duże deniwelacje terenu oraz zbyt gęstą pokrywę roślinną. Wykazanie deformacji na zboczach wydają się zatem mało realne wykorzystując technikę DInSAR.

Zastosowanie PSInSAR dla obrzeżenia Kotliny Sądeckiej również okazało się trudne. Uzyskano dane dla 145 stabilnych rozpraszaczy. Porównanie ich z występowaniem osuwisk wykazało, że znaczna część punktów PS lokalizuje się poza osuwiskami. Istnieje duże prawdopodobieństwo, że wskazują one deformacje obiektów nie związane z osuwiskami lub, że osuwiska obejmują większy obszar niż przypuszczano dotychczas. Dane te są wykorzystywane w pracach terenowych polegających na identyfikacji ruchów masowych wskazując miejsca potencjalnie zagrożone. Identyfikowane są również stabilne rozpraszacze w celu wykluczenia tych, które wykazują deformacje nie związane z osuwiskami. Przeprowadzona analiza dynamiki wykazała, że osuwiska w badanym obszarze mogą się przemieszczać z prędkością $3 \div 152$ mm/rok, co stwierdzono w 45 punktach PS.

Wyniki takie pozwalają z optymizmem patrzeć na przyszłość dalszych prac rozwojowych metodyki PSInSAR w badaniu osuwisk i prezentują możliwości wykorzystania już teraz tej techniki w pracach rozpoznawczych aktywności zbroczy, co ma miejsce obecnie przy badaniach m.in. obszaru okolic Nowego Sącza.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę MNiSW w latach 2008-2009 jako projekt badawczy „Geologiczna analiza osuwisk z wykorzystaniem satelitarnej interferometrii radarowej na przykładzie wybranych obszarów Karpat” (N N307 131534) i w ramach projektu badawczego MNiSW nr 4T12E04329 „Zastosowanie metod interferometrii radarowej InSAR do badania naturalnych ruchów powierzchni terenu w Polsce” oraz projektu badawczego ESA: C1P.3915.

6. LITERATURA

- Colesanti C., Ferretti A., Prati C., Rocca F., 2003. Monitoring landslides and tectonic motion with the Permanent Scatterers Technique. *Engineering Geology*, 68/1-2, s. 3-14.
- Colesanti C., Wasowski J., 2006. Investigating landslides with space-borne Synthetic Aperture Radar (SAR) interferometry. *Engineering Geology*, 88, s. 173-199.
- Coren F., Sterzai P., Vidmar R., 2000. Interferometric analysis of David Glacier (East Antarctica). *ERSEnvisat Symposium*, ESA SP-461, Gothenburg, CD-ROM.
- Czarnogórska M., Graniczny M., Kowalski Z., Wegmüller U., 2008. Dynamika zmian powierzchni terenu na Górnym Śląsku w okresie 10.07-25.08.2007 r. na podstawie danych interferometrycznych z satelity ALOS. *Przegląd Geologiczny*, 56, s. 524-527.
- Delacourt C., Allemand P., Squarizoni C., Picard F., Raucoules D., Carnec C., 2003. Potential and limitations of ERS-differential SAR interferometry for landslides studies in French Alps and Pirenees. *Fringe 2003 Workshop*, Frascati, Italy, 1-5 December 2003, CD-ROM.
- Ferretti A., Prati C., Rocca F., 2001. Permanent scatterers InSAR Interferometry. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 39(1), s. 8-20.
- Fruneau B., Achache J., Delacourt C., 1996. Observation and modelling of the Saint-Etienne-de-Tinée landslide using SAR interferometry. *Tectonophysics*, 265(3-4), s. 181-190.
- Grabowski D., 2008. System Osłony Przeciwsuwiskowej SOPO. *Przegląd Geologiczny*, 56, s. 537-538.
- Graniczny M., Kowalski Z., Jureczka J., Czarnogórska M., 2005. Terrafirma project—monitoring of subsidence of north-eastern part of the Upper Silesian Coal Basin. *Polish Geological Institute. Special Papers*, 20, s. 59-63.
- Hilley G.E., Bürgmann R., Ferretti A., Novali F., Rocca F., 2004. Dynamics of Slow-Moving Landslides from Permanent Scatterer Analysis. *Science*, Vol. 304, no. 5679, s. 1952-1955.
- Krawczyk A., Perski Z., 2000. Application of satellite radar interferometry on the areas of underground exploitation of copper ore in LGOM – Poland. *First International Congress of the International Society for Mine Surveying*, Kraków, Vol.2, s. 209-218.
- Massonnet D., Feigl K.L., 1998. Radar interferometry and its application to changes in the earth's surface. *Reviews of Geophysics*, Vol. 36(4), s. 441-500.
- Oszczypko N., 1973. Budowa geologiczna Kotliny Sądeckiej. *Biuletyn Instytutu Geologicznego*, 271, s. 101-199.

- Oszczypko N., Wójcik A., 1992. Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski 1:50 000, Arkusz Nowy Sącz (1035). Państwowy Instytut Geologiczny.
- Oszczypko N., Wójcik A., 1993. Objasnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski 1:50 000, Arkusz Nowy Sącz (1035). Państwowy Instytut Geologiczny.
- Perski Z., Jania J., Stober M., 2003. SAR-interferometric flow velocities of two tidewater glaciers In NW Spitsbergen: method and results. *Workshop Fringe Advances in SAR Interferometry from ERS and ENVISAT missions*, Frascati, Italy, 1-5 December 2003, CD-ROM.
- Perski Z., Jura D., 1999. ERS SAR Interferometry for the Land Subsidence Detection in Coal Mining Areas. *Earth Observation Quarterly*, 63, s. 25-29.
- Perski Z., Ketelaar G., Mróz M., 2006. Interpretacja danych ENVISAT/ASAR o przemiennej polaryzacji na obszarach zurbanizowanych w kontekście charakterystyki stabilnych rozpraszaczy (PERSISTENT SCATTERERS). *Archiwum Fotogrametrii i Teledetekcji*, tom 16, s. 467-482.
- Perski Z., Mróz M., 2007. Zastosowanie metod interferometrii radarowej InSAR do badania naturalnych ruchów powierzchni terenu w Polsce. Projekt GEO-IN-SAR. *Archiwum Fotogrametrii i Teledetekcji*, tom 17, s. 613-624.
- Porzycka S., Leśniak A., 2007. Przetwarzanie obrazów radarowych techniką PSInSAR. *Archiwum Fotogrametrii i Teledetekcji*, tom 17, s. 661 –670.
- Rabus B.T., Fatland D.R., 2000. Comparison of SAR-interferometric and surveyed velocities on a mountain glacier: Black Rapids Glacier, Alaska, USA. *Journal of Glaciology*, Vol. 46. No. 152, s. 119-128.
- Rączkowski W., 2007. Zagrożenia osuwiskowe w polskich Karpatach. *Przegląd Geologiczny*, 55, s. 638.
- Rosen P., Hensley S., Joughin I.R., Li F.K. Madsen S., Rodriguez E., Goldstein R., 2000. Synthetic Aperture Radar Interferometry. *Proceedings of the IEEE*, Vol. 88(3), s. 333-382.
- Wojciechowski T., Perski Z., 2008. Wykorzystanie satelitarnej interferometrii radarowej do badań osuwisk w polskiej części Karpat. *Konferencja „Tatrzańskie mapy geologiczne”*, Zakopane, 27-29 maj 2008.
- Vietmeier J., Wagner W., Dikau R., 1999. Monitoring moderate slope movements (landslides) in the Southern French Alps using differential SAR interferometry. *Second International Workshop on ERS SAR Interferometry, Fringe 1999*. Liège, Belgium, 10-12 November 1999, CD-ROM.

APPLICATION OF SAR INTERFEROMETRY TO THE ASSESSMENT OF LANDSLIDING ACTIVITY ON THE EDGE OF THE NOWY SĄCZ BASIN

KEY WORDS: SAR interferometry, persistent scatterers, landslides, edge of the Nowy Sącz Basin.

