

**WYKORZYSTANIE TELEDETEKCJI SATELITARNEJ DO BADANIA  
PROCESU AKUMULACJI ZANIECZYSZCZEŃ  
W REJONIE ZBIORNIKA DOBCZYCKIEGO**

**USING OF SATELLITE REMOTE SENSING FOR WATER  
CONTAMINANTS ACCUMULATION PROCESS ASSESSMENT  
IN DOBCZYCE RESERVOIR**

**Stanisław Mularz, Wojciech Drzewiecki, Beata Hejmanowska, Tomasz Pirowski**

Zakład Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej,  
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

**SŁOWA KLUCZOWE:** teledetekcja satelitarna, sensor ALI, zanieczyszczenia wód, zbiorniki wodne

**STRESZCZENIE:** W artykule przedstawiono wstępne wyniki badań dotyczących próby wykorzystania obrazów zarejestrowanych z pokładu satelity EO-1 za pomocą sensora ALI (Advanced Land Imager) dla oceny stanu, relacji przestrzennych procesu akumulacji oraz sposobu propagacji zanieczyszczeń w obrębie testowanego rezerwuaru – Zbiornika Dobczyckiego. Metodyka badań polegała na wykorzystaniu różnych procedur przetwarzania pełnego zestawu wielospektralnych danych obrazowych. Procedury te można ująć w dwa główne segmenty:

- wzmacnianie odwzorowania (modyfikacja kontrastu, progowanie, techniki filtracyjne, fuzja kanału panchromatycznego z kanałami spektralnymi)
- ekstrakcja informacji tematycznej (wagowanie obrazów, generowanie kompozycji barwnych wraz z ich analizą statystyczną, automatyczna klasyfikacja danych wielospektralnych).

Skoncentrowano się na ocenie pojemności informacyjnej kompozycji barwnych pełnego zestawu wielospektralnych danych satelitarnych, w oparciu o różne procedury statystyczne (wskaźniki OIF i MOIK). Następnym etapem było testowanie przydatności procedur wzmocnienie przestrzennej informacji spektralnej z uwagi na 16 bitowy zapis wykorzystano, nie stosowaną do tej pory w Polsce metodę lokalnej korelacji. Zasadnicze zadanie polegało na kategoryzacji wód zbiornika ze względu na rejestrowaną zawiesinę. Zadanie to zrealizowano poprzez klasyfikację nienadzorowaną i progowanie. W toku badań uzyskano niezwykle interesujący obraz przestrzenny rozplywu zawiesiny, stanowiącej efekt dostawy materii mineralnej i organicznej, przede wszystkim z obszaru zlewni bezpośredniej zbiornika, a zwłaszcza z jej północnej części. Obserwuje się przy tym wyraźną strefowość, będącą wynikiem zróżnicowanej koncentracji zawiesiny oraz dających się śledzić kierunków jej propagacji. Rezultaty badań pozwalają na stwierdzenie, że satelitarne obrazy pozyskiwane za pomocą sensora ALI mogą być z powodzeniem wykorzystywane do oceny stopnia i przestrzennego rozkładu zanieczyszczeń sztucznych zbiorników wodnych, ładunkiem materii mineralnej i organicznej. Planowana jest kontynuacja badań w ramach projektu badawczego KBN zlewni górnej Raby.

## 1. WPROWADZENIE

Zachowanie pojemności zbiorników retencyjnych oraz utrzymanie w nich odpowiedniej jakości wód (zwłaszcza w zbiornikach wykorzystywanych do zaopatrzenia w wodę pitną ludności dużych aglomeracji, do których należy Zbiornik Dobczycki) posiada ogromne znaczenie społeczne i gospodarcze. W wielu miejscach na świecie podejmowane, więc są działania mające na celu ograniczenie ilości osadów transportowanych przez wody powierzchniowe zasilające zbiornik. Działania takie przyjmować mogą różnorodną postać – od rozwiązań „końca rury” polegających np. na budowie małych zbiorników retencyjnych powyżej głównego zbiornika czy wprowadzaniu buforowych pasów zieleni w strefie brzegowej rzek, aż po rozwiązania mające na celu ograniczenie ilości osadów w miejscu ich powstawania, czyli zapobieganie erozji wodnej gleb, np. poprzez zmianę sposobu i struktury użytkowania terenu (Verstraeten *et al.*, 2003). Niejednokrotnie działania te przybierają formę zintegrowanych programów zarządzania zlewnią. Podjęcie odpowiednich działań i dobór metod ograniczania ilości osadów transportowanych przez wody powierzchniowe wymaga przede wszystkim oceny ładunku osadów docierających do wód w efekcie zachodzących w zlewni procesów erozyjnych. Ogromne znaczenie ma w tym przypadku rozpoznanie przestrzennej zmienności nasilenia procesów erozji wodnej gleb, jak również określenie głównych dróg zasilania sieci wód wynoszonym materiałem glebowym. Należy pamiętać, iż nie cały erodowany materiał dociera do wód powierzchniowych – część ulega wcześniejszej akumulacji. A zatem dopiero łączne określenie obszarów erozji i akumulacji materiału glebowego pozwala na delimitację terenów w największym stopniu przyczyniających się do zanieczyszczania wód powierzchniowych osadami, a co za tym idzie racjonalizację podejmowanych działań zapobiegawczych, zwłaszcza w odniesieniu do sztucznych zbiorników retencyjnych.

