

Katarzyna Osińska-Skotak
Marek Kruk
Marek Mróz
Małgorzata Ciolkowska

SUPERSPEKTRALNE DANE SATELITARNE CHRIS/PROBA W OCENIE JAKOŚCI WÓD JEZIORNYCH

Streszczenie. W ostatnich latach do różnego rodzaju badań środowiskowych coraz częściej wykorzystywane są techniki teledetekcyjne. Na orbity okołozemskie wprowadzane są nawet specjalne satelity środowiskowe ukierunkowane na konkretne badania. Obecne tendencje technologiczne to umieszczanie w przestrzeni małych wręcz kompaktowych satelitów, które mają służyć konkretnym zadaniom. Tego rodzaju misją jest PROBA, finansowana i zarządzana przez Europejską Agencję Kosmiczną. Umieszczony na jej pokładzie skaner superspektralny umożliwia uzyskiwanie zdjęć w wielu wąskich zakresach spektralnych, co pozwala na dokładniejsze badania środowiska naturalnego. W pracy przedstawiono stan zaawansowania i pierwsze wyniki eksperymentu CHRIS/PROBA dla obszaru testowego MAZURY, włączonego w projekt MEMAMON (MONitoring of the Mecklenburg and Masurian Lake Districts) realizowany przez GFZ Potsdam.

1. Wprowadzenie

Coraz lepsza rozdzielczość przestrzenna i spektralna danych teledetekcyjnych ułatwia monitorowanie i ocenę oraz analizę zmian zachodzących w różnych ekosystemach. W przypadku naziemnych pomiarów jakości wód (parametrów limnologicznych oraz hydrobiologicznych) zawsze mamy do czynienia z pomiarami punktowymi a na dodatek częstotliwość ich wykonywania jest bardzo mała i często niewystarczająca do wielu analiz. Natomiast techniki teledetekcyjne umożliwiają pozyskanie informacji o charakterze ciągłym w przestrzeni i powtarzalnej w określonych odstępach czasu, co pozwala na prowadzenie faktycznego monitoringu zmian zachodzących w różnych ekosystemach.

Badania jakości wód powierzchniowych, w których wykorzystuje się dane satelitarne były i są nadal prowadzone na całym świecie w celu doskonalenia metod monitoringu jakości wód ale dotychczasowe prace dotyczyły w zasadzie wykorzystania wielospektralnych danych szerokopasmowych typu Landsat MSS i TM, SPOT XS, IRS 1C. Analizowany zestaw parametrów charakteryzujących jakość wód powierzchniowych był ograniczony do parametrów podstawowych, o znaczeniu ogólnym. Ograniczenie to wynikało między innymi z małej ilości rejestrowanych zakresów spektralnych oraz ich szerokopasmowego charakteru. Natomiast dane super- i hiperspektralne zwiększając precyzję wyznaczenia charakterystyk spektralnych obiektów powinny poprawić również możliwości wyznaczenia dodatkowych parametrów jakości wody i określenia ich relacji do struktury zlewni.

W ostatnich latach na świecie prowadzone są badania nad użytecznością zdjęć hiperspektralnych dla różnych analiz dotyczących środowiska naturalnego, w tym

również badania wód śródlądowych i przybrzeżnych. Do systemów satelitarnych, które umożliwiają rejestrację zdjęć w kilkunastu lub kilkudziesięciu zakresach spektralnych należą m.in. ASTER/TERRA, MODIS/TERRA, MERIS/ENVISAT oraz CHRIS/PROBA. Większość tego rodzaju systemów satelitarnych rejestruje zdjęcia w jednym - nadirowym - położeniu skanera. Natomiast ostatni z wymienionych, CHRIS/PROBA, należy do systemów nowej generacji. Są to superspektralne dane wąskopasmowe ale rejestrowane pod różnymi kątami widzenia, co powinno umożliwić eliminowanie m.in. wpływu kąta oświetlenia oraz kierunkowości odbicia na rejestrowaną moc promieniowania odbitego od powierzchni Ziemi. Poza tym skaner CHRIS rejestruje dane w różnych trybach, które są dostosowane specjalnie dla badania powierzchni lądu, wód lub aerozoli atmosferycznych. Dane te pozwalają uzyskać quasi-ciągłe charakterystyki spektralne analizowanych obiektów przy uwzględnieniu ich odmienności.

Wspominana tu specyfika danych teledetekcyjnych CHRIS/PROBA umożliwia przeprowadzenie badań, jakich do tej pory nie można było wykonać na podstawie zdjęć satelitarnych. Ich wykorzystanie dla oceny i analizy parametrów jakości wody jest niewątpliwie dużym krokiem w kierunku operacyjnych zastosowań teledetekcji.