Summary

The paper presents preliminary results of research on a possibility of applying SAR interferometry to the assessment of landslides in the Polish part of the Carpathians. For the purpose of this study, the NW edge of Nowy Sącz basin has been chosen. Applications of InSAR (SAR Interferometry) to the Carpathians is difficult due to the rough topography, vegetation, and prolonged snow cover. Such problems were overcome by applying PSInSAR (Persistent Scatterers SAR Interferometry) which utilizes long time series of SAR data. In the present case, a set of Persistent Scatterers was collected by processing a stack of 55 ERS-1/2 SAR scenes using Delft University of Technology's implementation of the PSI method. Some 145 highly coherent PS points were obtained; they provide evidence of a landsliding movement. The most reliable points were then used in a quantitative cartographic study to assess the movement along the slope. Analysis of landslide dynamics was carried out for the study area whereby a landslide in Podegrodzie, progressing at a rate of 72.9 mm/year was documented. The preliminary results are very promising for the development of PSInSAR methodology to study landslides in Poland.

mgr Tomasz Wojciechowski
e-mail: twojcie@wnoz.us.edu.pl
tel. 32 3689 420

dr Zbigniew Perski
e-mail: zbigniew.perski@us.edu.pl
tel. 32 3689 317

BADANIE TEMPERATURY ZABYTKOWYCH PRZEDMIOTÓW Z WYKORZYSTANIEM TERMOGRAFII

MEASURING TEMPERATURE OF HISTORICAL OBJECTS BY MEANS OF THERMOGRAPHY

Alina Wróbel¹, Elżbieta Greiner-Wrona²

¹Katedra Geodezji Inżynierskiej i Budownictwa, Akademia Górniczo-Hutnicza
w Krakowie

²Katedra Technologii Szkła i Powłok Amorficznych, Akademia Górniczo-Hutnicza
w Krakowie

SŁOWA KLUCZOWE: termografia, temperatura, zabytek, korozja, klimat w muzeum, dziedzictwo kulturowe

STRESZCZENIE: Zabytkowe przedmioty wymagają utrzymania określonej, możliwie stałej temperatury i wilgotności w miejscu ich przechowywania i ekspozycji. W tym celu w budynkach muzealnych stosuje się klimatyzację powietrzną lub różne działania pasywne – zacielenie, masyną zabudowę. Celem prezentowanej pracy było badanie temperatury wybranych zabytkowych przedmiotów, ekspozycyjnych w salach muzealnych. Temperatura badanego obiektu zależy nie tylko od temperatury otaczającego powietrza, ale również czynników takich jak: temperatura otaczających ścian, oświetlenie, sposób zabudowy gablot, występowanie różnych źródeł ciepła w pobliżu ekspozycyjnych. Dlatego w szczególności zwrócono uwagę na:

- równomierność rozkładu temperatury w salach muzealnych w zależności od pór roku i dnia
- zależność temperatury okien (i dostarczanego przez nie ciepła) od sposobu ich zasłonięcia
- temperaturę ekspozycyjnych a ich oświetlenie
- wykrywanie i dokumentowanie źródeł ciepła w pobliżu ekspozycyjnych

Badania przeprowadzono w wybranych salach muzealnych bez klimatyzacji i z klimatyzacją powietrzną. Do badania termiki sal muzealnych wykorzystano technikę termografii. Jej największą zaletą jest uzyskanie wizualnego i dokładnego obrazu rozkładu temperatury na powierzchniach obserwowanych przedmiotów. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że rozkład temperatury w salach muzealnych (również klimatyzowanych) jest nierównomierny i zależy od pory roku i zewnętrznych warunków atmosferycznych. Na powierzchni zabytkowych przedmiotów obserwuje się zróżnicowanie temperatury zależne od sposobu oświetlenia i temperatury otoczenia.

1. WPROWADZENIE

W celu właściwego zachowania zabytkowych przedmiotów, należy przestrzegać w miejscu ich przechowywania i ekspozycji odpowiednich warunków klimatycznych. Do najważniejszych należy utrzymanie możliwie stałej w jak najdłuższym czasie wilgotności powietrza na poziomie 55 % +/- 5 % oraz temperatury powietrza w granicach 21°C w ciągu roku +/- 3°C. Osiągnąć to można albo poprzez

dokładnie, regularnie kontrolowaną klimatyzację albo poprzez utrzymanie stałej temperatury ścian zewnętrznych (Naredi – Rainer, 2008)

Zabytkowe przedmioty przechowywane i eksponowane są w budowanych w tym celu budynkach muzealnych, które są projektowane i realizowane pod kątem zapewnienia odpowiednich dla eksponatów warunków klimatycznych. Niekiedy przedmioty zabytkowe eksponowane są w zabytkowych budynkach, w których nie zawsze są urządzenia klimatyzacyjne i w związku z tym trudno jest uzyskać stałe oraz odpowiednie warunki cieplne i wilgotnościowe.

W salach muzealnych ogranicza się zazwyczaj światło dzienne, ponieważ niekorzystnie wpływa na eksponaty, a stosuje się oświetlenie sztuczne.

Dobowe i sezonowe zmiany temperatury zewnętrznej, zmienne nasłonecznienie oraz różna liczba zwiedzających wystawy są przyczyną trudności w utrzymaniu stabilnych warunków nawet w klimatyzowanych pomieszczeniach. Dlatego ważne są działania pasywne – zacienianie, masywna zabudowa, dodatkowe przegrody - mające na celu zmniejszenie obciążenia systemu klimatyzacji.

Badając temperaturę zabytkowych obiektów eksponowanych w muzeach należy zwrócić uwagę nie tylko na sam eksponat, ale też na czynniki, od których zależy temperatura badanego obiektu takie jak: temperatura otaczającego powietrza, temperatura otaczających ścian, oświetlenie, sposób zabudowy gablot, występowanie różnych źródeł ciepła w pobliżu eksponatów.

Do badania termiki sal muzealnych wykorzystać można technikę termografii. Jej największą zaletą jest uzyskanie wizualnego i dokładnego obrazu rozkładu temperatury na powierzchniach obserwowanych przedmiotów.

W artykule przedstawione zostaną wyniki termowizyjnego badania zabytkowych przedmiotów i sal muzealnych

2. METODA POMIARÓW TERMOGRAFICZNYCH

Termograficzna metoda badania została zastosowana z uwagi na swoje zalety. Pozwala ona na uzyskanie wizualnego obrazu rozkładu temperatury na obserwowanej powierzchni w sposób szybki i bezkontaktowy. Nie wpływa w żaden sposób na badany obiekt, co jest bardzo ważne w przypadku cennych zabytkowych przedmiotów.

Pomiary termowizyjne wykonane zostały kamerą termowizyjną Therma CAM S60 PAL nr 21803275, wyposażoną w obiektyw o kącie widzenia 20°. Dokładność rejestracji różnicy temperatury na termogramie wynosi 0.1°C, a liczba pikseli 240x320. W celu zapewnienia odpowiedniej rozdzielczości geometrycznej, zarówno sale muzealne jak też eksponaty zobrazowano na wielu termogramach.

Do opracowanie termogramów wykorzystano program ThermaCam Reporter 2000. Umożliwił on obliczenie rzeczywistej temperatury obserwowanej powierzchni, wybór palety barwnej termogramu i odpowiedniego zakresu temperatury. Dla badanych zabytkowych przedmiotów wykonano profile temperatury wzdłuż wybranych linii wskazanych na termogramie.

Termogramy wykonane dla danego obiektu łączono, uzyskując obrazy rozkładu temperatury, bardziej czytelne i wygodne do interpretacji. Skalowanie i mozaikowanie obrazów termalnych wykonano z użyciem programu Adobe Photoshop. Do powtórnego próbkowania obrazów (ang. *resampling*) wybrano metodę najbliższego sąsiada, ponieważ tylko ona zachowuje takie jasności, jakie wystąpiły w obrazie pierwotnym.

3. TERMIKA KLIMATYZOWANEJ SALI MUZEALNEJ

Zadaniem systemu klimatyzacji jest utrzymanie w salach muzealnych odpowiedniej wilgotności względnej powietrza, przy możliwych pewnych wahanach temperatury.