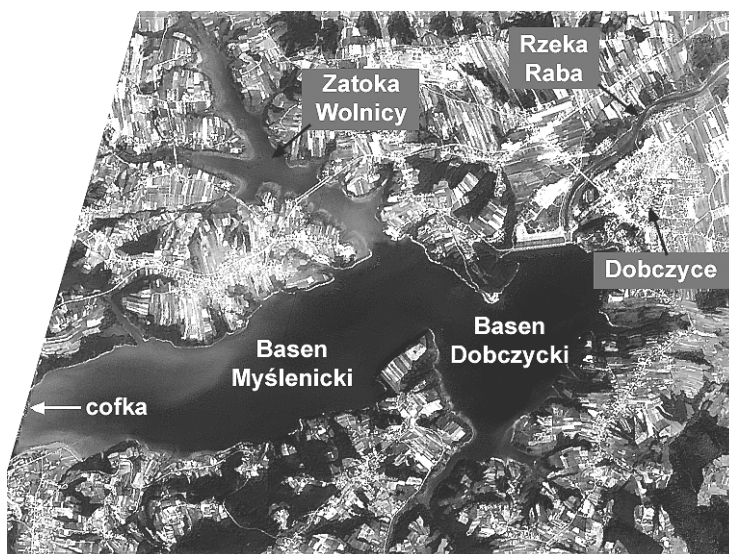
Badania funkcjonowania zbiorników i ekosystemów brzegowych bazowały do niedawna prawie wyłącznie na metodach bezpośrednich pomiarów i analizie chemicznej, z niewielkim tylko udziałem teledetekcji, zwłaszcza satelitarnej. Natomiast aktualnie metody teledetekcyjne stanowią nie tylko komplementarne narzędzie, dające istotne wsparcie dla klasycznych metod analitycznych, ale stają się wręcz niezastąpione w badaniu relacji przestrzennych zbiornik – ekosystem brzegowy oraz dla potrzeb szeroko pojętego monitoringu środowiska wodnego, zwłaszcza naturalnych i sztucznych akwenów śródlądowych. Wykorzystane są do tego celu, zarówno średniorozdzielcze, wielospektralne obrazy satelitarne systemów Landsat (TM, ETM+), SPOT, ASTER, jak również wysokorozdzielcze dane obrazowe, np. z satelitów Ikonos, Quickbird (Verdin, 1985; Schiebe *et al.*, 1992; Mayo *et al.*, 1995; Dekker *et al.*, 1998, Dekker *et al.*, 2001; Lindell *et al.*, 1999; Baruah *et al.*, 2002; Kloiber *et al.*, 2002a; Kloiber *et al.*, 2002b; Sawaya *et al.*, 2003; Hellweger *et al.*, 2004). Intensywne badania w tym zakresie są prowadzone, zwłaszcza w ostatnich latach, w związku z dostępnością nowego zestawu danych obrazowych rejestrowanych z pokładu satelity EO-1 (Earth Observing-1), za pomocą wielospektralnego skanera ALI (Advanced Land Imager) oraz hiperspektralnego sensora Hyperion (Barry *et al.*, 2001; Pearlman *et al.*, 2001; Dekker *et al.*, 2002).

Głównym celem prezentowanych w artykule badań było sprawdzenie przydatności wielospektralnych obrazów ALI dla oceny stanu oraz relacji przestrzennych procesu akumulacji zanieczyszczeń a także sposobu ich propagacji w wodach testowanego

rezerwuaru, którym był Zbiornik Dobczycki. W toku badań stwierdzono, że metody teledetekcyjne mogą stanowić istotne wsparcie dla klasycznego monitoringu środowiska wodnego, oraz że możliwe jest wykorzystanie wielospektralnych obrazów ALI dla geometryzacji przestrzennego rozkładu zanieczyszczenia wód zbiornika materią mineralną i organiczną.