2. Charakterystyka misji CHRIS/PROBA

Misja PROBA czyli *The Project for On-Board Autonomy* jest misją Europejskiej Agencji Kosmicznej (European Space Agency), sfinansowaną w ramach programu *ESA's General Support Technology Programme*. Projekt PROBA zarządzany i koordynowany jest przez ESA (Control and Data Systems Division, Department of Electrical Engineering). Projekt ten rozpoczął się w połowie roku 1998 a 22 października 2001 roku doszło do wprowadzenia satelity PROBA na orbitę okołozemską przy pomocy rakiety Antrix/ISRO PSLV-C3 ze stacji Sriharikota w Indiach. Misja początkowo planowana była na jeden rok ale działa nadal a nawet planowana jest następna misja PROBA 2, która ma znaleźć się na orbicie w 2005 r. Generalnie ma być to kontynuacja ulepszonej technologii PROBA, ale projekt misji PROBA 2 zakłada jeszcze większą miniaturyzację satelity.



Rys.1 Satelita PROBA.

PROBA jest niewielkim satelitą o wadze 94 kg a rozmiarach 60×60×80 cm. Porusza się po orbicie okołobiegunowej (inklinacja 97,9°), heliosynchronicznej na wysokości 561-681 km nad powierzchnią Ziemi a czas obiegu globu ziemskiego wynosi 96-97 minut. W tym samym miejscu na orbicie satelity znajduje się po 16 dniach obiegu Ziemi.

Na pokładzie satelity PROBA znajduje się osiem instrumentów a ich łączna waga to ok. 25 kg. Są to:

- CHRIS – Compact High Resolution Imaging Spectrometer,

- HRC – High Resolution Camera,
- WAC – Wide Angle Camera,
- SREM – Space Radiation Environment,
- DEBIE – Debris In-orbit,
- SIPs – Smart Instrument Points,
- MRM - Miniaturised Radiation Monitor,
- PASS - Payload Autonomous Star Sensor.

3. CHRIS na tle innych sensorów satelitarnych

CHRIS czyli Compact High Resolution Imaging Spectrometer jest urządzeniem kompaktowym, którego waga wynosi ok. 15 kg. Został on zaprojektowany specjalnie na potrzeby badań środowiskowych. W CHRISie możliwe jest programowanie zarówno jeśli chodzi o obszar, który ma być zarejestrowany, jak również wybór podzbiórów zakresów spektralnych, który jest dobrany stosownie do obiektu badań.

Poruszając się po orbicie na średniej wysokości ok. 600 km, CHRIS obrazuje pas powierzchni Ziemi o szerokości około 14 km ze średnią rozdzielczością przestrzenną 18×18 m. Wielkość ta ulega nieco zmianie wraz ze zmianą wysokości orbity, która waha się w granicach 561-681 km przy nominalnym polu widzenia skanera wynoszącym 1.3°.

Zdjęcia CHRIS są pozyskiwane standardowo jako zbiór pięciu scen tego samego fragmentu powierzchni Ziemi zarejestrowanych wzdłuż pasa obrazowania pod różnym kątem widzenia w czasie prawie rzeczywistym (2-3 minuty).

CHRIS rejestruje obrazy z próbkowaniem 12-bitowym w zakresie promieniowania od 410 nm do 1050 nm i możliwe jest uzyskanie 63 zakresów spektralnych o rozdzielczości przestrzennej 36×36 m lub 18 zakresów w tzw. pełnej rozdzielczości przestrzennej, czyli 18×18 m. Rozdzielczość spektralna wynosi od 1.3 nm dla 410 nm do 12 nm dla 1050 nm i zależy od długości fali promieniowania elektromagnetycznego.