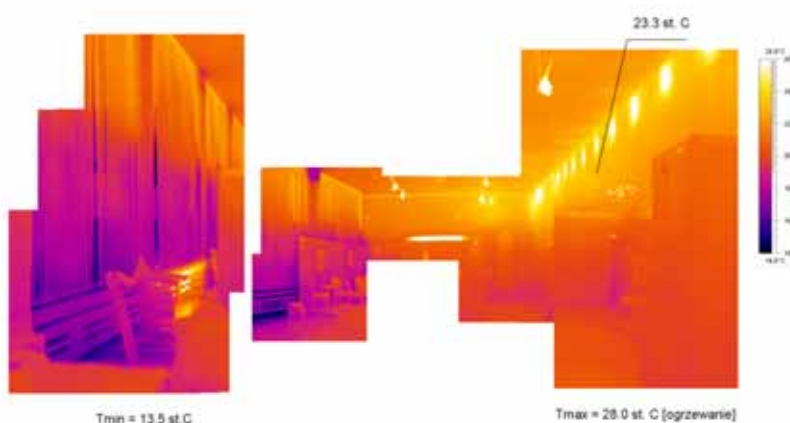
W badanej sali muzealnej odpowiednią temperaturę w porze zimowej zapewnia w 80% centralne ogrzewanie i w 20% klimatyzacja. Centralne ogrzewanie stanowią kaloryfery umieszczone w dolnej części ścian – pod oknami; bez możliwości automatycznego sterowania. Sterowanie jest wykonywane ręcznie; niektóre kaloryfery są wyłączone a inne włączone. Okna są dwuszybowe typu szwedzkiego, niektóre nieszczelne. Wszystkie okna są zasłonięte żaluzjami pionowymi.

Klimatyzacja w budynku działa niezależnie w trzech strefach; wschodniej, północnej i zachodniej. Każda strefa obejmuje wszystkie kondygnacje budynku. Klimatyzacja nastawiona jest na utrzymanie stałej wilgotności w budynku na poziomie około 50%. System klimatyzacji w każdej strefie pobiera 10÷15% powietrza z zewnątrz a pozostała część pochodzi z pobranego z sal i oczyszczonego przez rotor, gdzie następuje odzysk wilgoci. Parametrami sterującymi są: wilgotność bezwzględna – mierzona w maszynowni i temperatura tak dobierana, aby wilgotność względna w pomieszczeniach była na ustalonym poziomie (około 50%). Nawiewne kratki klimatyzacji umieszczone są pod sufitem a wywiewne na dole w ścianie naprzeciw okien. Dobowe zmiany temperatury powietrza w systemie klimatyzacji mierzone są w maszynowni i nie przekraczają 3°C. W każdym pomieszczeniu mierzona jest wilgotność względna i temperatura powietrza, ale ma ona charakter tylko informacyjny a nie sterujący. W przypadku dużych odchyłeń od wartości pożądaných możliwa jest ręczna regulacja klimatyzacji.

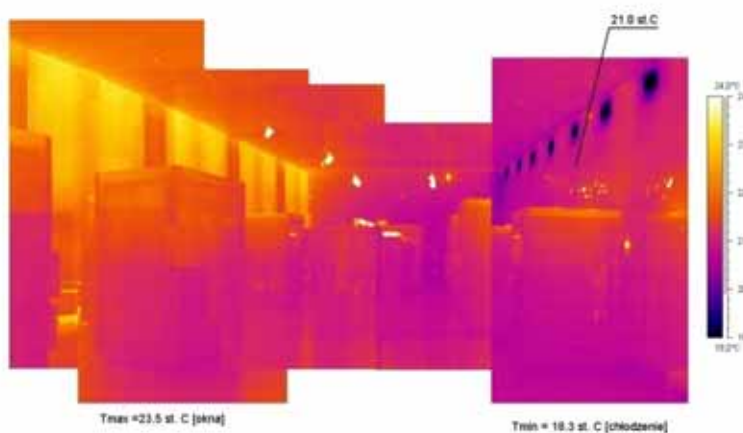


Rys. 1. Fotografia sali wystawowej muzeum: po lewej stronie okna zasłonięte żaluzjami, na ścianie po prawej u góry kratki nawiewne klimatyzacji

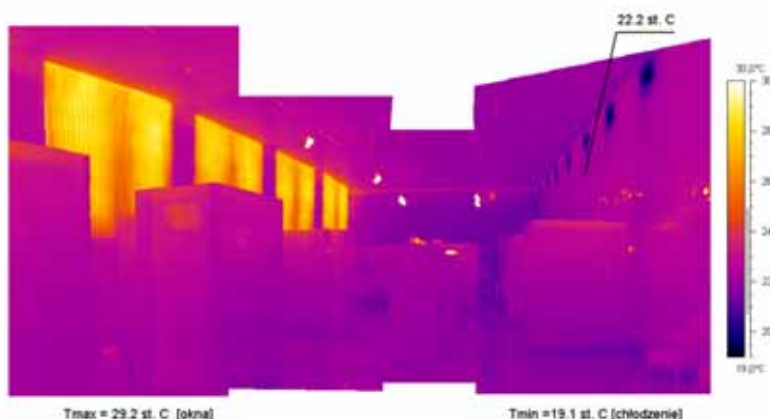
Rzeczywisty rozkład temperatury na powierzchni ścian sali wystawowej muzeum (rys. 1) uzyskany techniką termografii przedstawiony jest na rysunkach 2, 3 i 4. Należy zwrócić uwagę na niską temperaturę dolnej części ściany z oknami w porze zimowej. Przy niskich temperaturach powietrza zewnętrznego wewnętrzna powierzchnia ścian i okien może mieć temperaturę niższą od temperatury punktu rosy powietrza w pomieszczeniu. Możliwe są wtedy wykroplenia na powierzchni ścian lub naroży czy też nadproży nad oknami. Dlatego też, z uwagi na ochronę samego budynku, należy zwracać uwagę nie tylko na temperaturę i wilgotność powietrza, ale także na temperaturę powierzchni ścian i okien. W obszarze sali muzealnej występują duże gradienty temperatury, o wartości około 10°C . Gradienty te nie są zauważane przez system kontroli temperatury, ponieważ stanowi go jeden czujnik na sali, umieszczony na środku ściany przeciwległej do okien, w dodatku zakryty gablota.



Rys. 2. Rozkład temperatury w sali wystawowej muzeum w dniu 20.03.2008r.
o godz.11:30 przy temperaturze zewnętrznej 0°C



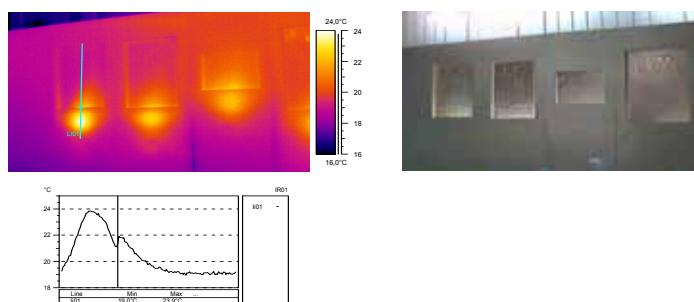
Rys. 3. Rozkład temperatury w sali wystawowej muzeum w dniu 30.07.2008r.
o godz.11:00 przy temperaturze zewnętrznej 25°C



Rys. 4. Rozkład temperatury w sali wystawowej muzeum w dniu 30.07.2008r. o godz.15:45 przy temperaturze zewnętrznej 29°C

4. ŹRÓDŁA CIEPŁA A TEMPERATURA EKSPONATÓW.

Zasadniczo źródła ciepła znajdujące się w salach muzealnych służą do utrzymania odpowiedniej temperatury powietrza. Oprócz tego w salach muzealnych występuje wiele innych źródeł ciepła: lampy, urządzenia elektryczne, światło słoneczne docierające przez okna. Umieszczane bywają w różny sposób w stosunku do eksponatów: wewnątrz gablot, na zewnątrz gablot, w pobliżu pojedynczych eksponatów. Źródła światła są włączane na czas przeznaczony do zwiedzania; to włączanie i wyłączanie powoduje cykliczne, często nierównomierne, zmiany temperatury na powierzchni eksponatów. Temperatura eksponatów jest uzależniona od temperatury i prędkości otaczającego je powietrza oraz temperatury promieniowania powierzchni otaczających. Średnią temperaturę promieniowania należy określić uwzględniając wpływ promieniowania poszczególnych powierzchni w pomieszczeniu.

