

**PRÓBA INTEGRACJI SATELITARNYCH OBRAZÓW  
HIPERSPEKTRALNYCH Z NIEOBRAZOWYMI NAZIEMNYMI DANYMI  
SPEKTROMETRYCZNYMI NA PRZYKŁADZIE  
ZBIORNIKA DOBCZYCKIEGO**

**ASSESSMENT OF INTEGRATION OF HYPERSPECTRAL SATELLITE  
IMAGE WITH NON-IMAGING FIELD SPECTROMETER  
MEASUREMENTS – DOBCZYCKI RESERVOIR EXAMPLE**

**Beata Hejmanowska<sup>1</sup>, Wojciech Drzewiecki<sup>1</sup>, Ewa Głowienka<sup>1</sup>,  
Stanisław Mularz<sup>1</sup>, Bogdan Zagajewski<sup>2</sup>, Jacek Sanecki<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Zakład Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej,  
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

<sup>2</sup>Katedra Geoinformatyki i Teledetekcji, Uniwersytet Warszawski

<sup>3</sup>Miejskie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji S.A. w Krakowie

SŁOWA KLUCZOWE: HYPERION, ALI, ASD, dane hiperspektralne

STRESZCZENIE: W czerwcu 2006 został przeprowadzony eksperyment teledetekcyjny w rejonie Zbiornika Dobczyckiego, w ramach, którego dokonano rejestracji hiperspektralnych obrazów satelitarnych Hyperion i ALI. Równocześnie przeprowadzono pomiary naziemne za pomocą spektrometru FieldSpec HH firmy ASD Inc., (Analytical Spectral Device) oraz pobrano próby osadów dennych ze zbiornika i wody nad osadowej. Miejsce pobrania prób wyznaczano za pomocą odbiornika GPS. Do przetwarzania obrazów satelitarnych oraz ich porównania z pomiarami spektrometrycznymi wykorzystano oprogramowanie ENVI. Ostatecznie wybrane z obrazów z HYPERION kompozycje barwne oraz wyniki analiz zostały zintegrowane z innymi warstwami istniejącymi już w bazie danych GIS (archiwalne obrazy satelitarne, lotnicze, mapy topograficzne, mapa sozologiczna, mapa glebowa, DTM) w środowisku Geomedia. Wykorzystano możliwość integracji różnych formatów i układów współrzędnych (1992 – ortofotomapa, DTM, mapa sozologiczna, 1942 – mapa glebowa, UTM – archiwalne obrazy satelitarne, pomiar GPS). Przetwarzanie obrazów hiperspektralnych za pomocą oprogramowania ENVI polegało, na wstępnej korekcji wpływu atmosfery i próbie porównania krzywych spektrometrycznych z krzywymi spektralnymi z obrazów satelitarnych. Ostatnim etapem była analiza porównawcza wyników pomiaru bezpośredniego wody nad osadowej z przebiegiem krzywych spektralnych uzyskanych teledetekcyjnie. W artykule opublikowano wstępne rezultaty badań prowadzonych w ramach projektu KBN 3T 09D 09429 pt. „Badania procesów akumulacji i przemian związków chemicznych w osadach Dobczyckiego Zbiornika wody pitnej dla miasta Krakowa w celu oceny jego stanu jako ekosystemu”. Uzyskane w omawianym eksperymencie wyniki stanowią potencjalnie znacznie większy materiał badawczy niż zostało to zaprezentowane w publikacji. W przyszłości planowane są dalsze prace w kierunku lepszej wstępnej kalibracji obrazów satelitarnych, co umożliwiłoby wiarygodne porównanie pomiarów naziemnych i obrazów satelitarnych.