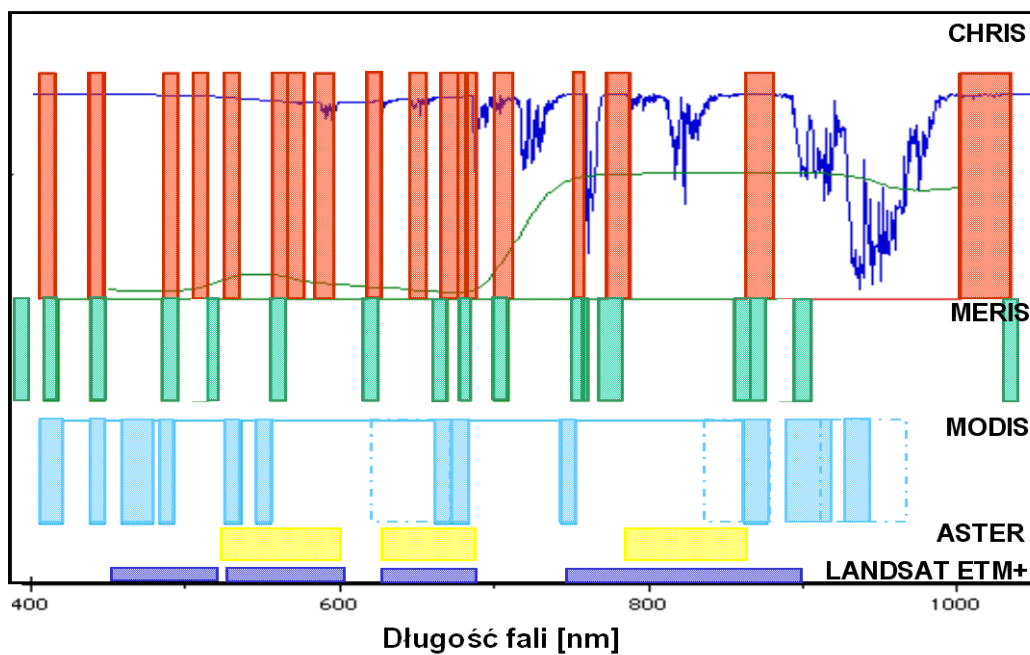
Omawiany skaner jest bardzo “elastycznym” instrumentem a różne warianty rejestracji zakresów spektralnych umożliwiają lepsze wykorzystanie dla różnych zastosowań. W wariacie o wyższej rozdzielczości przestrzennej możliwe jest rejestrowanie zdjęć w trybach: „Land/Aerosols” (18 zakresów oznaczonych literą L), „Water” (18 zakresów oznaczonych literą W), „Chlorophyll” (18 zakresów oznaczonych literą C) oraz „Land” (36 zakresów oznaczonych literą H, rejestrowanych dla połowy nominalnego pasa skanowania). Wariant rejestracji o niższej rozdzielczości obejmuje 36 zakresów spektralnych oznaczonych literą A (z ang. od „All sites”). W przypadku rejestracji ukierunkowanych na badania wód CHRIS rejestruje więcej zakresów promieniowania widzialnego niż ma to miejsce np. przy rejestracji ukierunkowanej na badania lądu (Tabela nr 1). Jedynie trzy zakresy spektralne obejmują promieniowanie podczerwone, które niosą zdecydowanie mniej informacji o jakości wód powierzchniowych. Zakresy te wykorzystywane są przede wszystkim do określania temperatury warstwy wierzchniej.

Zakresy spektralne rejestrowane przez skaner CHRIS
w trybie „Land/Aerosols” oraz w trybie „Water”.

Zakres spektralny	λ_{\min} [nm]	λ_{\max} [nm]	$d\lambda$ [nm]	
L1	438.0	446.8	8.8	
L2	485.6	494.8	9.2	
L3	525.6	534.2	8.6	
L4	546.4	556.1	9.7	
L5	566.3	573.4	7.7	
L6	626.6	636.0	9.4	
L7	655.8	666.3	10.5	
L8	666.3	677.2	10.9	
L9	694.3	700.1	5.9	
L10	700.2	706.2	6.0	
L11	706.2	712.4	6.2	
L12	738.2	745.0	6.8	
L13	745.0	751.9	6.9	
L14	773.3	788.4	15.1	
L15	863.1	881.3	18.3	
L16	890.7	900.2	9.5	
L17	900.2	909.8	9.7	
L18	1002.7	1035.5	32.9	

Zakres spektralny	λ_{\min} [nm]	λ_{\max} [nm]	$d\lambda$ [nm]	
W1	405.6	415.2	9.6	niebieski I
W2	438.0	446.8	8.8	niebieski II
W3	485.6	494.8	9.2	cyjan
W4	504.5	514.8	10.3	zielony I
W5	525.6	534.2	8.6	zielony II
W6	556.1	566.3	10.2	ziel./żółty
W7	566.3	573.4	7.7	żółty
W8	584.6	596.4	11.8	pomarańcz I
W9	617.5	626.6	9.0	pomarańcz II
W10	645.7	655.8	10.1	czerwony I
W11	666.3	677.2	10.9	czerwony II
W12	677.2	682.8	5.6	czerwony III
W13	682.8	688.5	5.7	czerwony IV
W14	700.2	712.4	12.2	czerwony V
W15	751.9	758.9	7.0	czerwony VI
W16	773.4	788.4	15.0	IR I
W17	863.1	881.3	18.3	IR II
W18	1002.7	1035.5	32.9	IR III

Bands for High Resolution Water Studies



Rys. 2. Porównanie zakresów spektralnych rejestrowanych przez wybrane wielo- i superspektralne sensory satelitarne.

Na tle skanerów wielo- i superspektralnych, aktualnie pracujących na orbitach okołozemskich, skaner CHRIS również prezentuje się zachęcająco jeśli chodzi o jego wykorzystanie dla badań właściwości wód powierzchniowych. Generalnie, ma on więcej zakresów spektralnych przydatnych dla tego rodzaju zastosowań (Rys. 2). Jeśli chodzi o spektrum rejestrowanego promieniowania i liczbę zakresów to w pewnym stopniu porównywalny do niego jest skaner MERIS (umieszczony na satelicie ENVISAT) ale z kolei ma on słabszą rozdzielczość przestrzenną, 300×300 m. Taka rozdzielczość przestrzenna powoduje, że zastosowanie tego rodzaju danych dla badania wód jeziornych daje jedynie ogólny pogląd o jakości wód, uniemożliwiając przeprowadzenie bardziej szczegółowych analiz. Podobnie wygląda sytuacja w przypadku skanera MODIS/TERRA. Rozdzielczość przestrzenna wynosząca 250×250 m pozwala w zasadzie na prowadzenie badań wód przybrzeżnych morskich i oceanicznych.