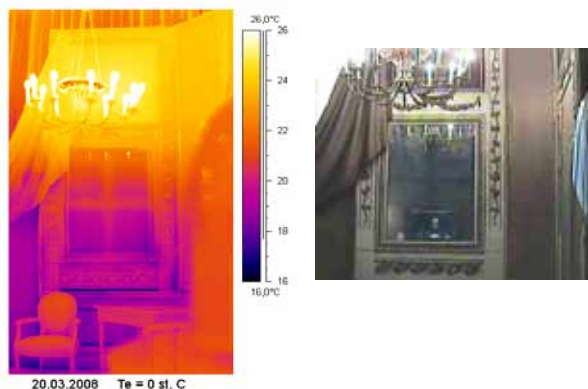


Rys. 5. Witraże podświetlone z bliskiej odległości, 25.01.2008

Gradient temperatury na powierzchni witraża przedstawionego na rysunku 5 wynosi 3°C i zmienia się po każdorazowym włączeniu i wyłączeniu oświetlenia. Czynnikiem ważnym dla postępu stopnia zniszczenia witraża jest częstotliwość występujących gradientów temperaturowych. Im będą one częstsze, tym deterioracja

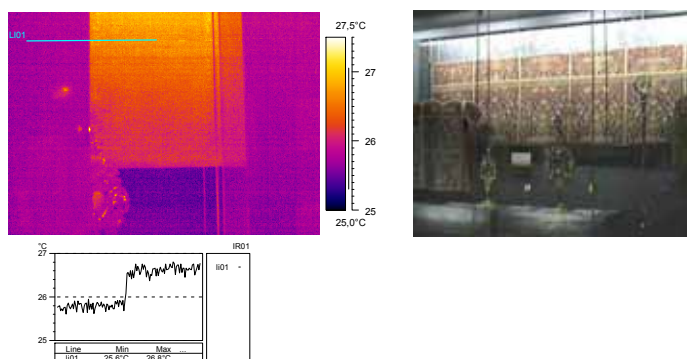
głębsza (Greiner-Wrona, 1999, 2004) Szybkość korozji jest uzależniona od temperatury bezwzględnej (Prawo Arrhenius'a). A więc podwyższenie temperatury na powierzchni witraża będzie miało wpływ na zmiany powstające na szkło. Zmiany te będą również zależeć od rodzaju szkła, jak też stanu zachowania jego powierzchni (Greiner-Wrona, 2004).

Badania termograficzne ekspozycji łączonej, tzn. złożonej z różnych obiektów, wykazują duże zróżnicowanie temperatury w jej obrębie. Temperatura obiektów przedstawionych na rysunku 6 zawiera się w granicach od 18 °C w dolnej części lustra, do 25 °C w pobliżu żyrandola. Wynika to z emisji ciepła od żyrandola w górnej części ekspozycji i „emisji zimna” od powierzchni okna w dolnej części, bowiem ekspozycja jest ustawiona na tle dużego okna sali wystawowej. Zauważyć daje się pewne związki pomiędzy temperaturą i korozją lustra widocznego na rysunku 6. Tam gdzie temperatura powierzchni lustra jest wyższa, stopień korozji jest niższy (ciemniejszy obszar w kształcie krzyża na zdjęciu fotograficznym). Oddziaływanie ciepła od żyrandola nie jest również obojętne dla gobelinów czy innych materiałów zdobniczych ścianę.

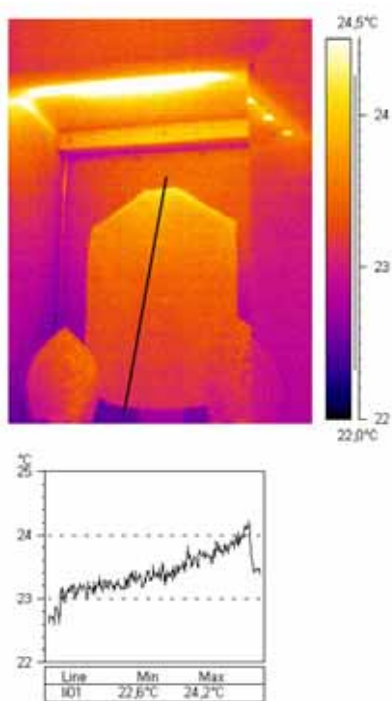


Rys. 6. Termogram ekspozycji łączonej

Wiele eksponatów znajduje się w gablotach. Gablota jako pomieszczenie zamknięte, nie wentylowane jest źródłem kolejnych problemów. Sama gablota poddaje się wpływom czynników zewnętrznych (Greiner-Wrona *at al.*, 2008) i tworzy własny mikroklimat. Oświetlenie umieszczone wewnątrz gablot jest źródłem ciepła. Jeśli gablota nie umożliwia odprowadzenia ciepła, to następuje podwyższenie temperatury powietrza w gablocie, co widoczne jest na rysunku 7. Równocześnie światło powoduje wzrost temperatury oświetlanych eksponatów na drodze promieniowania. Dzięki badaniom termograficznym można zaobserwować zróżnicowaną temperaturę na powierzchni eksponatu umieszczonego w gablocie i oświetlanego z bliskiej odległości od góry (rys. 8). Zjawisko takie obserwuje się w gablocie z szatami liturgicznymi, bardzo bogato dekorowanymi metalowymi nićmi, które szybciej się nagrzewają i akumulują więcej ciepła niż w pozostałych częściach szaty. Wskutek tego cały obiekt będzie ulegał zróżnicowanej deterioracji. Dla zróżnicowanych materiałów obiektów jest to bardzo ważne. Niektóre eksponaty z uwagi na specyfikę materiału powinny mieć zapewnioną niższą temperaturę (Brzozowska-Jabłońska, 1996)



Rys. 7. Termogram gabloty otwartej w środkowej części – temperatura eksponatu wewnątrz gabloty jest wyższa od temperatury w sali



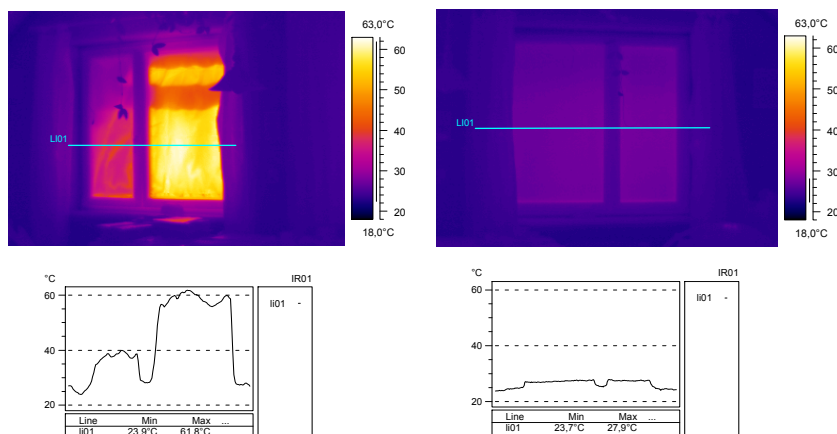
Rys.8. Gradient temperatury na powierzchni ornatu oświetlonego z góry (z bliska)

5. OKNA JAKO ŹRÓDŁA CIEPŁA

Niepożądanym w porze letniej źródłem ciepła są okna. Okna w salach muzealnych zasłania się by ograniczyć światło słoneczne. Nie zawsze ograniczenie światła jest równoznaczne z ograniczeniem ciepła dostarczanego przez światło słoneczne. Ograniczenie światła słonecznego uzyskuje się przez stosowanie: rolet i żaluzji

zewnętrznych, naklejania folii (białych lub czarnych) po wewnętrznej stronie szyby, zasłon wewnętrznych. Na rysunku 9 pokazane są efekty cieplne po wewnętrznej stronie okien, w których na różne sposoby ograniczono promieniowanie słoneczne.

Obserwowane okna znajdują się obok siebie na południowej ścianie budynku. Ograniczenie przenikania światła słonecznego do pomieszczenia uzyskano w następujący sposób: okno widoczne na rysunku 9 po lewej stronie zasłonięto od wewnętrznej strony białym papierem (lewa szyba) i czarną folią (prawa szyba); natomiast okno prawe zasłonięto od zewnętrznej strony płócienną roletą. Termograficzne obserwacje przeprowadzono 18. sierpnia o godzinie 12, w słoneczny dzień, przy temperaturze powietrza zewnętrznego w cieniu wynoszącej 21.0°C. Temperatura wewnątrz pomieszczenia wynosiła około 24.0°C.