## 1. WPROWADZENIE

Prace nad wykorzystaniem technik teledetekcyjnych do badania właściwości wody w zbiornikach naturalnych i sztucznych są prowadzone od szeregu lat. Bazują one zarówno na obrazach wielospektralnych, jak i ostatnio na danych hiperspektralnych. Podczas przetwarzania danych teledetekcyjnych pojawia się szereg problemów, które opisywane są w literaturze (Dekker *et al.*, 2001; Hellweger *et al.*, 2004; Osińska-Skotak, 2005; Osińska-Skotak *et al.*, 2005; Ostlund *et al.*, 2001; Vos, 2003). Problemy pojawiają się między innymi podczas wstępnego przetwarzania danych, w tym korekcji zakłócającego wpływu atmosfery lub ukształtowania terenu, a także przy porównywaniu danych pomierzonych bezpośrednio w terenie z danymi teledetekcyjnymi lotniczymi, czy satelitarnymi.

Przedmiotem niniejszych badań była analiza możliwości detekcji stanu wód Zbiornika Dobczyckiego z wykorzystaniem obrazów hiperspektralnych kalibrowanych w oparciu o naziemne pomiary spektrometryczne.

## 2. DANE KARTOGRAFICZNE

### 2.1. Dane wektorowe

Dla potrzeb projektu pozyskano dane wektorowe Urzędu Marszałkowskiego w Krakowie, które obejmują następujące klasy obiektów:

- obiekty naturalne: rzeki, wody powierzchniowe, lasy,
- obiekty infrastruktury technicznej: drogi, koleje, stacje kolejowe,
- obiekty infrastruktury wodnej: wały i skarpy, stopnie wodne,
- obiekty antropogeniczne: kompleksy społeczno-techniczne, kompleksy osiedlowe, kompleksy społeczne, zabudowa wielkoprzemysłowa,
- obiekty administracyjne: granice gmin, powiatów, arkusze map topograficznych,
- obiekty pojedyncze o różnej funkcji,
- obiekty administracyjne: gminy, arkusze map 1:10 000.

Dane zgromadzone są Access'ie w układzie współrzędnych PUWG1992 (baza danych GIS programu GeoMedia). Klasy obiektów zgromadzone w bazie stanowią tło kartograficzne dla badań prowadzonych w projekcie. Dodatkowo do standardowej bazy UM dołączono klasę obiektów obejmującą gleby.

### 2.2. Mapa sozologiczna

W Urzędzie Marszałkowskim w Krakowie, oprócz wyżej wymienionych warstw kartograficznych, znajdują się dane sozologiczne. Dane, w układzie 42 zgromadzono w bazie GIS z wykorzystaniem oprogramowania MapInfo. Mapa sozologiczna została wykonana zgodnie z Wytocznymi Technicznymi K-36, Głównego Urzędu Geodezji Kartografii (GUGIK) w 2001 r. Dane z mapy sozologicznej stanowią uzupełnienie informacji geograficznej z punktu widzenia ochrony środowiska i ewentualnej analizy źródeł zanieczyszczeń wód i gleb.

### **3. EKSPERYMENT TELEDETEKCYJNY**

W ramach projektu badawczego przeprowadzony został eksperyment pomiarowy, w trakcie którego pobierano próby osadów dennych Zbiornika Dobczyckiego oraz wody nad osadowej. Wykonywano również symultaniczne pomiary spektrometryczne za pomocą spektrometru FieldSpec HH ASD, rejestrującego promieniowanie w zakresie (0.35÷1.075  $\mu\text{m}$ ). Równocześnie przeprowadzano rejestracje obrazów satelitarnych HYPERION i ALI. Eksperyment wykonywano w dn. 8.06.2006 r. i w dn. 26-28.06.2006 r. Z uwagi na warunki pogodowe wybrano obrazy zarejestrowane w dn. 26.06.2006 r.