## 2. CHARAKTERYSTYKA OBSZARU TESTOWEGO

Zbiornik Dobczycki (rys. 1) zajmuje fragment doliny rzeki Raby pomiędzy Myślenicami i Dobczycami. W jego obrębie wydziela się trzy główne akwenty: Basen Dobczycki i Basen Myślenicki stanowiące odpowiednio wschodnią i zachodnią część rezerwuaru oraz Zatokę Wolnicy obejmująca przyujściowy odcinek doliny tego potoku. Całkowita powierzchnia zlewni rzeki Raby do przekroju w Dobczycach wynosi około 768 km<sup>2</sup>, zaś zlewnia własna zbiornika obejmuje obszar około 72 km<sup>2</sup>. Oprócz rzeki Raby bezpośrednio do Zbiornika Dobczyckiego uchodzi szereg dopływów, z których największym jest prawobrzeżny potok Trzemeśnianka o zlewni 29.1 km<sup>2</sup>, a następnie potoki: Bulinka (9.9 km<sup>2</sup>), Ratanica (1.6 km<sup>2</sup>) i Brzezówka o zlewni 4.2 km<sup>2</sup>. Sieć lewobrzeżnych dopływów otwiera potok San wpływający do cofki w rejonie Myślenic o zlewni 3.5 km<sup>2</sup>, a następnie potok Dębik (3.9 km<sup>2</sup>) oraz potok Wolnica, największy lewobrzeżny dopływ, którego powierzchnia zlewni wynosi 15.5 km<sup>2</sup> (Starmach, Mazurkiewicz-Boroń, 2000).



Rys. 1. Zbiornik Dobczycki - obraz panchromatyczny z sensora ALI

Kształt czaszy zbiornika determinują warunki morfologiczne doliny rzeki Raby wraz z dolinami cieków wpływających bezpośrednio do tego rezerwuaru. Brzegi zbiornika są w przewadze strome o urozmaiconym, nieregularnym kształcie linii brzegowej. Podłoże geologiczne obszaru testowego tworzą piaskowcowo-lupkowe utwory serii magurskiej, na których wykształciła się dość jednolita pokrywa gleb gliniastych. Charakter pokrywy

glebowej w połączenie z urozmaiconą rzeźbą oraz w przewadze rolniczym użytkowniem terenu sprzyjają niewątpliwie rozwojowi procesów erozyjnych.

### 3. DANE TELEDETEKCYJNE

W badaniach wykorzystano obrazy z sensora ALI (Advanced Land Imager) zarejestrowane z pokładu satelity EO-1 jako dane komplementarne do rejestracji hiperspektralnej (Hyperion) wykonanej w ramach eksperymentu teledetekcyjnego, który przeprowadzono w rejonie Zbiornika Dobczyckiego w czerwcu 2006 roku (Hejmanowska *et al.*, 2007). Podstawowe parametry wykorzystanych danych satelitarnych zawiera tabela 1.

Należy dodać, że rejestracja wielospektralna sensorem ALI nie obejmuje zachodniej części Basenu Myślenickiego wraz ze strefą cofki i ujściem rzeki Raby do Zbiornika Dobczyckiego.

Tabela 1. Charakterystyka obrazów sensora ALI

Kod kanału	Pasmo (µm)	Piksel (m)
Pan	0.48÷0.69	10
MS - 1'	0.433÷0.453	30
MS - 1	0.45÷0.515	30
MS - 2	0.525÷0.605	30
MS - 3	0.63÷0.69	30
MS - 4	0.775÷0.805	30
MS - 4'	0.845÷0.89	30
MS - 5'	1.2÷1.3	30
MS - 5	1.55÷1.75	30
MS - 7	2.08÷2.35	30

### 4. METODYKA I WYNIKI BADAŃ

Metodyka badań polegała na wykorzystaniu różnych procedur przetwarzania pełnego zestawu wielospektralnych danych obrazowych. Procedury te można ująć w dwa główne segmenty:

- wzmacnianie odwzorowania
- ekstrakcja informacji tematycznej.

#### 4.1. Ocena pojemności informacyjnej kompozycji barwnych

W pierwszym etapie badań dokonano kompleksowej oceny pojemności informacyjnej pełnego zestawu wielospektralnych danych satelitarnych, w oparciu o różne procedury statystyczne. Głównym celem tego etapu był wybór optymalnego zestawu danych obrazowych dla przeprowadzenia właściwych procedur analitycznych, które w pierwszym rzędzie obejmowały operacje wzmacniania odwzorowania, polegające na uwydatnieniu

cech, ważnych z punktu widzenia potrzeb interpretacji przy wykorzystaniu procedur wzmocnienia kontrastu, rogowania oraz różnych technik filtracyjnych.

W przypadku danych skanera ALI procedura selekcji nabiera szczególnego znaczenia, gdyż liczba dostępnych kompozycji wzrasta tu do 84 (kombinacje 9 kanałów) z 20-stu, jakie są dostępne w systemie Landsat (6 kanałów).