Rys. 9. Temperatura wewnętrznej powierzchni okna na południowej ścianie o godz.12:00; 18.08, przy temperaturze na zewnątrz 21.0°C

Z termogramów pokazanych na rysunku 9 wynika, że wszelkie ograniczenia światła słonecznego przenikającego przez okna, stosowane od wewnętrznej strony tj. zasłony, zaciemnienia, nie spełniają dobrze swojego zadania. Białe papier częściowo ogranicza zarówno promieniowanie widzialne jak i dopływ ciepła. Natomiast czarna folia nie przepuszcza promieniowania widzialnego, ale przenika przez nią ciepło. Ciepło to przyczynia się do podniesienia temperatury powietrza w sali a dodatkowo podgrzewa na drodze promieniowania eksponaty będące w jego zasięgu. Dopływ ciepła przez okna skutecznie ogranicza stosowanie zewnętrznych przesłon: rolet, okiennic itp.

6. WNIOSKI

1. Badania termowizyjne umożliwiają pomiary temperatury powierzchni obiektów zabytkowych, które rozszerzają informacje o temperaturach otrzymanych z badań punktowych prowadzonych często w sposób automatyczny w salach muzealnych. Automatyczne systemy pomiaru i archiwizacji danych klimatu w salach muzealnych dotyczą parametrów powietrza (temperatury i wilgotności), natomiast bardzo ważna jest znajomość temperatury eksponatów, która w pewnych warunkach ekspozycji może znacznie różnić się od temperatury powietrza. Przeprowadzone badania

wykazały że różnice te są znaczne i wartości temperatur znacznie odbiegają od wartości optymalnych dla zachowania fizycznych właściwości eksponatów.

2. Technika termograficzna pozwala traktować globalnie problem rozkładu temperatury w salach wystawowych i wskazać lokalne gradienty temperaturowe zarówno sal jak i powierzchni samych eksponatów. Gradienty te są odpowiedzialne za rozwój korozji.
3. Regularne pomiary i dokumentowanie zmian wartości temperatury eksponatów pozwolą na poznanie przyczyny zmienności warunków mikroklimatu w muzeach i służyć mogą do podjęcia działań mających na celu poprawę warunków przechowywania i eksponowania cennych zabytkowych przedmiotów.
4. Badania doświadczalne i ich dokumentowanie mogą przyczynić się do wyboru optymalnych sposobów stabilizowania mikroklimatu w obiektach muzealnych i zabytkowych.

Pracę niniejszą wykonano w ramach projektu badawczego nr 3T 08DO 2730 finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

7. LITERATURA

Brzozowska-Jabłońska M., 1996. Warunki wieczystego przechowywania archiwaliów, ARCHEION, t. XCVI, Warszawa.

Greiner-Wronowa E., 1999. Szklane sensorowe dla ochrony zabytków. Praca doktorska AGH, Kraków.

Greiner-Wronowa E., 2004. Korozja Szkła Zabytkowych. *CERAMIKA* Kraków PAN. Vol. 85. s.22-36 i 115-121.

Greiner-Wronowa E., Pusoska A., Wrona J., 2008. Thermovision as a complementary method for analyses: museum parameters for the preservation of glass objects. Proc. of the VIII-th conf. *On Non-Destructive Testing of Art*, Jerosolima. The e-Journal and Database of Nondestructive Testing -ISSN 1435 - 4934.

Naredi – Rainer P., 2008. Bezpieczeństwo, klimatyzacja i oświetlenie. Tłumaczenie, http://www.artmuseum.waw.pl/dorobek/bezpieczenstwo_klimatyzacja_i_oswietlenie.pdf

MEASURING TEMPERATURE OF HISTORICAL OBJECTS BY MEANS OF THERMOGRAPHY

KEYWORDS: thermography, temperature, historical objects, corrosion, museum climate, cultural heritage

Summary

Historical objects are stored and exhibited in specially designed museum buildings. Those buildings are designed and built to provide a climate most appropriate for those objects. Sometimes historical objects are exhibited in historical buildings. As those not always are air-conditioned, they can hardly ensure optimal temperature and humidity for the objects. In addition, temperature and humidity are highly dependent on multiple external factors.

In museum halls, the natural light is usually limited because of its unfavourable effects on the objects shown and artificial light is used instead.

Daily and seasonal changes of temperature, the changing sunlight intensity, and the varying number of visitors make it hard to maintain constant conditions even in air-conditioned halls. Therefore, additional passive operations have to be performed and may include shading of the windows as well as installing additional barriers and constructions. They greatly reduce the load put on the air conditioning system.

When measuring temperature of the exhibited objects, it is important that the measurement not be limited to the temperature of the object only. Instead, all the factors that contribute to temperature of a given object should be analysed. These factors include: the temperature of the surrounding air, the temperature of room walls, illumination, construction of the exhibition cabinets, and various heat sources close to the exhibited objects.

Thermography can be used for the analysis of exhibition halls. A single major advantage of the technique is that it provides a visual image of temperature distribution on surfaces of objects observed.

The paper presents results of a thermographic analysis of exhibition rooms and exhibited historical objects.

Several factors were analysed in greater detail:

- uniformity of temperature distribution in the exhibition halls in relation to the time of the day and the season of the year;
- various methods for shading of the windows and their effect on temperature of the windows (and hence amount of heat transferred);
- relationship between illumination of the objects exhibited and their temperature;
- detection and documentation of heat sources near the objects exhibited.

Experiments and analyses may prove helpful in the selection of optimal methods for stabilizing the microclimate in museum and historical exhibitions.

dr inż. Alina Wróbel
e-mail: alibel@agh.edu.pl
tel. +126172269

dr inż. Elżbieta Greiner-Wronowa
e-mail: egrwrona@agh.edu.pl
tel. +126172481

REKONSTRUKCJA DETALI 3D OBIEKTÓW ZABYTKOWYCH NA PODSTAWIE ZDJĘĆ ARCHIWALNYCH

RECONSTRUCTION OF DETAILS OF 3D HISTORICAL MONUMENTS ON THE BASIS OF ARCHIVAL PHOTOS

Dorota Zawieska

Zakład Fotogrametrii, Teledetekcji i SIP, Politechnika Warszawska

SŁOWA KLUCZOWE: Rekonstrukcja , zdjęcie, modelowanie 3D.

STRESZCZENIE: W ramach niniejszego referatu zostaną zaprezentowane wyniki pracy, gdzie wykorzystano zdjęcia archiwalne obiektu sakralnego, którym był ołtarz Najświętszego Sakramentu w kościele Św. Krzyża w Warszawie. Podstawowym źródłem, wykorzystanym przy rekonstrukcji detali ołtarza Najświętszego Sakramentu, pod względem metrycznym, był zachowany bliźniaczy ołtarz Świętej Felicissimy, który został wykonany przez tego samego autora, Tylmana van Gamerena. Kompozycje obu ołtarzy są bardzo podobne, cały plan ołtarzy, rozkład i wielkość kolumn, proporcje pomiędzy poszczególnymi elementami ołtarzy są niemal identyczne.

W niniejszym artykule zostaną zaprezentowane wyniki pracy, gdzie wykorzystano zdjęcia archiwalne, wykonane w 1926 i 1939 roku. W prezentowanym opracowaniu do wykonania szkieletowego modelu bliźniaczego ołtarza św. Felicissimy oraz identyfikacji punktów osnowy wykorzystano stereogram zdjęć wykonanych kamerą metryczną UMK i opracowano na autografie analitycznym P-3 w systemie MicroStation. Zeskanowane zdjęcia archiwalne - przedstawiające ołtarz Najświętszego Sakramentu - wykorzystano do rekonstrukcji 3D wybranych detali zniszczonego ołtarza, wykorzystując program PhotoModeler. Zdjęcia pochodzą z różnych okresów, wykonane są amatorskimi aparatami niemetrycznymi, o nieznanach elementach orientacji. Po wykonaniu kalibracji dla każdego archiwalnego zdjęcia, wykonano rekonstrukcję 3D wybranego detalu ołtarza. Wektoryzację opracowanych figur 3D i ich zwymiarowanie wykonano w programie AutoCAD.