### **4. DANE HIPERSPEKTRALNE**

#### **4.1. Obrazy hiperspektralne –HYPERION**

Obrazy HYPERION i ALI są rejestrowane przez platformę EO1. Szerokość i długość pasa rejestracji wynosi odpowiednio dla HYPERION'a – 7.7 km na 42 lub 185 km, a ALI – 37 km na 42 lub 185 km. Zakres spektralny rejestracji HYPERION'a wynosi 0.35÷2.5  $\mu\text{m}$ , a ALI: 0.433÷2.35  $\mu\text{m}$ . Rozdzielczość przestrzenna obu obrazów wynosi 30m. HYPERION, jest obrazem hiperspektralnym – 220 kanałów (VNIR 70 kanałów, 356÷1058 nm, SWIR 172 kanały, 852÷2577 nm), szerokość zakresu spektralnego kanału - 10 nm, rozdzielczość radiometryczna – 12 bitów. Na obraz ALI składa się kanał panchromatycznych o rozdzielczości przestrzennej 10 m i 9 kanałów z zakresu 0.433÷2.35  $\mu\text{m}$  o rozdzielczości przestrzennej 30 m.

#### **4.2. Naziemne pomiary hiperspektralne**

Naziemne pomiary spektrometryczne wykonano z łodzi za pomocą spektrometru FieldSpec ASD pracującego w zakresie (0.35÷1.075  $\mu\text{m}$ ). Mierzono każdorazowo promieniowania odbite od wzorca bieli, czerni i wody.

### **5. OPROGRAMOWANIE**

W projekcie badawczym wykorzystywane są różnego rodzaju dane, w różnych formatach i układach współrzędnych (dane kartograficzne PUWG1992, układ 42, obrazy satelitarne oraz bezpośrednie pomiary GPS położenia miejsc pomiarów naziemnych - UTM34). Platformą integrującą dane jest program GeoMedia Professional. Obrazy teledetekcyjne przetwarzano za pomocą oprogramowania ENVI.

### **6. OZNACZENIA LABORATORYJNE PRÓB WODY NAD OSADOWEJ.**

W wodzie pobranej ze zbiornika oznaczano laboratoryjnie zawiesinę, części mineralne, części organiczne, ABS (absorbancję),  $\text{PO}_4^{3-}$ , P, chlorofil ogólny, feofitynę, chlorofil-a. Ponadto mierzono stopień zmętnienia (dysk Secchi'ego), temperaturę, pH, potencjał i przewodność.

## 7. METODYKA PRZETWARZANIA DANYCH

Obrazy teledetekcyjne były wstępnie analizowane na podstawie kompozycji w barwach naturalnych (kanały: niebieski, zielony i czerwony) oraz kompozycji w barwach zafałszowanych, tzw. FCC – *False Color Composite*, kanały: zielony, czerwony i podczerwony.

Celem wstępnych badań była próba porównania wyników spektrometrycznych pomiarów naziemnych z krzywymi spektralnymi uzyskanymi z obrazów satelitarnych oraz sprawdzenie korelacji pomiędzy własnościami spektralnymi wody, a oznaczeniami laboratoryjnymi.

Porównanie spektrometrycznych krzywych spektralnych z danymi obrazowymi jest możliwe pod warunkiem wykonania korekcji zakłócającego wpływu atmosfery. Korekcje wykonano metodą Flat Field. Następnie przeprowadzono klasyfikację obrazów metodą SAM (Spectral Angle Mapper).

Automatyczna klasyfikacja obrazu wymaga znalezienia na nim jednolitych spektralnie pól treningowych. W przypadku klasyfikacji obrazów hiperspektralnych proces ten polega na odszukaniu pikseli czystych spektralnie (*endmembers*), z których tworzone są sygnatury treningowe, bądź też na pozyskaniu charakterystyk spektralnych *in situ* (w tym przypadku pomiary spektrometrem FieldSpec). Otrzymane w ten sposób krzywe spektralne, określające wielkość współczynnika odbicia w poszczególnych zakresach promieniowania elektromagnetycznego, są uznawane za czyste spektralnie, gdyż odzwierciedlają charakterystyki tylko jednego obiektu.