W badaniach wykorzystano dwie procedury statystyczne: wskaźnik OIF - *Optimum Index Factor* (Chavez *et al.*, 1984), który wyraża normalizację sumy odchyłeń standardowych i współczynników korelacji trzech dowolnych kanałów spektralnych tworzących daną kompozycję barwną oraz wskaźnik MOIK (Moik, 1980), który jest sumą modułów korelacji trypletu kanałów spektralnych. Dla OIF wysokie wartości oznaczają, że z formalnego punktu widzenia zestaw trzech kanałów zawiera dużą objętość i różnorodność informacji. Natomiast niskie wartości wskazują na podobieństwo i powielanie informacji zawartych w kanałach. W przypadku wskaźnika MOIK zasada jest odwrotna. Obliczenia wykonano dla dwóch przypadków: w obrębie maski obejmującej wyłącznie wody zbiornika oraz w obrębie maski obejmującej zbiornik wraz z otoczeniem (rys. 1). Poniżej zestawiono ranking dla wybranych kompozycji barwnych wg wskaźników OIF i MOIK uzyskany dla obszaru zbiornika (tabela 2).

Tabela 2. Ranking kompozycji barwnych - pierwsze dziesięć kombinacji

KB	OIF	KB	MOIK
1'4 4'	294	1'3 5'	1.66
1 4 4'	275	1'3 4'	1.70
2 4 4'	259	1'2 5'	1.73
3 4 4'	256	1'3 5	1.75
1'3 4'	236	1'3 4	1.77
1'4'5'	225	1'2 4'	1.78
1'3 4	221	1'4'5'	1.79
1'2 4'	220	1'2 5	1.81
1'4 5'	216	1'5'5	1.81
1'4'5	213	1'4 5'	1.81

Łatwo zauważyć, że występuje duża rozbieżność pomiędzy dwoma rankingami. Wskaźnik OIF, stosowany z powodzeniem dla danych Landsat (Chavez *et al.*, 1984; Park *et al.*, 1999; Mularz *et al.*, 2000), w tym przypadku funkcjonuje nieprawidłowo. Wyraźnie preferuje on kompozycje barwne z udziałem kanałów 4 i 4' (KB 1'44', 144', 244', 344'), pomimo, że są one ze sobą bardzo wysoko skorelowane ( $r = 0.999$ ). Ich wysoka pozycja w zestawieniu wynika z faktu, że oba kanały charakteryzują się o rząd wielkości wyższymi wartościami wariancji niż pozostałe kanały. Odrzucając kombinacje, gdzie kanały 4 i 4' występują równocześnie, można wskazać jako optymalne kompozycje z udziałem kanałów 1' i 3 (np. KB 1'34', 1'34), 1' i 4' (1'34', 1'4'5', 1'24', 1'4'5) lub 1' i 5' (1'4'5', 1'4'5).

Dużo przydatniejszym wskaźnikiem w przypadku danych o tak zróżnicowanej wariancji jest wskaźnik MOIK. Preferuje on kompozycje z udziałem kanałów 1' i 3

(KB '35', 1'34', 1'35, 1'34), 1' i 2 (KB 1'25', 1'24', 1'25) lub 1' z kanałami podczerwonymi (KB 1'4'5', 1'5'5, 1'4'5').

Podsumowując rankingi należy zauważyć, że selekcja kompozycji nie może być prowadzona w sposób automatyczny dla obrazów, jakie otrzymujemy ze skanera ALI. Dopiero weryfikacja parametrów statystycznych pozwala wskazać jako najbardziej przydatne kanały 1' i 3 uzupełnione o pasmo podczerwone. Ten formalny wybór stoi w sprzeczności z teorią, że informacje o zróżnicowaniu wody powinny wystąpić przede wszystkim w kanałach o promieniowaniu najkrótszym - KB 1'12, 1'13, 1'23, 123. W zestawieniach OIF i MOIK te kompozycje znajdują się dopiero w siódmej dziesiątce. Wysokie miejsca kompozycji z udziałem kanałów z zakresu podczerwieni (np. KB 1'34, 1'34', 1'35', 1'35) można jedynie wyjaśnić faktem, że na obszarze Zatoki Wolnicy występuje w tym spektrum promieniowania znaczne zróżnicowanie wynikające z zadymienia/zamglenia oraz z trudnej do rozpoznania bez badań terenowych sytuacji w północnej części odnogi.

Przedstawione powyżej analizy prowadzą do wniosku, że kanał 1' zawiera więcej informacji o wodzie niż wysoko z nim skorelowany kanał 1. Potwierdza ten wniosek fakt, że jeśli w rankingu rozpatrywalibyśmy tylko kanały widzialne, za najlepszą kompozycję należy uznać KB 1'23.