CHRIS ma jeszcze jedną właściwość, która może być przydatna. Jest to, wspomiana już, rejestracja danych w pięciu położeniach skanera, co daje szansę na przeprowadzenie bardziej wiarygodnej korekcji atmosferycznej i co w konsekwencji powinno prowadzić do uzyskania wyników lepiej reprezentujących właściwości obiektów naziemnych.

4. Możliwości określania parametrów jakości wód jeziornych na podstawie danych superspektralnych CHRIS

Możliwości wykorzystania danych CHRIS w badaniu jakości wód jeziornych są przedmiotem pracy naukowo-badawczej w ramach projektu badawczego nr **5 T12E 006** finansowanego ze środków Komitetu Badań Naukowych a realizowanego we współpracy z ESA i GFZ Potsdam. Jako pole testowe wybrany został fragment Pojezierza Mazurskiego pomiędzy współrzędnymi geograficznymi 53°56' N, 53°48' N i 21°22' E, 21°34' E (rys. 3).



Rys. 3 Obszar testowy „Mazury” oraz jeziora objęte badaniami.

Obszar badań charakteryzuje się typowym dla Pojezierzy występowaniem jezior o zróżnicowanej wielkości, głębokości i trofii. Zlewnie zbiorników charakteryzuje rzeźba pagórkowata, wykształcona z utworów polodowcowych jak: gliny, piaski gliniaste i piaski. Najniższy punkt położony jest na linii brzegowej Jeziora Tałty – 116 m n.p.m., a najwyższy pomiędzy wsiami Użranki i Zalec – 186,5 m n.p.m. Struktura użytkowania ziemi to w ok. 80% tereny rolnicze: pola uprawne i łąki, a w ok. 20% lasy.

Badane jeziora należą zarówno do powierzchniowo dużych ok. 600 – 1100 ha (Tałty i Ryńskie), średnich ok. 100 – 330 ha (Inulec, Notyst, Sałęt, Czos, Wierzbowskie, Probarskie, Kuc i Majcz Wielki, małych ok. 40 ha (Jorzec, Głębokie) jak również bardzo małych 5 – 15 ha (Miałkie, Kuchenka). Najgłębsze jeziora (ponad 30 m głębokości) to: Ryńskie, Tałty, Czos, Głębokie i Probarskie, a naj płytsze (ok. 10 m i mniej) to Inulec, Żelwążek, Kuchenka i Miałkie.

Obszar testowy „Mazury” został zakwalifikowany przez ESA w 2003 roku jako obszar priorytetowy w pozyskiwaniu zdjęć satelitarnych CHRIS. Mimo, to pogoda panująca w ostatnich dwóch sezonach pomiarowych nie sprzyjała uzyskaniu przynajmniej trzech zdjęć bezchmurnych z tego terenu w interesujących, z punktu widzenia limnologicznego, okresach.