Klasyfikacja SAM to automatyczna metoda przyrównująca wektory spektralne każdego piksela, powstałe z analizy krzywej odbicia spektralnego pozyskanej z każdego piksela obrazu oddzielnie i wzorcowej krzywej obiektu czystego spektralnie (*endmembers*). Obliczony kąt spektralny (bądź też odległość spektralna) pozwala na utworzenie obrazu, dla każdej klasy oddzielnie. Każdy piksel prezentuje wartość owej odległości. Analizując obrazy będące wynikiem tej klasyfikacji należy kierować się wartościami poszczególnych pikseli świadczącymi o ich podobieństwie do danej klasy reprezentowanej przez obraz wynikowy. Im niższa wartość danego piksela, tym to podobieństwo jest większe, a więc większe jest również prawdopodobieństwo, że ów piksel zostanie przydzielony do danej klasy.

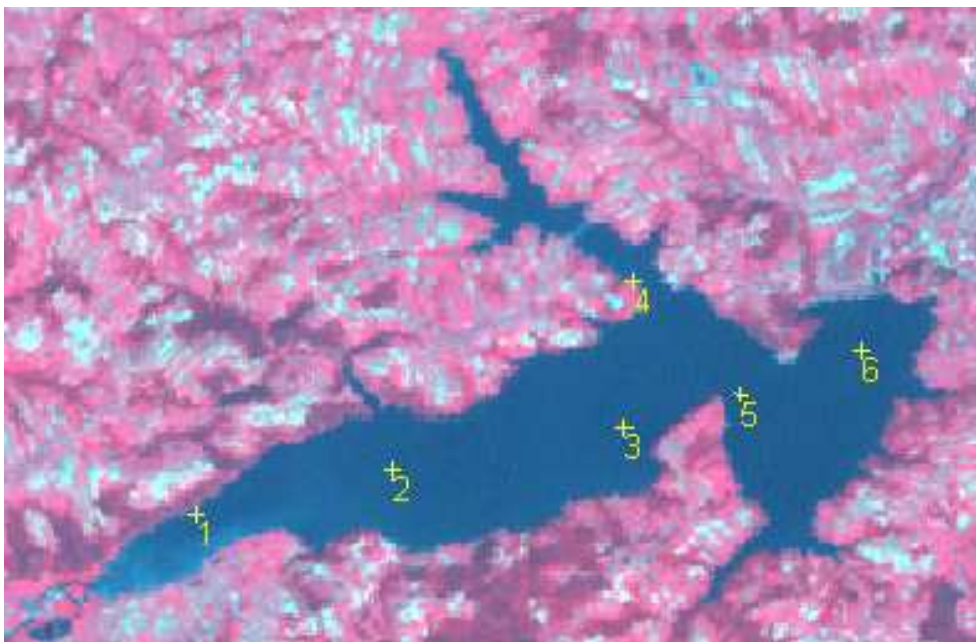
W kolejnych etapach badań wykorzystane zostaną obie metody poszukiwania sygnatur czystych spektralnie (obok pomiarów terenowych planuje się wykorzystać specjalny wskaźnik czystości pikseli PPI (Pixel Purity Index). Zastosowany w obliczeniach algorytm znajdzie na zobrazowaniu spektralnie czyste piksele poprzez powtarzalną projekcję losowo dobranych osi na  $n$ -wymiarowej przestrzeni spektralnej. Efekt ten powinien jeszcze zwiększyć uzyskane dokładności (Zagajewski *et al.*, 2006; Hejmanowska, Głowienka, 2004).

## 8. WYNIKI

W wyniku przeprowadzonego eksperymentu pozyskano obraz satelitarny HYPERION i ALI, oraz w 6 punktach pomiarowych – naziemne krzywe spektrometryczne oraz wyniki badań laboratoryjnych prób wody nad osadowej.

Punkty poboru prób i naziemnych pomiarów spektrometrycznych przedstawiono na tle obrazu satelitarnego, a warunki pomiaru, przykładowo na fotografiach (rys. 1, 2).

Kompozycje barwne (w barwach naturalnych i zafałszowanych – FCC) z obrazu ALI porównano z kompozycjami utworzonymi w oparciu o obrazy HYPERION (rys. 3).