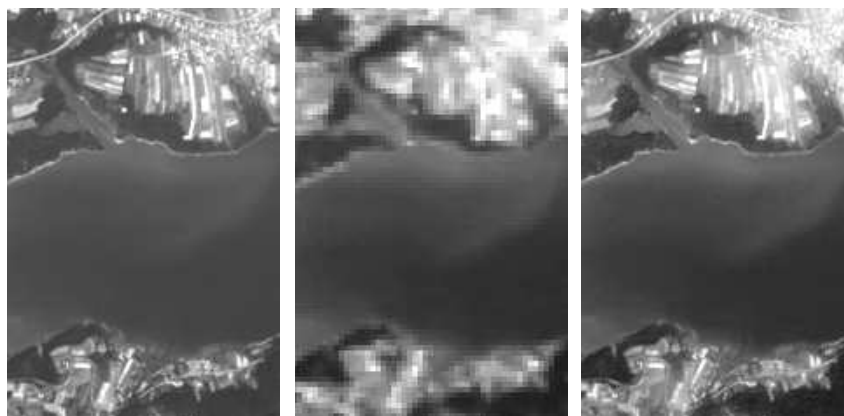
Rezultaty formalnej oceny pełnego zestawu kompozycji barwnych wskazują wyraźnie na preferencję zawartości informacyjnej w kanale niebieskim, który w rankingu najlepszych kompozycji pojawia się we wszystkich dziesięciu kombinacjach kanałów wg wskaźnika MOIK oraz w siedmiu wg wskaźnika OIF. Prawdopodobnie ta znajduje również uzasadnienie z teoretycznego punktu widzenia, gdyż jak wiadomo odpowiedź spektralna wody w paśmie niebieskim widma jest najwyższa.

#### **4.2. Wzmocnienie przestrzenne informacji spektralnej**

Testowano również różne metody wzmocniania informacji spektralnej poprzez integrację kanału panchromatycznego o rozdzielczości przestrzennej 10 m z kombinacją różnych segmentów pasma widzialnego i podczerwonego o rozdzielczości 30 m. Dla zachowania oryginalnych wartości 16-bitowych zrezygnowano z popularnej metody IHS wymagającej 8-bitowego zapisu. Zastosowano w tym przypadku metodę HPF oraz rozwiązania, w których poszukiwane są relacje lokalne pomiędzy obrazami spektralnymi o niższej rozdzielczości a obrazem panchromatycznym. Dzięki wyznaczonym w ten sposób zależnościom, innym dla każdego fragmentu obrazu, następuje wygenerowanie nowych, syntetycznych zobrazowań. W badaniach oparto się o metodę lokalnej średniej i wariancji (LMM/LMVM) podaną przez Béthune *et al.*, 1997 oraz metodę lokalnej korelacji (LCM) podaną przez Hill'a *et al.*, 1999. Z trzech testowanych metod scalania: HPF, LMVM i LCM za najlepszą uznano metodę lokalnej korelacji, dla której już w oknie 5×5 uzyskano akceptowalne wyniki dla interpretacji wizualnej (rys. 2).

W metodzie LCM zakłada się, że podobieństwo umiejscowienia krawędzi powinno manifestować się lokalną korelacją pomiędzy kanałami, o ile okno analiz okaże się wystarczająco małe. Taka lokalna zależność powinna występować nawet wtedy, kiedy nie zachodzi globalna korelacja między zestawami danych. Kształt lokalnej korelacji może

zostać opisany poprzez lokalną analizę regresji. Dla wykorzystania tych zależności dla scalania obrazów czyni się założenie, że lokalna korelacja stwierdzona pomiędzy obrazem spektralnym a zdegradowanym obrazem panchromatycznym ma również odniesienie do oryginalnego obrazu panchromatycznego. Wtedy obliczone współczynniki lokalnej regresji i odchyłki można zastosować do odpowiadającego im obszaru kanału panchromatycznego o wysokiej rozdzielczości.