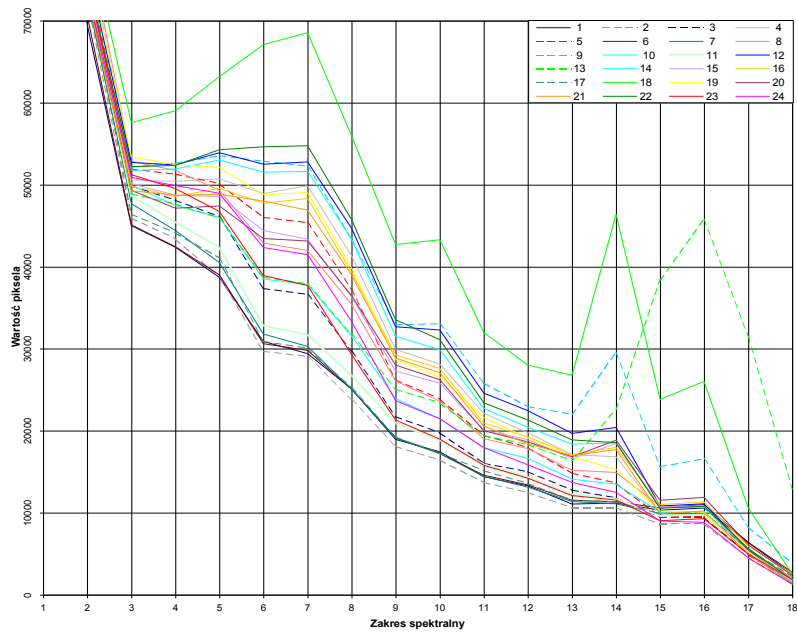
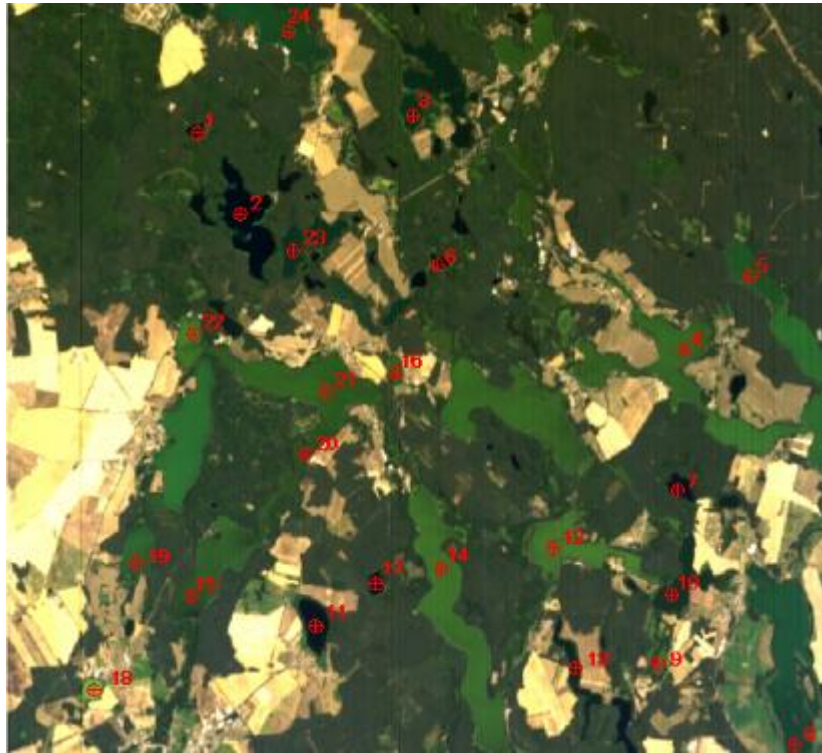
Równoległe z rejestracją zdjęć satelitarnych prowadzone są pomiary *in situ* zawartości tlenu w wodzie, temperatury wody i widzialności (krążka Secciego) oraz pobór prób z powierzchniowej (0-25 cm) warstwy wody do dalszych analiz. W każdym punkcie poboru mierzone są jego współrzędne geograficzne za pomocą odbiornika GPS. Pomiary zawartości tlenu i temperatury wody przeprowadzane są sondą tlenową produkcji WTT. Pobrane próby wody poddawane są analizom hydrobiologicznym i chemicznym w Stacji Terenowej Centrum Badań Ekologicznych PAN w Mikołajkach.

Z prób nie sączonych wody oznaczane są:

- stężenie chlorofilu-a (lub feofityny) metodą acetonową,
- stężenie zawiesiny metodą wagowo-sączkową,
- stężenie fosforu całkowitego metodą ekstrakcji w kwasie nadchlorowym i kolorymetrycznie,
- stężenie azotu ogólnego metodą ekstrakcji w kwasie siarkowym i kolorymetrycznie.

Z prób sączonych przez filtr mineralny Whatmann GF/C oznaczane są:

- stężenie fosforu mineralnego metodą kolorymetryczną,
- stężenie azotanów metodą kolorymetryczną.



Rys. 4 Kompozycja barwna (RGB=W10 W7 W4) utworzona na podstawie danych zarejestrowanych w dniu 10 sierpnia 2003 r. z charakterystykami spektralnymi wybranych jezior na obszarze testowym „Rheinsberg” (zakres W1 został pominięty ze względu na zbyt duże szumy sygnału).

Prowadzone badania dążą do uzyskania metodyki określania różnych parametrów charakteryzujących jakość wód jeziornych na podstawie danych teledetekcyjnych. Dobór metod przetwarzania cyfrowego zdjęć superspektralnych CHRIS, który umożliwi uzyskanie jak najbardziej prawidłowych wartości parametrów opisujących jakość wody w zbiornikach śródlądowych ma istotne znaczenie dla dalszego wykorzystania uzyskanych rezultatów. Parametry te mogą później zostać wykorzystane w modelowaniu i prognozowaniu zmian w akwenach wodnych. Z tego względu bardzo ważnym elementem jest również właściwe przeprowadzenie korekcji atmosferycznej a w przypadku danych CHRIS istnieją dogodne ku temu warunki.

Pierwsze wyniki analiz jakości wód jeziornych jakie uzyskano dla innego obszaru testowego są obiecujące. Jak wspomniano, ze względu na panujące warunki atmosferyczne, nie udało się zarejestrować pełnego zestawu zdjęć dla obszaru testowego „Mazury”. Dlatego prace testowe dla sezonu 2003 przeprowadzono więc przede wszystkim dla pola testowego „Rheinsberg” położonego w Meklemburgii na terenie Niemiec.