1. WPROWADZENIE

Dokumentacja fotogrametryczna przedstawia przestrzenny stan obiektu oraz pozwala na wykonywanie pomiarów na utworzonym modelu. Geometryczna dokumentacja jest nieodłączną częścią dokumentacji zabytku dziedzictwa kulturowego (Georgopoulos, et al, 2005). Dokumentacja fotogrametryczna może stanowić podstawę rekonstrukcji zabytku, lub być materiałem porównawczym w rekonstrukcji obiektu podobnego, jeśli nie istnieje jego oryginalna dokumentacja.

Opisane znaczenia modelowania 3D zostały zdefiniowane o wiele wcześniej, niż metody fotogrametrii cyfrowej stały się popularne. Wiele zabytków architektury, w tym rzeźb, a także obiektów archeologicznych zostało pomierzonych i udokumentowanych w oparciu o analogowe metryczne kamery pomiarowe (mono lub stereometryczne) i graficzne, bądź analityczne opracowania. W latach 80- tych i 90-tych

elewacje architektoniczne wciąż wykonywane były w skali 1:50, 1:100. Te opracowania elewacji wykorzystywane były przez architektów do utrzymania i zachowania stanu historycznego. Dzisiaj, kompletne rekonstrukcje obiektów 3D są głównie wykonywane, poprzez zastosowanie fotogrametrii cyfrowej bliskiego zasięgu.

2. METODYKA MODELOWANIA

Pojęcie „modelowanie 3D” ma kilka interpretacji, które można określić w dwóch definicjach (Bujakiewicz, *et al.*, 2004):

- opis kształtu obiektu poprzez określenie jego szkieletu i jeśli jest to niezbędne, stworzenie tekstury obiektu dla wybranych powierzchni konstrukcji
- ustalenie kształtu obiektu poprzez wygenerowanie Numerycznego Modelu Powierzchni Terenu (*Digital Surface Model*), czyli opisanie jego powierzchni poprzez dużą liczbę punktów.

Jedną z form modelowania, jest stworzenie modelu szkieletowego, który jest prostą formą przedstawienia reprezentacji 3D, która opisuje główne zależności struktury budowli. Jest to najprostsza forma prezentacji 3D modelu. Składa się jedynie z linii szkieletowych budowli. Daje ogólne pojęcie o obiekcie, znany jest kształt obiektu, ale powierzchnie nie są wypełnione teksturą. Model szkieletowy wystarcza jednak do wielu zastosowań, jak na przykład obliczenie objętości, wymiarowania detali stworzonego modelu 3D. Taka forma jest wystarczająca również dla planowania i monitoringu obiektu. W przypadku szczegółowej analizy detali obiektu architektonicznego (płaskorzeźby, zdobienia) niezbędny jest jednak model rzeczywisty, który zawiera teksturę obiektu.

Dla tego typu zadań, jak tworzenie modelu szkieletowego czy rzeczywistego, fotogrametria cyfrowa bliskiego zasięgu, bazująca na fotografiach cyfrowych wykonanych amatorskimi aparatami cyfrowymi, staje się powszechna i popularna ze względów ekonomicznych. Metoda ta wymaga jednak pewnych zabezpieczeń, aby zostały zachowane odpowiednie dokładności i zależności geometryczne.

W celu uzyskania żądanej szczegółowości i dokładności i zrekonstruowanego obiektu należy spełnić następujące warunki:

- aparat niemetryczny, jeśli takim wykonywane są zdjęcia, musi być sprawdzony pod kątem stabilności orientacji wewnętrznej i błędów systematycznych obrazu; zazwyczaj aparaty takie mają nieznaną orientację wewnętrzną, różną stabilność, dlatego też muszą być skalibrowane.
- wymagana jest identyfikacja wszystkich punktów na zdjęciach, niezbędnych do odtworzenia konstrukcji szkieletowej i definiowania powierzchni do tworzenia tekstur.
- podczas ekspozycji zdjęć musi być zapewniona geometria, która zapewni odpowiednią dokładność opracowania.
- dla uzyskania modelu szkieletowego niezbędne są punkty osnowy założone na obiekcie w układzie odniesienia; punkty te (sygnalizowane lub naturalne) muszą być odpowiednio wyznaczone wokół, bądź na powierzchni obiektu i zidentyfikowane na zdjęciach; wymagana jest identyfikacja wszystkich punktów na zdjęciach, niezbędnych do odtworzenia konstrukcji szkieletowej i definiowania powierzchni do tworzenia tekstu.

- należy wybrać odpowiedni program (pakiet) umożliwiający opracowanie zdjęć wykonanych niemetrycznym aparatem, rekonstrukcję wiązek, odpowiedniej ich orientacji do układu odniesienia i wykonanie modelu.

Zarówno dokładność jak i stopień szczegółowości detali obiektu zależą od zdefiniowanych parametrów opracowania. W przedstawionym eksperymencie do rekonstrukcji detali 3D wykorzystano program PhotoModeler a do ich wymiarowania wykorzystano program AutoCAD.

3. RYS HISTORYCZNY OPRACOWYWANEGO OBIEKTU SAKRALNEGO

Niniejszy artykuł dotyczy opracowania modeli 3D wybranych detali ołtarza Najświętszego Sakramentu w kościele Świętego Krzyża w Warszawie, - na podstawie niemetrycznych zdjęć archiwalnych, (wykonanych w 1926, 1939r).

Kościół Świętego Krzyża, w wyniku Powstania Warszawskiego, uległ prawie całkowitemu zniszczeniu (rys.1). Jego odbudowa rozpoczęła się już w 1945 roku i trwa do dnia dzisiejszego. Ostatnim rekonstruowanym elementem kościoła, jest barokowy ołtarz pw. Najświętszego Sakramentu. Ołtarz został wykonany w XVIII wieku przez dwóch znakomitych mistrzów stolarskich i snycerskich Jana Söffrensa oraz Michała Brozena, na podstawie projektu Tylmana van Gamerena.

W 2004 roku Jan Paweł II podpisał akt erekcyjny odbudowy ołtarza Najświętszego Sakramentu oraz wyraził wolę, aby został on nazwany Ołtarzem Ojczyzny i pełnił taką funkcję, ze względu na wyjątkowe znaczenie Kościoła Świętego Krzyża, zarówno dla Warszawy, jak i dla całej Polski.



Rys. 1. Ruiny kościoła Św. Krzyża po Powstaniu Warszawskim w 1944 roku

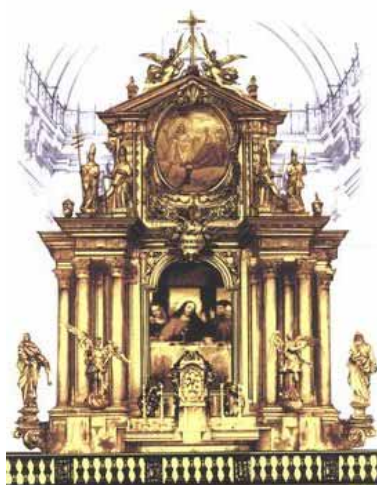
Zaprojektowana rekonstrukcja ołtarza Najświętszego Sakramentu mogła zostać wykonana dzięki dostępnym źródłom (Górecka, 2006), które stanowią:

- źródła ikonograficzne – w szczególności cztery fotografie pokazujące ołtarz Najświętszego Sakramentu w stanie sprzed zniszczenia.

- drugim źródłem są rysunki projektowe Tylmana van Gameren. Trzy projekty nastaw ołtarzy zostały znalezione pośród zespołu ponad 1300 rysunków architektonicznych w Ośrodku Dokumentacji Zabytków Ministerstwa Kultury i Sztuki, w Gabinecie Rycin Biblioteki Uniwersytetu Warszawskiego. Projekty nastaw ołtarzowych powstały przed 1696 rokiem. Dwie z nich dotyczą ołtarza Najświętszego Sakramentu, a trzecia ołtarza Św. Felicissimy. Są to jedynie warianty wstępne tych dwóch transeptowych ołtarzy. Wzniesione ołtarze różnią się od projektów głównie rozmiarami i proporcjami, ale zasadnicza idea ich architektury i dekoracji została zrealizowana według istniejących szkiców projektowych.
- trzecim źródłem – jest zachowany in situ niemal identyczny ołtarz Św. Felicissimy. Jest to ołtarz bliźniaczy nieistniejącego obecnie ołtarza Najświętszego Sakramentu. Jak wynika z analizy materiałów źródłowych i ikonograficznych kompozycje obu ołtarzy są zbliżone.