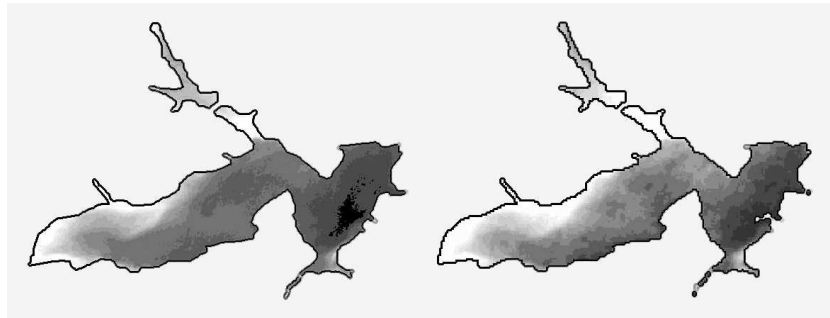
Rys. 2. Integracja danych metodą LCM: (a) obraz panchromatyczny (10 m),  
(b) oryginalny kanał spektralny 2 (30 m), (c) kanał 2 po scaleniu  
z kanałem panchromatycznym

Procedura integracji danych obrazowych podnosi niewątpliwie walory interpretacyjne elementów topograficznych, natomiast nie poprawia w istotny sposób, a niekiedy nawet nieco degraduje odwzorowanie zawiesiny w wodzie zbiornika. Stąd też, przydatność produktów scalania obrazu panchromatycznego z kanałami spektralnymi dla potrzeb interpretacji wizualnej zanieczyszczeń w zbiorniku wydaje się być ograniczona.

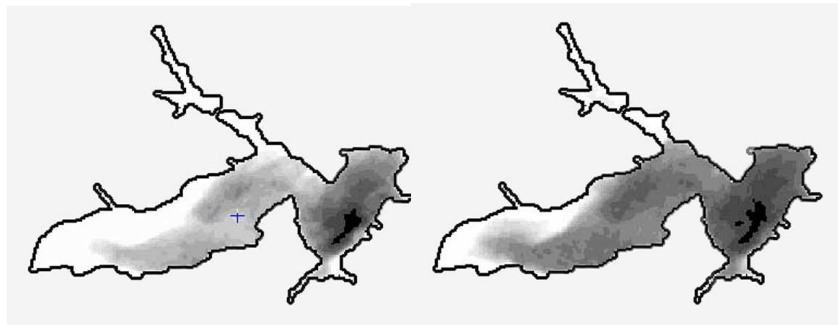
#### 4.3. Analiza i interpretacja wyników

Kolejny etap prowadzonych badań stanowiła ekstrakcja zawartości tematycznej polegająca na wydobyciu z cyfrowych obrazów multispektralnych pożądanej porcji informacji poprzez odpowiednie przetworzenie i analizę odwzorowania jednego, dwóch lub większej liczby kanałów spektralnych. Wykorzystano tutaj procedury progowania i wagowania obrazów oraz automatycznej klasyfikacji danych wielospektralnych. Pierwszą z wykorzystanych technik przetwarzania danych obrazowych stanowiło progowanie (segmentacja obrazu). Progowaniu poddano obraz panchromatyczny oraz obrazy zarejestrowane w wybranych kanałach spektralnych, w każdym przypadku wydzielając na obrazie 16 klas. Wszystkie obrazy przefiltrowano wcześniej przy użyciu filtra uśredniającego o rozmiarach 3×3 piksele. Rysunki 3 i 4 prezentują wyniki progowania obrazu panchromatycznego, kanału niebieskiego ( $0.45\div 0.515\ \mu\text{m}$ ), czerwonego ( $0.63\div 0.69\ \mu\text{m}$ ) oraz obrazu uzyskanego w wyniku dzielenia międzykanałowego kanałów czerwonego i niebieskiego. Spośród testowanych metod progowania wielopoziomowego

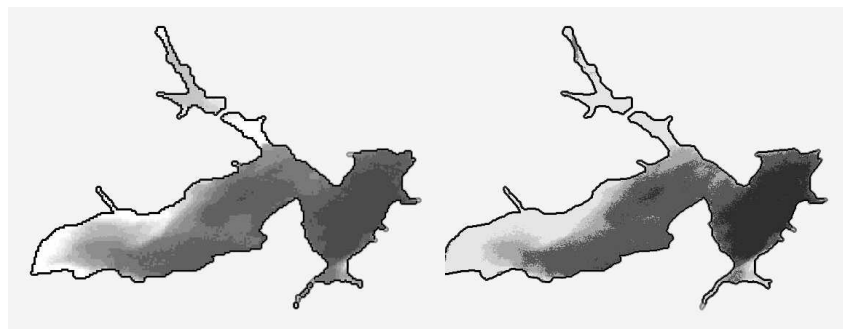
najlepsze rezultaty uzyskano przy wykorzystaniu liniowej segmentacji, zarówno odwzorowania panchromatycznego jak i kanałów niebieskiego i czerwonego.