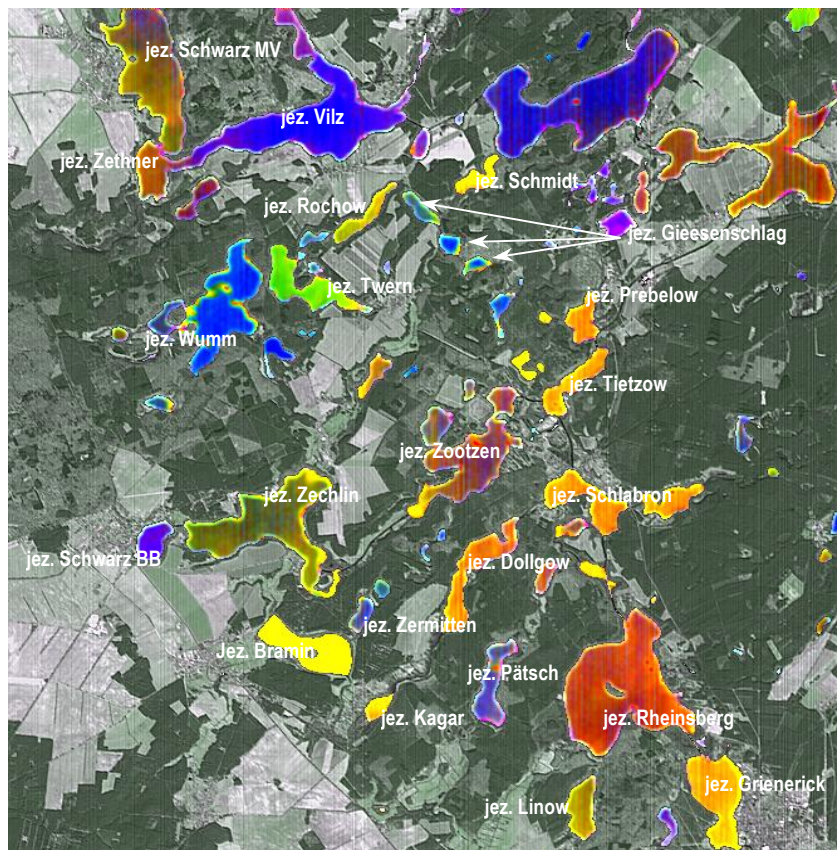
Podstawową analizą jaką można wykonać na zestawie zdjęć superspektralnych jest analiza charakterystyk spektralnych, co zostało przedstawione powyżej na rysunku 4. Już na kompozycji barwnej, która zawiera przecież informacje jedynie z trzech zakresów spektralnych (RGB= W10 W7 W4), można zauważyć znaczną zmienność barwy wód jeziornych.

Charakterystyki spektralne jeszcze bardziej te różnice uwypuklają. Widoczne jest doskonale, że właściwości wód są najbardziej zróżnicowane w zakresie promieniowania zielonego i czerwonego. Ponieważ na zakres niebieski duży wpływ ma promieniowanie rozproszone przez cząsteczki zawarte w atmosferze, wartości zarejestrowane przez skaner są mało zróżnicowane. Kanał W1 został wyłączony z prezentacji graficznej gdyż powodował on, że wykres stawał się mało czytelny.

W zakresach podczerwieni widać na ogół bardzo niskie odbicie od powierzchni wody. Jedynie w dwóch przypadkach zauważyć można znacznie wyższe wartości odbicia promieniowania niż to ma miejsce w pozostałych przypadkach. Jeziora te charakteryzują się prawdopodobnie zakwitami i stąd tak wysokie odbicie w zakresie bliskiej podczerwieni.

Interesujące wyniki dają także przetworzenia wskaźnikowe z różnych zakresów promieniowania zielonego i czerwonego. Aktualnie trwają prace nad szczegółową analizą uzyskanych wyników.