Rozmieszczenie punktów pomiarowych

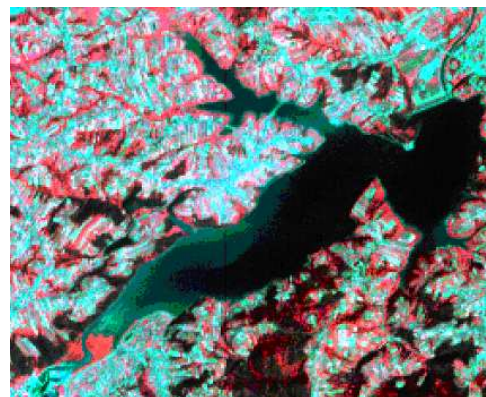
Rys. 1. Rozmieszczenie punktów poboru prób i naziemnych pomiarów spektrometrycznych



Rys. 2. Pomiar spektrometryczny



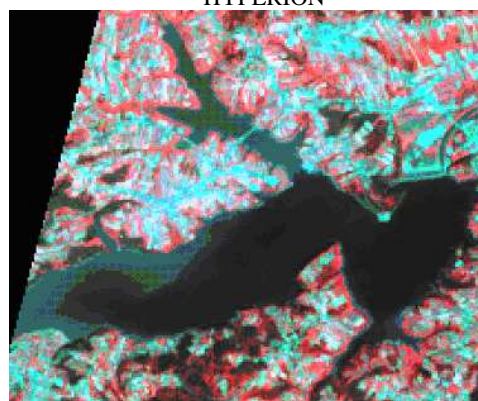
Kompozycja w barwach naturalnych  
HYPERION



