## Sylwia SZPORAK, Jarosław CHORMAŃSKI

Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska SGGW Department of Hydraulic Engineering and Environmental Recultivation WAU

# Zastosowanie normalizacji obrazu i transformacji składowych głównych PCA do wyznaczania typu pokrycia terenu na zobrazowaniach satelitarnych Landsat 7/ETM+ podczas wezbrań w Basenie Dolnym Biebrzy Application of ratio images and Principal Component Analysis for determining of land cover during the flooding in the Biebrza Basin using Landsat 7/ETM+ imagery

Słowa kluczowe: wezbranie, teledetekcja, analiza składowych głównych, obrazy znormalizowane

Key words: rising, remote sensing, principal component analysis, ratio images

#### Wprowadzenie

Coraz powszechniej stosowaną metodą badania zjawisk i procesów zachodzących na powierzchni Ziemi jest teledetekcja satelitarna. Dynamiczny rozwój tej techniki badawczej powoduje wzrastające zapotrzebowanie i wykorzystanie jej w wielu praktycznych dziedzinach nauki i gospodarki. Wśród różnych zastosowań obrazy satelitarne z powodzeniem wykorzystuje się do analiz związanych z przestrzenną i czasową zmiennością zalewów rzecznych. Analizy tego typu wykonuje się dwukierunkowo: w celu określenia skutków katastrofalnych wezbrań powodziowych na obszarach zamieszkanych (Delmeire 1997, Oberstadler i in. 1997, Pope i in. 1997, Profeti i Macintosh 1997, Ciołkosz i Bielecka 1998, Chakraborti 1999, Rahman 1999, Maruyama i in. 1999), jak również na obszarach cennych przyrodniczo dolin rzecznych (Profeti i Macintosh 1997, Adam i in.1998, Townsend i Walsh 1998, Chormański i in. 2002).

Basen Dolny Biebrzy to obszar, gdzie wiosenne zalewy rzeczne są czynnikiem kształtującym występujące tu ekosystemy bagienne torfowisk niskich. Wyznaczanie obszarów podtopionych ma istotne znaczenie dla prowadzenia efektywnej polityki ochrony tych obszarów z uwagi na ich wpływ na mokradłowe zbiorowiska roślinne.

Publikacja niniejsza omawia zastosowanie wybranych technik przetwarzania obrazu z satelity Landsat 7/ETM+ do określenia różnych typów pokrycia terenu, w tym obszarów podtopionych w Dolnym Basenie Biebrzy, podczas wezbrania roztopowego wiosną 2002 roku.

#### Obszar badań

Basen Dolny Biebrzy stanowi południową część Pradoliny Biebrzy, położonej w północno-wschodniej części Polski na obszarze Kotliny Biebrzańskiej oraz północnej części Niziny Podlaskiej, obejmujący obszar doliny rzeki od wodowskazu w Osowcu do ujścia rzeki do Narwi. Stanowi południkowo przebiegającą rynnę długości 30 km i szerokości 12-15 km, zajętą przez zatorfiony taras zalewowy i zwydmiony poziom tarasu pradolinowego. Taras zalewowy ma charakter torfowo--mułowy i zajmuje tu największą powierzchnię. Biebrza na tym odcinku jest rzeką typowo nizinną, charakteryzującą się niskimi spadkami zwierciadła wody  $(0,11-0,22^{0}/_{00}$  w basenie dolnym) (Byczkowski i Kiciński 1991) i meandrującym korytem szerokości 20-30 m.

Dla obszaru Basenu Dolnego charakterystyczne są wysokie wezbrania wiosenne pochodzenia roztopowego i głębokie niżówki letnio-jesienne. Dla okresu 1947–1999 (profil wodowskazowy Burzyn) stany powyżej wody brzegowej stanowią około 33% wszystkich, a średnia długość okresu zalewowego wynosi 120 dni. Maksimum wezbrania przypada na okres od początku marca do połowy kwietnia (Wasilewicz 2001).

Rozpatrywany zalew z 2002 roku (tab. 1) zbliżony był do ZWW z wielolecia, czyli do wezbrania pojawiającego się statystycznie co drugi rok.