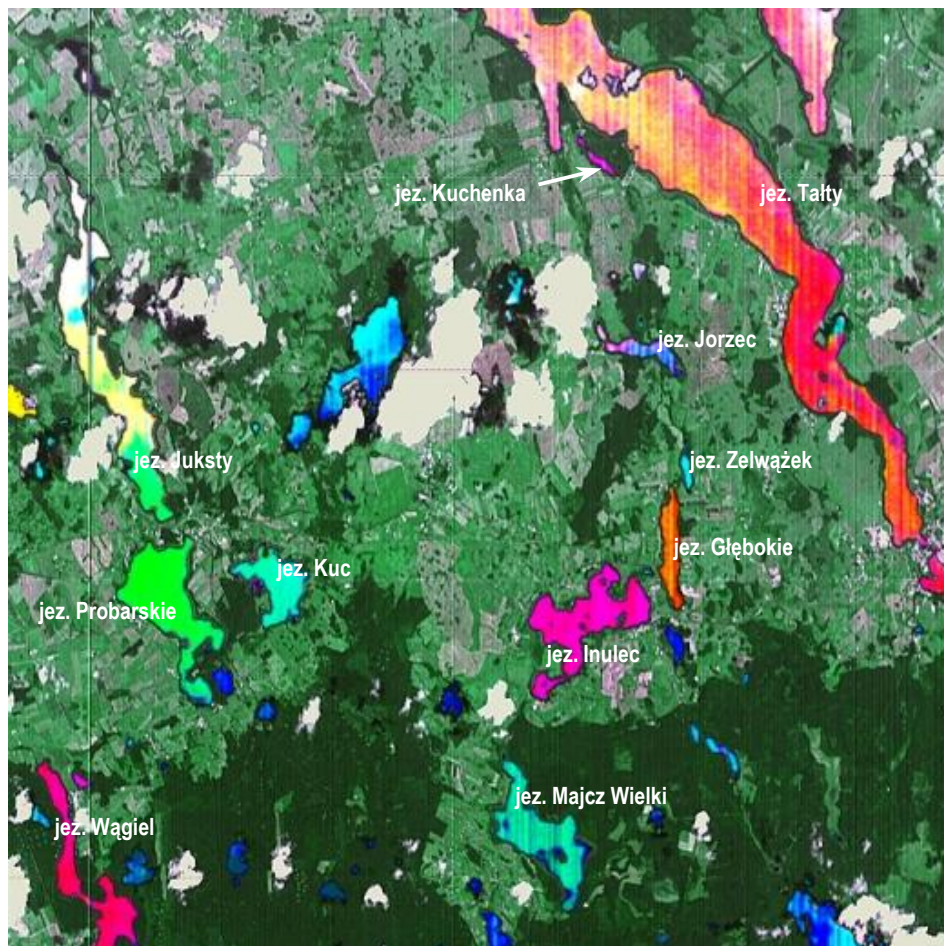
Jeziorami typowo eutroficznymi na obszarze testowym „Rheinsberg” są jeziora: Bramin, Dollgow oraz Schmidt. Jezioro Wumm jest jeziorem typowo oligo-mezotroficznym o głębokości 36 m. Do jezior mezotroficznych należą jezioro Zootzen i Zechlin. Pozostałe jeziora omawianego terenu znajdują się w fazach pośrednich. Rys. 5 pokazuje te cechy bardzo wyraźnie.



Rys. 5 Obszar testowy „Rheinsberg” – przetworzenie zakresów widzialnych zdjęć superspektralnych CHRIS zarejestrowanych 23 kwietnia 2003 r. podkreślające odmienne właściwości wód jeziornych.

Dla obszaru testowego „Mazury” obrazy satelitarne są obecnie przetwarzane i analizowane. Wstępne wyniki ilustruje rys. 6. Przedstawia on zdjęcie zarejestrowane 4 sierpnia 2004 r. przetworzone wg metodyki zmierzającej do uchwycenia zróżnicowania charakterystyk spektralnych wód jeziornych.

Podejście globalne do statystycznych analiz obrazu, obejmujące zarówno obszary lądowe, jak i wodne, maskuje subtelne różnice charakterystyk spektralnych wód. Rozdzielenie obiektów typu LĄD/WODA jest możliwe przy wykorzystaniu zakresów bliskiej podczerwieni (W15, W16, W17 i W18) różnymi technikami przetwarzania. Między innymi możliwe jest to do osiągnięcia w procesie klasyfikacji nienadzorowanej (klasteryzacji) lub maskowania przy wykorzystaniu zakresów promieniowania podczerwonego.



Rys. 6 Obszar testowy „Mazury” – przetworzenie zakresów widzialnych zdjęć superspektralnych CHRIS z dnia 4 sierpnia 2004 r. (jez. Miałkie pod chmurami)

Odseparowane obszary wód zostały poddane szczegółowym analizom. Wstępnie odrzucono zakresy spektralne W1 oraz W2, dla których poziom szumów instrumentalnych był nieakceptowany. Odrzucono również zakresy W16 i W17, dla których wystąpiły znaczne błędy skanowania oraz saturacja detektorów. Pozostałe kanały (11 pasm) przetworzono metodą Hotteling’a (PCA) dokonując ortogonalizacji macierzy wariancyjno-kowariancyjnej tylko dla fragmentów obrazów obejmujących jeziora. Pięć komponentów PCA zawiera ponad 99,5% wariancji danych wejściowych. Rysunek przedstawia kompozycję trzech pierwszych komponentów. Parametry mierzone *in situ* zawiera tabela nr 2.

W wyniku zastosowanych metod przetwarzania zdjęć CHRIS bardzo dobrze zostały wyróżnione jeziora: hipertroficzne (Kuchenka), eutroficzne (Kuc), mezotroficzne (Probarskie i Juksty) oraz oligotroficzne. Dalsze badania szczegółowe i przetwarzanie zdjęć satelitarnych są w toku.