Rys. 3. Wynik progowania: (a) obraz panchromatyczny, (b) kanał niebieski; najwyższe wartości - kolor biały, najniższe - czarny



Rys. 4. Wynik progowania: (a) kanał czerwony, (b) dzielenie międzykanałowe kanałów czerwonego i niebieskiego; najwyższe wartości - kolor biały, najniższe - czarny



Rys. 5. Klasyfikacja nienadzorowana: (a) oryginalne kanały spektralne, (b) kanały spektralne o zwiększonej rozdzielczości przestrzennej

W kolejnym etapie badań wykonano klasyfikację nienadzorowaną metodą ISOCLUST. W klasyfikacji wykorzystano kanały spektralne z zakresu promieniowania widzialnego, zarówno oryginalne jak i będące efektem mergingu. W celu zapewnienia porównywalności z obrazami uzyskanymi w wyniku progowania ilość wydzielanych klas



określono na szesnaście. Uzyskane wyniki przedstawiono na rysunku 5. Zwraca uwagę fakt, iż na obrazie oryginalnym uzyskano większe zróżnicowanie przestrzenne wyróżnionych klas niż na obrazie o podwyższonej rozdzielczości przestrzennej.

W toku przeprowadzonych badań uzyskano niezwykle interesujący obraz, w ujęciu przestrzennym, rozplywu zawiesiny, stanowiącej jak się okazało efekt dostawy materii mineralnej i organicznej, przede wszystkim z obszaru zlewni bezpośredniej zbiornika, a zwłaszcza z jej północnego fragmentu. Obserwuje się przy tym wyraźną strefowość, będącą wynikiem zróżnicowanej koncentracji zawiesiny oraz dających się śledzić kierunków jej propagacji, na co wskazuje ewidentnie analiza porównawcza prezentowanych powyżej wyników przetwarzania satelitarnych danych wielospektralnych.

## 5. KONKLUZJA

Rezultaty przedstawionych badań pozwalają na stwierdzenie, że satelitarne zobrazowania pozyskiwane za pomocą sensora ALI mogą być z powodzeniem wykorzystywane do oceny stanu i propagacji w sztucznych zbiornikach wodnych. Niezbędne jest jednak dalsze doskonalenie metodyki, w zakresie przetwarzania i interpretacji tego rodzaju danych teledetekcyjnych.

## 6. LITERATURA

Barry P., Jarecke, P., Pearlman, J., Jupp, D., Lovell, J., and Campbell, S., 2001. Use of the Lake Frome Ground Truth Campaign as a Cross-Calibration of the Hyperion Instrument. IEEE 2001 International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), Sydney, Australia, July 9-14, 2001, Vol. 6, s. 2538-2540.

Baruah, P.J., Tamura, M., Oki, K., Nishimura, H., 2002. Neural network modeling of surface chlorophyll and sediment content in inland water from Landsat Thematic Mapper imagery using multirate spectrometer data. [w:] Gilbert, G.D., Frouin, R.J. (Eds.), Ocean Optics: Remote Sensing and Underwater Imagery. Proceedings of SPIE the International Society for Optical Engineering, Seattle, s. 205-212.

Béthune S., Muller F., Donnay J. P., 1998. Fusion of multispectral and panchromatic images by local mean and variance matching filtering techniques, Fusion of Earth Data: merging point measurements, raster maps and remotely sensed images, Sophia-Antipolis, s. 31-36.

Chavez P. S, Jr., Guttill S. C., Bowell J. A., 1984. Image Processing techniques for Thematic Mapper data. *Proceedings, ASPRS-ACSM Technical Papers*, Vol. 2, s. 728-742.

Dekker A.G., Peters SWM, Rijkeboer M, Berghuis H., 1998. Analytical processing of multi-temporal SPOT and Landsat images. Proceedings of EARSeL Conference May 1998 in Enschede, Netherlands: Operational Remote Sensing for Sustainable Development. Rotterdam: Balkema, 1998, s. 315-323.

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, s. 197-214.

Dekker, A.G., Brando V.E., Pinnel N., Held A., 2002. Backscatter magazine "HYPERION: the first imaging spectrometer from space: also suitable for inland and coastal water observations", <http://www.waterobserver.org/backscatter/issue-02-winter.html>.