#### **Obrazy z satelity Landsat**

Do określenia typu pokrycia terenu wykorzystano obraz satelitarny Landsat 7/ETM+ zarejestrowany 17 marca 2002 roku w czasie występowania maksimum wezbrania wiosennego rzeki Biebrzy. Informacja zapisana na obrazach satelitarnych Landsat 7/ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) zawiera się w ośmiu kanałach obejmujących różne zakresy spektrum elektromagnetycznego: kanał panchromatyczny (0,520–  $-0,900 \ \mu m$ ) z rozdzielczością przestrzenną 15 m, sześć kanałów wielospek-

TABELA 1. Stany wody na wodowskazach Burzyn i Osowiec w czasie maksimum wezbrania w 2002 roku, w zestawieniu z charakterystycznymi rocznymi stanami wody z wielolecia (1951–1998) TABLE 1. Water level states observed on Burzyn and Osowiec water gauges in 2002 in the parallel with characteristic annual water levels during 1951–1998

Wodowskaz Water gauge	Star	Stan wody w					
	N1337337	7000	WAWAW	Water level in			
	IN W W	Zww	w w w	23.02.2002			
Burzyn	270	351	497	345 (347)			
Osowiec	318	400	496	410 (418)			

tralnych (niebieski 0,450–0,515  $\mu$ m, zielony 0,525–0,605  $\mu$ m, czerwony 0,630– –0,690  $\mu$ m, bliska podczerwień 0,750– –0,900  $\mu$ m, średnia podczerwień 1,55– –1,75  $\mu$ m i 2,09–2,35  $\mu$ m) z rozdzielczością 30 m i jeden kanał termalny (10,40–12,50  $\mu$ m) z rozdzielczością 60 m.

Rektyfikację obrazu satelitarnego przeprowadzono z użyciem metody najbliższego sąsiedztwa (Nearest Neighbor) na podstawie 14 punktów kontrolnych wyznaczonych na podstawie mapy topograficznej rozpatrywanego terenu w skali 1 : 25 000. Średni błąd kwadratowy (RMS) dla 14 GCP wyniósł 0,06 piksela, czyli 1,8 m w terenie.

#### **Obrazy znormalizowane**

Obrazy znormalizowane (ratio images) są wykorzystywane w celu zwiększenia możliwości interpretacyjnych obrazu. Uzyskiwane są one poprzez transformację wykorzystującą proste

działanie arytmetyczne, jakim jest dzielenie wykonane na wybranych pasmach z wielospektralnego obrazu satelitarnego, pozwalające na wyróżnienie subtelnych różnic spektralnych w scenie satelitarnej. Z wykorzystaniem wielospektralnego obrazu satelitarnego można przeprowadzić n(n - 1) kombinacji pasm (gdzie n – liczba pasm), które moga być użyte do stworzenia obrazu znormalizowanego. W przypadku satelity Landsat 7/ETM+ jest to 30 możliwych kombinacji. Najczęściej obraz znormalizowany tworzony jest na pasmach z zakresu czerwieni i bliskiej podczerwieni (pasma ETM+4: 0,750--0,900 μm i ETM+3: 0,630-0,690 μm), których użycie dobrze uwydatnia na analizowanym obrazie obszary pozbawione roślinności (tereny zurbanizowane, gołą glebę), roślinność (lasy, użytki zielone) oraz wodę. Wynika to z różnic w spektralnym odbiciu tych trzech typów pokrycia terenu w obu pasmach, co obrazuje rysunek 1.





FIGURE 1. Typical spectral characteristics for three land cover types: vegetation, soil and water (Lillesand and Kiefer 1994)

Zastosowanie normalizacji obrazu i transformacji...

Innym wykorzystywanym tu obrazem znormalizowanym jest obraz ETM+7/4 (ETM+7: 2,09–2,35  $\mu$ m i ETM+4: 0,75–0,90  $\mu$ m), który pozwala na identyfikację różnego typu gleb (Lillesand i Kiefer 1994).

# Analiza składowych głównych – PCA

Analiza składowych głównych (lub PCA – Principal Component Analysis) jest metodą pozwalającą zredukować redundancję danych obrazu wielospektralnego, wywołaną istnieniem korelacji między poszczególnymi pasmami (tab. 2). Pozwala jednocześnie na zmniejszenie liczby przekształcanych wymiarów do kilku komponentów z zachowaniem podstawowej zawartości obrazu (Wilkie i Finn 1996).