Rys.2. Ołtarz Świętej Felicissimy



Rys.3. Projekt rekonstruowanego Ołtarza Najświętszego Sakramentu

Ołtarz Św. Felicissimy (rys.2) jest podobny do ołtarza Najświętszego Sakramentu. Projekty nastaw obu ołtarzy są dziełem tego samego autora i musiały powstać jako jeden zespół w podobnym czasie t.j. przed 1696 rokiem. Ich bliźniaczy charakter wynika z jednorodności w zakresie struktury architektonicznej oraz układu proporcji i proporcji rzeźby figuralnej, jak również w zakresie szczegółowych rozwiązań ornamentalnych. Świadczy o tym również identyczny obrys obu ołtarzy, plan i rozwiązanie elewacji oraz to, co najistotniejsze czyli rozmiary i wzajemne proporcje części.

Poza wyżej wymienionymi podobieństwami, ustalono, że oba ołtarze zostały wykonane przez ten sam warsztat Jana Söffrensa z Elbląga. Dzięki temu rekonstruując rzeźby figuralne i ornamenty ołtarza Najświętszego Sakramentu można wzorować się na ołtarzu św. Felicissimy. Powyższe ustalenia dowodzą, że obie nastawy były na tyle do siebie podobne, iż zachowany ołtarz św. Felicissimy może służyć jako podstawa do rekonstrukcji zniszczonego ołtarza Najświętszego Sakramentu.

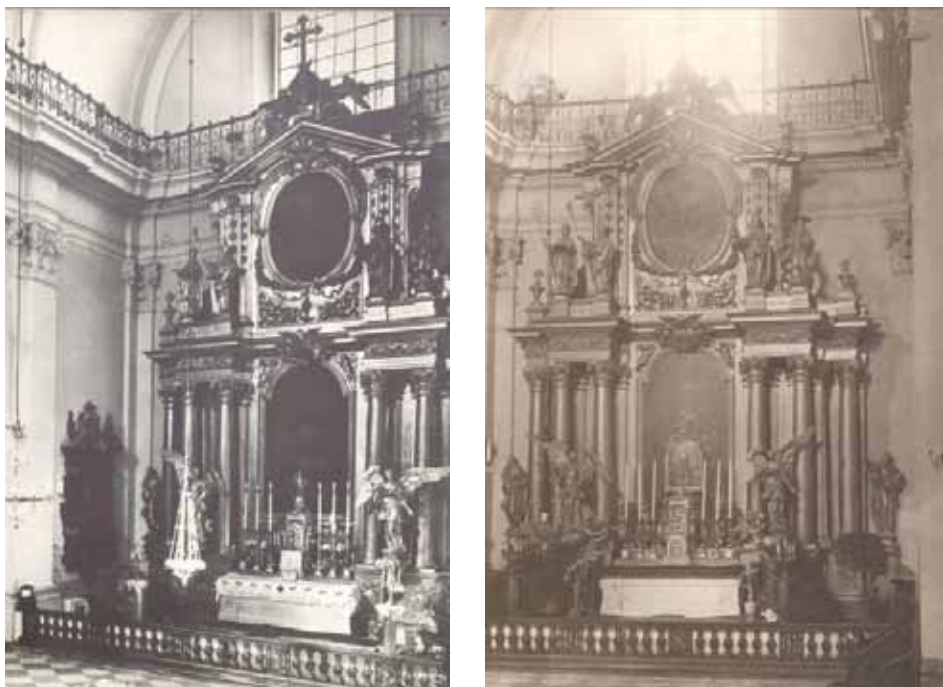
Dlatego podstawowym źródłem, wykorzystanym przy rekonstrukcji ołtarza Najświętszego Sakramentu (rys.3), detali ołtarza, pod względem metrycznym, jest zachowany bliźniaczy ołtarz Świętej Felicissimy, który został wykonany przez tego samego autora, Tylmana van Gamerena.

Fotogrametryczne opracowanie szkieletu ołtarza św. Felicissimy (Górecka, 2006), dostarczyło danych metrycznych do rekonstrukcji ołtarza Najświętszego Sakramentu. Dokumentacja fotogrametryczna została opracowana na autografie analitycznym P3 na podstawie stereogramu zdjęć wykonanych kamerą UMK.

4. REKONSTRUKCJA DETALI OŁTARZA NAJŚWIĘTSZEGO SAKRAMENTU

4.1. Zdjęcia archiwalne

Rekonstrukcja modelu 3D detali ołtarza wykonana została na podstawie trzech zeskanowanych zdjęć archiwalnych (rys.4, rys.5), przedstawiających ołtarz Najświętszego Sakramentu. Pochodzą one z różnych okresów, wykonane są amatorskimi aparatami niemetrycznymi, o nie znanych elementach orientacji. Są to bardzo stare pocztówki, które przypuszczalnie nie stanowią odbitek stykowych, lecz kadry zdjęć. Dwa zdjęcia przedstawiają ołtarz w całości, natomiast jedno jedynie jego dolną część. Fakt ten powodował trudności w odpowiednim rozplanowaniu osnowy na ołtarzu, oraz ograniczeniem do pomiaru na dwóch zdjęciach wybranego detalu górnej części ołtarza.



Rys.4. Archiwalne fotografie ołtarza Najświętszego Sakramentu – rok 1926

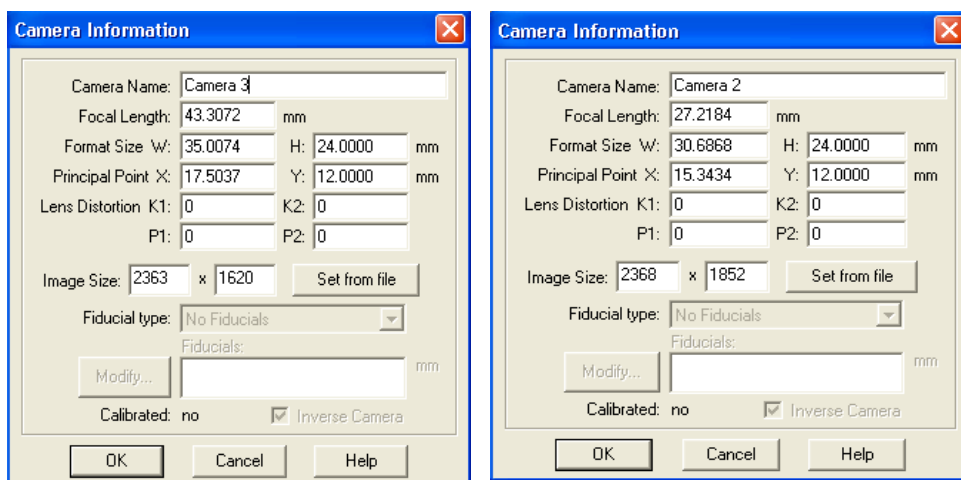


Rys.5. Fotografia archiwalna fragmentu ołtarza Najświętszego Sakramentu - 1939 r

4.2. Kalibracja obrazów archiwalnych

Dla kalibracji każdego zdjęcia wykorzystano odpowiednio wybrane punkty osnowy z opracowania fotogrametrycznego ze stereogramu zdjęć metrycznych wykonanych kamerą UMK bliźniaczego ołtarza św. Felicissimy (Górecka, 2006).

W pierwszym etapie zidentyfikowano 9 fotopunktów, które były widoczne na zdjęciach archiwalnych i na stereogramie. W programie PhotoModeler dla każdego obrazu archiwalnego został założony oddzielny projekt. Na podstawie osnowy, metodą fotogrametrycznego wcięcie wstecz, wyznaczone zostały podstawowe parametry kalibracji każdego zdjęcia (rys. 6), (Ryt, 2007).