- Hejmanowska B., Drzewiecki W., Głowienka E., Mularz S., Zagajewski B., Sanecki J., 2006. Próba integracji satelitarnych obrazów hiperspektralnych z nieobrazowymi naziemnymi danymi spektrometrycznymi na przykładzie Zbiornika Dobczyckiego. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 16 (w druku).
- Hellweger F.L., Schlosser P., Lall U., Weissel J.K., 2004. Use of satellite imagery for water quality studies in New York Harbor Estuarine. *Coastal and Shelf Science*, 61, s. 437-448.
- Hill J., Diemer C., Stöver O., Udelhoven Th., 1999. A local correlation approach for the fusion of remote sensing data with different spatial resolutions in forestry applications. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 32, Part 7-4-3 W6.
- Kloiber, S.M., Brezonik, P.L., Olmanson, L.G., Bauer, M.E., 2002a. A procedure for regional lake water clarity assessment using Landsat multispectral data. *Remote Sensing of Environment*, 82, s. 38-47.
- Kloiber, S.M., Brezonik, P.L., Bauer, M.E., 2002b. Application of Landsat imagery to regional-scale assessments of lake clarity. *Water Research*, 3, s. 4330-4340.
- Lindell L.T., Pierson D., Premazzi G., Zillioli E., 1999. *Manual for monitoring European lakes using remote sensing techniques*. Luxembourg: European Community.
- Mayo, M., Gitelson, A., Yacobi, Y.Z., Ben-Avraham, Z., 1995. Chlorophyll distribution in Lake Kinneret determined from Landsat Thematic Mapper data. *International Journal of Remote Sensing*, 16, s. 175-182.
- Moik, J. G., 1980. *Digital Processing of Remotely Sensed Images*. Washington, D.C.NASA, Government Printing Office.
- Mularz S., Drzewiecki W., Pirowski T., 2000. Merging Landsat TM images and airborne photographs for monitoring of open-cast mine area. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Amsterdam, s. 920-927.
- Park J. H., Wikantika K., Tateishi R., 1999. Comparison of four different methods to fuse multi-sensor and multi-resolution remotely sensed data for urban topographic mapping. IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 28 June - 2 July, Hamburg, Germany, 0-7803-5207-6/99.
- Pearlman, J., Carman S., Segal C., Jarecke P., Clancy P., Browne W., 2001. Overview of the Hyperion Imaging Spectrometer for the NASA EO-1 Mission, *IEEE IGARRS*, Vol. 7, s. 3036-3038.
- Sawaya, K.E., Olmanson, L.G., Heinert, N.J., Brezonik, P.L., Bauer, M.E., 2003. Extending satellite remote sensing to local scales: land and water resource monitoring using high-resolution imagery. *Remote Sensing of Environment*, 88, s.144-156.
- Schiebe, F.R., Harrington, J.A., Ritchie, J.C., 1992. Remote sensing of suspended sediments: the Lake Chicot, Arkansas project. *International Journal of Remote Sensing*, 13, s. 1487-1509.
- Starmach J., Mazurkiewicz-Boroń (red), 2000. Zbiornik Dobczycki. Ekologia - eutrofizacja - ochrona. Zakład Biologii Wód im. Karola Starmacha, PAN, Kraków.
- Verdin, J.P., 1985. Monitoring water quality conditions in a large western reservoir with Landsat imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 51, s. 343-353.
- Verstraeten G., Van Rompaey A., Poesen J., Van Oost K., Govers G., 2003. Evaluating the impact of watershed management scenarios on changes in sediment delivery to rivers. *Hydrobiologia*, 494, s. 153-158.

Prezentowane prace badawcze wykonano 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”.

## **USING SATELLITE REMOTE SENSING FOR WATER CONTAMINANT ACCUMULATION PROCESS ASSESSMENT IN THE DOBCZYCE RESERVOIR**

KEY WORDS: satellite remote sensing, sensor ALI, water contamination, water reservoirs

### **Summary**

The preliminary results of using multispectral images from an ALI (Advanced Land Imager) sensor on board the EO-1 satellite for assessment of the accumulation process and spatial propagation of water contaminations in the tested reservoir – Dobczyce Reservoir, are presented in this paper. The methodology of this study was based on different procedures of the full set of multispectral data processing compiled into two segments, namely: (1) image enhancement (radiometric correction, contrast manipulation, thresholding, spatial filtering, merging of panchromatic and spectral bands) and (2) thematic information extraction (multi-image manipulation, color composite generation and quantitative criteria analysis, unsupervised image classification).

The study focused on evaluating the color composite of all multispectral satellite data based on varied statistical procedures (OIF and MOIK index). In the next stage, the usefulness of the spectral information enhancement procedure, concerning the 16 bits per pixel recording, was tested. The Local Correlation Method, not used in Poland before, was applied for this task. The main task relied on reservoir water categorization regarding water suspension. The task used the unsupervised classification and threshold procedure. A very interesting pattern of suspended matter propagation as a deposition of mineral and organic matter originating from the immediate watershed, especially from its northern part, was obtained during the course of investigation. A very clear zoning as an indicator of different concentration of water contamination was also observed.

In conclusion, ALI sensor data were very useful for spatial distribution of water mineral and organic contamination within the inland water reservoirs. A continuation of the research in a scientific project, financed by the KBN is planned for upper Raba.

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

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

Dr inż. Tomasz Pirowski  
e-mail: pirowski@agh.edu.pl  
tel. +12 6173993