Kompozycja w barwach umownych FCC  
HYPERION

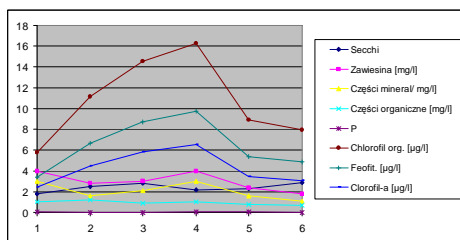


Kompozycja w barwach naturalnych ALI

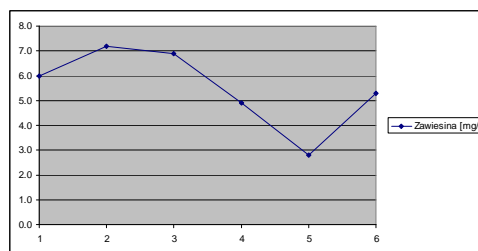


Kompozycja w barwach umownych FCC ALI

Rys. 3. Kompozycje barwne – HYPERION, ALI



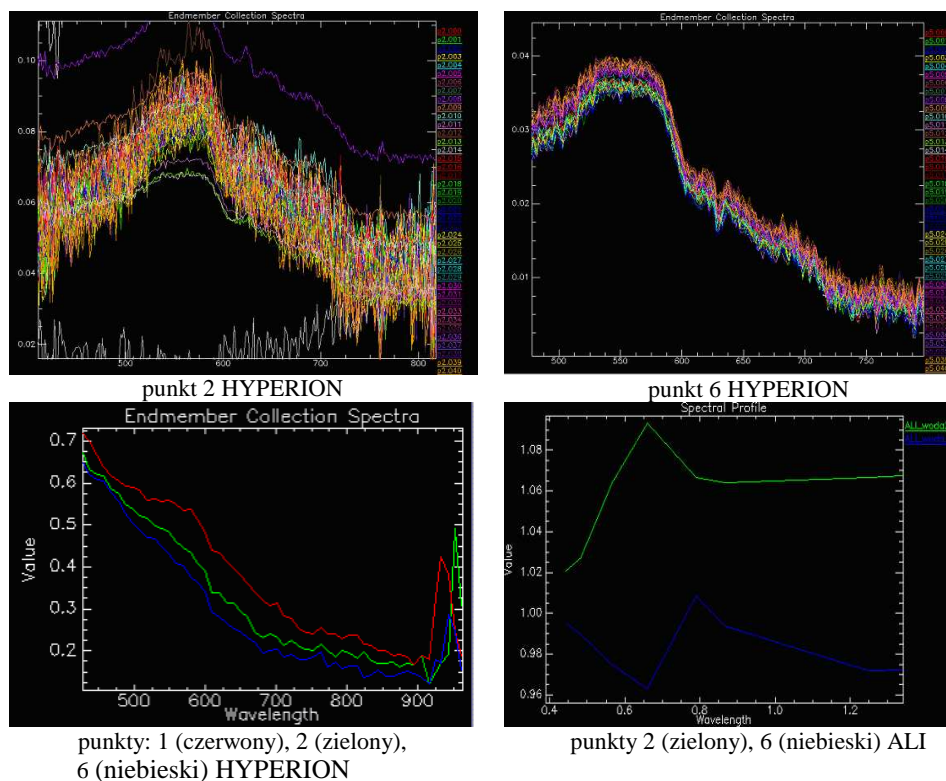
8.06.2006



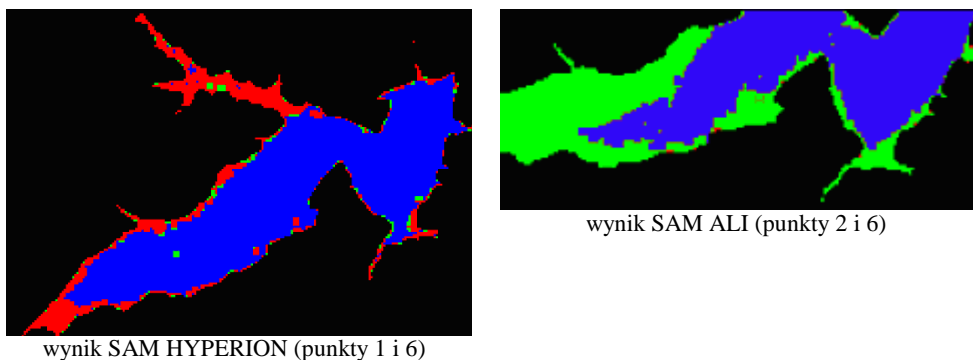
26.06.2006

Rys. 4. Wyniki laboratoryjnych pomiarów bezpośrednich

Próba integracji satelitarnych obrazów hiperspektralnych z nieobrazowymi naziemnymi danymi spektrometrycznymi na przykładzie Zbiornika Dobczyckiego



Rys. 5. Wyniki spektrometrycznych pomiarów naziemnych



Rys. 6. Wyniki klasyfikacji obrazu metodą SAM

Wybrane właściwości wody, oznaczone laboratoryjnie, przedstawiono dla każdego punktu pomiarowego na rysunku (rys. 4). Wyniki pomiaru z dn. 26.06.2006 są niekompletne, więc na wykresie z prawej strony przedstawiono tylko zawiesinę. Porównując wyniki z obu pomiarów daje się zauważyć ogólnie mniejszą zawartość zawiesiny z dn. 26.06.2006 w porównaniu z dn. 8.06.2006 oraz nieznacznie inny jej

rozkład w punktach pomiarowych. Generalnie ilość zawiesiny rośnie dla punktów: 1,2,3,4 (w górnej części zbiornika i w Zatoce Wolnicy) i spada dla punktów bliżej zapory (5 i 6). Ogólnie rozkład jasności obrazu, który można prześledzić na kompozycjach na rysunku (rys. 3) zgadza się z wynikami pomiarów laboratoryjnych. Pewna niekonsekwencja pojawia się w punktach 3 i 4, w tym punkcie zwiększenie jasności jest być może spowodowane czynnikiem atmosferycznym (obszar zaznaczony na rysunku 3).