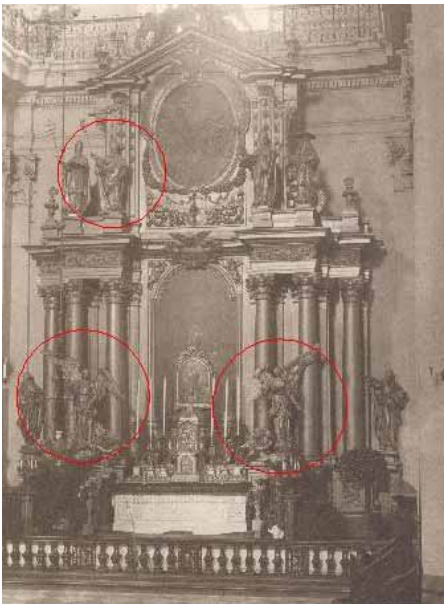
Rys. 6. Przykładowe wyniki kalibracji obrazów archiwalnych

4.3. Modelowanie 3D detali ołtarza

Modelowanie w programie PhotoModeler wykonano w oparciu o osnowę. Do rekonstrukcji fragmentów ołtarza wykorzystano trzy zdjęcia archiwalne (rys. 4, 5), gdzie wybrano trzy różne detale (rys. 7).

Pomiar punktów określonej figury stosując funkcję *Point Mode*, wykonywano pomiar punktów na danym detalu, na jednym zdjęciu. Następnie, aby te same punkty na pozostałych zdjęciach otrzymały te same identyfikatory, użyto modułu referencyjnego *Reference Mode*. Wykonano proces wyrównania i uzyskano przestrzenne położenie wyznaczanych punktów. Rysunek 8 przedstawia przykład opracowania 3D wybranej figury ołtarza.

Po tym etapie, można było przystąpić do eksportu punktów do formatu *dxf*, aby można było dokonać ich edycji w programie AutoCAD.



Rys.7. Wybrane opracowane modele figur



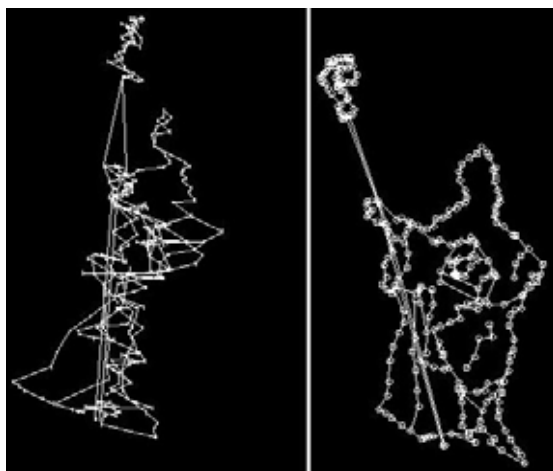
Rys.8. Model 3D wybranej figury

W programie AutoCAD połączono wyeksportowane punkty a następnie połączono je tworząc wektory poszczególnych figur ołtarza (rys.9). Końcowym etapem było zwymiarowanie opracowanych modeli.

Rys.9. Zwymiarowane figura ołtarza Najświętszego Sakramentu

4.4. Analiza wyników

Jak już wcześniej wspomniano, w rozdziale 4.1, jedna z figur widoczna jest jedynie na dwóch zdjęciach, których geometria nie jest korzystna (wykonane z tego samego kierunku), posiadają zbliżone elementy orientacji zewnętrznej. Spowodowało to duże niedokładności w wyznaczeniu przestrzennych punktów tej figury. Figura po obrocie o 90° , powinna tworzyć mniej więcej równomierną postać. Niestety ze względu na ostry kąt wcinający wybrana figura ołtarza została opracowana z dużym przybliżeniem (rys.10), (Bartosik, 2008). Dokładność modelowania w takim przypadku wynosiła kilkanaście centymetrów, w porównaniu z wymiarami figur z bliźniaczego ołtarza.



Rys.10. Ocena dokładności wyznaczonych przestrzennych współrzędnych punktów figury.

Analizując dokładność modelowania pozostałych figur i innych wybranych detali, porównując z miarami rzeczywistymi (przyjętymi z bliźniaczego ołtarza), uzyskano różnice na kontrolnych odcinkach na modelu rzędu $1 \div 3\text{cm}$.

5. PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonych eksperymentów wykazano, że istnieje możliwość tworzenia modeli 3D na podstawie zdjęć archiwalnych o nieznanej orientacji.

W prezentowanym opracowaniu do wykonania szkieletowego modelu bliźniaczego ołtarza i identyfikacji punktów osnowy wykorzystano stereogram zdjęć wykonanych kamerą metryczną UMK i opracowano na autografie analitycznym P-3 w systemie MicroStation. Zeskanowane zdjęcia archiwalne – przedstawiające zniszczony ołtarz Najświętszego Sakramentu - wykorzystano do rekonstrukcji 3D wybranych detali zniszczonego ołtarza wykorzystując program PhotoModeler. Wektoryzację opracowanych figur 3D i ich zwymiarowanie wykonano w programie AutoCAD.

Najważniejszym problemem w opracowaniu zdjęć archiwalnych była odpowiednia interpretacja punktów osnowy i punktów wyznaczanych. W tym przypadku omyłkowa interpretacja punktu osnowy wpływa również na kalibrację kamery, której błędy przenoszą się na jakość odtworzenia modelu. Otrzymane dokładności rzędu $1 \div 3$ cm - z opracowania zdjęć archiwalnych są zadowalające dla konserwatorów. Uzyskane dane metryczne ze stereogramu zdjęć metrycznych, w połączeniu z wykorzystaniem zdjęć archiwalnych, są cennymi danymi wyjściowymi dla rzeźbiarzy i architektów do tworzenia replik zniszczonych detali elementów ołtarza.

6. LITERATURA

Bartosik A., 2008. Rekonstrukcja modelu 3D detali obiektu na podstawie zdjęć archiwalnych. Praca przejściowa, Politechnika Warszawska.

Bujakiewicz A., Kowalczyk M., Podlasiak P., Zawieska D., 2004. Modelling and Visualization of Three Dimensional Objects using Close Range Imagery, Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, XX Congress of ISPRS, Istanbul, Vol. Part B5. p.442.

Georgopoulos A.; Makris G.N.; Dermentzopoulos A., 2005. An Alternative Method for Large Scale Orthophoto Production. CIPA XX International Symposium, 26 Sept.– 01 Oct., Torino, Italy.

Górecka A., 2006. Analityczne opracowanie fotogrametryczne wybranego obiektu sakralnego. Praca dyplomowa inżynierska, Politechnika Warszawska.

Ryt I., 2007. Rekonstrukcja modelu 3D detali obiektu sakralnego na podstawie zdjęć archiwalnych. Praca przejściowa, Politechnika Warszawska.

RECONSTRUCTION OF DETAILS OF 3D HISTORICAL MONUMENTS ON THE BASIS OF ARCHIVAL PHOTOS

KEY WORDS: Reconstruction, Photos, 3D Modelling.

Summary

This paper is aimed at presenting results of reconstructing, based on archival photos taken in 1926 and 1939, selected details of a sacral object - the Holy Sacrament altar in the St. Cross church in Warsaw. Another, twin altar (devoted to St. Felicissima), built by the same artist (Tilman van Gameren) has been preserved. Since both altars were similar in size and shape, and also in various details, the St. Felicissima altar was used as the basic source of information and a model for reconstructing the Holy Sacrament altar. To develop a model of the entire altar, photographs of the St. Felicissima altar were taken with a UMK metric camera and the altar's vector product was compiled using the P3 analytical plotter in the MicroStation system. This made it possible to use some of the features as reference data in the subsequent 3D model reconstruction of details of the Holy Sacrament altar, aided by the archival photos.

The paper describes results of 3D model reconstructions of the altar details. The models were developed from three scanned archival photos showing the Holy Sacrament altar. The photographs date back to different times and were taken by amateur (non-metric) cameras with unknown orientation elements. Each archival photograph was calibrated and the 3D models of selected altar details were reconstructed and measured with the PhotoModeler software; the dimensions were determined using the AutoCAD programme.

dr Dorota Zawieska,
e-mail: dorotaz8@wp.pl
tel. 605458134