Tabela nr 2

Dane pomiarowe jezior monitorowanych na obszarze testowym „Mazury”

Jezioro	Głębokość Maksymalna [m]	Głębokość Średnia [m]	Widoczność krążka Secciego [m]	Stężenie chlorofilu a [mg/l]	Zawiesina [mg/l]	Zawartość O ₂ [mg/l]	Trofia
Talty	44,7	15,6	1,75	3,8 – 35,0	3,6 – 5,2	8,05	Eutrofia
Miałkie	2,7	1,0	1,40	33,9	5,2	5,0	Eutrofia
Kuchenka	4,5	1,9	1,00	35,3	-	8,4	Hipertrofia
Jorzec	11,6	5,5	1,50	16,9	3,6	7,8	Eutrofia
Zelwążek	7,4	3,7	2,30	19,7	4,0	7,6	Eutrofia
Głębokie	34,3	11,8	2,20	0,6	2,8	9,1	Eutrofia
Inulec	10,1	4,6	1,50	16,9	5,2	5,5	Eutrofia
Probarskie	31,0	9,2	4,1	7,1	0,8	8,6	Mezotrofia b ²
Kuc	28,0	8,0	5,4	0,6	1,2	7,9	Mezotrofia a ¹
Juksty	38,6	8,0	4,6	2,6	2,0	7,4	Mezotrofia b ²

¹ mezotrofia a – zbliżone do oligotrofii² mezotrofia b – zbliżone do eutrofii

Z analizy literatury wynika, że do określenia większości parametrów charakteryzujących jakość wód powierzchniowych najbardziej stosownymi są przede wszystkim zakresy spektralne promieniowania zielonego i czerwonego [m.in. Ritchie, Cooper, 1991; Ritchie, Cooper, 2001; Thiemann, Kaufmann, 2002]. Analizując jedynie wykres odbicia spektralnego chlorofilu a - jednego z parametrów stosowanych do opisu jakości wód jeziornych - widać, że najdogodniejsze do jego określania jest promieniowanie o długości fal 650-690 nm. CHRIS rejestruje w tym przedziale cztery zakresy spektralne, co powinno wpłynąć na bardziej precyzyjne oznaczenie m.in. tego parametru.

5. Podsumowanie

W ramach prac badawczych, włączonych również w projekt międzynarodowy MEMAMON (MONitoring of the Mecklenburg and Masurian Lake Districts), w sezonie 2003 oraz 2004 wykonano próby rejestracji zdjęć satelitarnych CHRIS/PROBA na obszar testowy „Mazury”. Niestety dużym utrudnieniem jest częste zachmurzenie na tej szerokości geograficznej. Przeloty satelity około godziny 10⁰⁰ często pokrywają się z początkiem wykształcania się chmur kłębiastych (Cumulus). Decyzja o rejestracji zdjęć musi być podjęta co najmniej z 24-godzinnym wyprzedzeniem i nawet przy bardzo pomyślnych prognozach takie sytuacje komplikują pozyskanie zdjęć. W ciągu trzech miesięcy letnich teoretycznie możliwe było wykonanie 9 nalołów o dobrej geometrii (przelot satelity nad centrum obszaru badań), ale z powodów zachmurzenia w 2004 roku pozyskano tylko trzy częściowo zachmurzone obrazy: 10 lipca, 4 sierpnia i 11 sierpnia. Skuteczność pozyskiwania danych można zwiększyć programując każdy z 9 przelotów, natomiast w projekcie programowano te przeloty, dla których sytuacja limnologiczna jest najbardziej interesująca. W przypadku wykorzystania operacyjnego danych satelitarnych należy

liczyć się z tego rodzaju utrudnieniami, mimo że na ogół (analizując ostatnie dwudziestolecie) możliwe jest wykonanie rejestracji zdjęcia satelitarnego co najmniej w dwóch terminach, interesujących z punktu widzenia prowadzenia badań jakości wód.

Praca naukowa finansowana ze środków Komitetu Badań Naukowych w latach 2003-2004 jako projekt badawczy nr **5 T12E 006**.

6. Literatura

Ritchie J.C., Cooper Ch. M., 1991, An Algorithm for Estimating Surface Suspended Sediment Concentrations With Landsat MSS Digital Data, **Water Resources Bulletin**, Vol. 27, No. 3, pp. 373-379, June 1991

Ritchie J.C., Cooper Ch. M., 2001, *Remote sensing techniques for determining water quality: applications to TMDLs*, pp. 367-374. In: TMDL Science Issues Conference, Water Environment Federation, Alexandria, VA, 2001.

Thiemann S., Kaufmann H., 2002, *Lake water quality monitoring using hyperspectral airborne data - a semiempirical multisensor and multitemporal approach for the Mecklenburg Lake District, Germany*, Remote Sensing of Environment, vol. 81, pp. 228-237, Elsevier Science Inc.

Recenzował: prof. dr hab. Katarzyna Dąbrowska-Zielińska