

**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; Schönemark *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 wspomaganie 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 wspomaganie 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 Qinga *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 Campos 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 prognozowania 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 zobrazowania 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 przekształcenia 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 wyrządzone 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