Wyniki pomiarów spektrometrycznych w dwóch punktach: 2 i 6 zamieszczono na wykresie współczynnika odbicia od długości fali na rysunku 5 (górne wykresy). Poniżej znajdują się krzywe spektralne otrzymane w tych punktach z obrazów satelitarnych. Porównując wyniki pomiaru spektrometrycznego w punktach 2 i 6 można zauważyć, poza nieco innym charakterem pików, również inną wartość odbicia – w punkcie 2 ok. 0.08, a punkcie 6 ok. – 0.02. W przypadku krzywych z obrazów HYPERION i ALI można zaobserwować oczywiście degradację krzywych dla obrazu ALI, co wynika z innej rozdzielczości spektralnej. Przebieg krzywych z obrazu HYPERION, w punktach: 1,2 i 6 jest zgodny z interpretacją wizualną (podobnie w punktach: 2 i 6 ALI). Pomimo wstępnej kalibracji obrazów teledetekcyjnych nie jest jednak możliwe wiarygodne porównanie krzywych spektralnych i uzyskanych z obrazów satelitarnych. Wykonano jednak klasyfikację obrazów HYPERION i ALI metodą SAM i jej wyniki znajdują się na rysunku 6. Strefy na rysunku oznaczają obszary, dla których właściwości spektralne obrazu są zgodne z krzywymi spektrometrycznymi na poziomie 0.3 radiana (czyli nie jest to zgodność wysoka). Wyniki klasyfikacji obrazu na rysunku 6 mają jedynie znaczenie hiperspektralnych w oparciu o analizę krzywych spektralnych SAM. Niestety nie wykonano w sposób zadawalający wstępnej kalibracji obrazów, stąd też problem w porównaniu krzywych z pomiaru spektrometrycznego i z obrazów.

## 9. WNIOSKI

W publikacji przedstawiono wstępne wyniki eksperymentu pomiarowego przeprowadzonego w czerwcu 2006. Zintegrowano przestrzennie pozyskane dane teledetekcyjne, pomiary GPS i wyniki oznaczeń laboratoryjnych.

Uzyskano zgodność jakościową pomiędzy wynikami pomiarów laboratoryjnych (np. zawiesiną), a jasnością obrazu kompozycji barwnych HYPERION i ALI w około 70 % (w punktach na 6).

W wyniku pomiarów spektrometrycznych uzyskano znaczącą różnicę współczynnika odbicia pomiędzy górnym obszarem zbiornika, o większej ilości zawiesiny (punkt 2 – uśredniony współczynnik odbicia – 0.06, zawiesina – 7.2 [mg/l]), a dolnym obszarem (punkt 6 – uśredniony współczynnik odbicia: 0.002, zawiesina – 5.3 [mg/l]).

Natomiast próba porównania wyników pomiarów spektrometrycznych z krzywymi spektralnymi uzyskanymi z obrazów teledetekcyjnych nie zakończyła się sukcesem.

W podsumowaniu można stwierdzić, że potencjał zgromadzonych danych jest duży i nie został jeszcze w prezentowanych badaniach wykorzystany. Planowane są intensywne prace nad wstępną kalibracją danych satelitarnych, głównie w celu usunięcia zakłócającego



wpływu atmosfery. W dalszej kolejności zostaną wykonane analizy porównawcze wyników pomiarów spektrometrycznych z krzywymi spektralnymi uzyskanymi z obrazów satelitarnych.

Wykonywanie takich symultanicznych eksperymentów jest trudnym przedsięwzięciem, między innymi z powodu konfliktu związanego z możliwością wykonania ograniczonego opróbowania w terenie, a zapotrzebowaniem na wiarygodną ilość punktów do kalibracji w analizie badawczej obrazów satelitarnych.

## 10. LITERATURA

Dekker A.G., Vos R.J., Peters S.W.M., 2001. Comparison of remote sensing data, model results and in situ data for total suspended matter (TSM) in the southern Frisian lakes. *The Science of the Total Environment*, 268 (2001), s. 97-214.

Hejmanowska B., Głowienka E., 2004. Wstępne wyniki pomiarów spektrometrycznych i klasyfikacji obrazów hiperspektralnych rekultywowanego obszaru Tarnobrzskiego Zagłębia Siarkowego. *Geoinformatica, Polonica*, T.6.

Hellweger F.L., Schlosser P., Lall U., Weisel J.K., 2004. Use of satellite imagery for water quality studies in New York Harbor. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 61 (2004), s. 437-448.

HYPERION, 2006. <http://eo1.usgs.gov/>

Osińska-Skotak K., 2005. Influence of atmospheric correction on determination of lake water quality parameters based on CHRIS/PROBA images. 25<sup>th</sup> EARSeL Symposium, 2005.

Osińska-Skotak K., Kruk M., Mróz M., Ciołkowska M., 2005. Possibilities of lake water quality monitoring based on CHRIS/PROBA superspectral data. 25<sup>th</sup> EARSeL Symposium, 2005.

Ostlund C., Flint P., Strombeck N., Pierson D., Lindell T., 2001. Mapping of the water quality of Lacke Erken, Sweden for Imaging Spektrometry and Landsat Thematic Mapper. *The Science of the Total Environment*, 268 (2001), s. 139-154.

Vos R.J., Hakvoort J.H.M., Jordans R.W.J., Ibelings B.W. 2003. Multiplatform optical monitoring of eutrophication in temporally and spatially variable lakes. *The Science of the Total Environment*, 312 (2003), s. 221-243.

Zagajewski B., Sobczak M., Wrzesień M., Kozłowska A., Krówczyńska M., 2006. Kartowanie górskich zbiorowisk roślinnych z użyciem obrazów hiperspektralnych DAIS7915. Materiały konferencyjne Tatry 2005 „Tatrzański Park Narodowy na tle innych górskich terenów chronionych. Zakopane 13 - 15 październik 2005. TPN – PTPNoZ Oddział Krakowski, Kraków (w druku).

**ASSESSMENT OF INTEGRATION OF HYPERSPECTRAL SATELLITE IMAGE  
WITH NON-IMAGING FIELD SPECTROMETER MEASUREMENTS –  
DOBCZYCKI RESERVOIR EXAMPLE**

KEY WORDS: HYPERION, ALI, ASD, Imaging Spectroscopy, hyperspectral data

**Summary**

In June 2006, a remote sensing experiment for Dobczyce Reservoir monitoring, was performed. The following data was gathered: hyperspectral images – HYPERION, multispectral images – ALI, ASD spectrometer measurements, laboratory measurements of water probe in 6 points of the reservoir. Point position was measured by GPS.

Images were processed using ENVI software, initial correction and data extraction was performed. For integration, data in different formats and Geomedia coordinate systems was applied.

In the paper, some results of laboratory measurements area are presented. The data was analyzed on the satellite composition to test the qualitative correlations between images and laboratory measurements. A coincidence was obtained in about 70 % (its reliability is limited because of amount of measurement points). Reflection coefficient in upper part of reservoir (more suspended matter) was ca. 0.06 and in lower part it was ca. 0.02, which confirms the quantitatively visual interpretation of the satellite composition.

Unfortunately, comparison between spectrometric measurements with the spectral curve from satellite image was not successful. Image correction of the atmospheric effect was probably not satisfactory.

In this paper, only initial results of the experiment are presented. In the future, the improvement of the initial correction is planned to make the comparison between spectrometer and image spectral curves possible.

Dr hab. inż. Beata Hejmanowska  
e-mail: galia@agh.edu.pl  
tel. +12 6172288

Dr hab. inż. Stanisław Mularz, prof. AGH  
e-mail: mularz@agh.edu.pl  
tel. +12 6172288

Dr inż. Wojciech Drzewiecki  
e-mail: drzewiec@agh.edu.pl  
tel. +12 6173993

Mgr inż. Ewa Głowienka  
e-mail: eglo@interia.pl  
tel. +12 6172288

Dr Bogdan Zagajewski  
e-mail: bogdan@uw.edu.pl  
tel. +22 5521507

Dr Jacek Sanecki  
e-mail: jacek.sanecki@mpwik.krakow.pl  
tel. +12 6192014