W rozpatrywanym obrazie satelitarnym największa korelacja występuje między pasmami obejmującymi zakres widzialny (zwłaszcza między pasmami ETM+2 i ETM+3), a także bliską podczerwień (ETM+5 i ETM+7). Oznacza to powtórzenie informacji niewnoszącej niczego nowego w procesie klasyfikacji treści obrazu. Rysunek 2 przedstawia możliwą korelację między wartościami danych z dwóch kanałów obrazu w postaci zależności typu X-Y.

Dwa identyczne podobrazy są ze sobą w pełni skorelowane, co w rezultacie daje linię prostą (rys. 2b). W przypadku zupełnie różnych podobrazów, czyli obrazów nieskorelowanych, otrzymujemy wykres rozproszenia o rozproszonych wektorach, tak jak na rysunku 2c.

Dla obrazu zawierającego tylko dwa pasma zależność między jasnością pikseli w obu podobrazach może być przedstawiona w postaci funkcji dwóch zmiennych (rys. 3).

W zależności takiej można zmienić wartości pikseli przez przesunięcie i obrót układu współrzednych. Pozwala to na zminimalizowanie korelacji między pasmami X i Y poprzez przesunięcie układu współrzędnych tak, aby nowa oś x' układała się w kierunku największej wariancji danych, dzięki czemu w nowym układzie współrzędnych dane nie będą ze sobą skorelowane (Magnuszewski 1999). Pierwsza składowa główna (PC1) jest osią wyrównującą zbiór danych, wzdłuż kierunku największej wariancji, druga zaś składowa (PC2), jako oś prostopadła do poprzedniej. Podobnie można przekształcić wielowymiarowe zbiory danych, otrzymując obraz, którego skła-

TABELA 2. Macierz korelacji obrazu satelitarnego Landsat 7/ETM+ TABLE 2. Correlation matrix of the Landsat 7/ETM+ image

Numer pasma Band number	ETM+1	ETM+2	ETM+3	ETM+4	ETM+5	ETM+7
ETM+1	1,000					
ETM+2	0,935	1,000				
ETM+3	0,930	0,965	1,000			
ETM+4	0,635	0,750	0,672	1,000		
ETM+5	0,834	0,897	0,888	0,811	1,000	
ETM+7	0,867	0,906	0,916	0,663	0,950	1,000



RYSUNEK 2. Wykres rozproszenia: a – dwóch skorelowanych pasm ETM+5 i ETM+7, b – dwóch identycznych podobrazów, c – dwóch nieskorelowanych podobrazów przekształconych metodą PCA FIGURE 2. Scattergram of: a – two correlated bands ETM+5 and ETM+7, b – two identical subimages, c – and two uncorrelated subimages transformed with PCA





FIGURE 3. New pixel brightness resulted from transformation and scaling of the coordination system (Magnuszewski 1999)

dowe spektralne są całkowicie niezależne od siebie.

Dla analizowanego obrazu satelitarnego Landsat 7/ETM+ procent zawartości informacji w poszczególnych pasmach przedstawia tabela 3.

Największe możliwości interpretacyjne dają pierwsze trzy komponenty główne, każdy kolejny reprezentuje coraz mniejszą różnorodność treści obrazu (rys. 4). Sześć pasm satelity Landsat 7/ETM+ można skompresować do trzech składowych głównych zawierających 99,042% wariancji oryginalnych danych. Pierwszy komponent główny (PC1) bardzo dobrze przedstawia obszary znajdujące się pod wodą (kolor czarny), a także pozwala na wyróżnienie obszarów o różnym typie roślinności. Druga składowa główna (PC2), zawierająca 7,702%

Zastosowanie normalizacji obrazu i transformacji...

РСА	Wartość własna Eigenvalue	Procent danych oryginalnego obrazu Percent of information content in original image
PC1	1333,265	89,358
PC2	114,927	7,702
PC3	29,573	1,982
PC4	9,655	0,647
PC5	3,119	0,209
PC6	1,513	0,101
Razem / Sum	1492,052	100,000

TABELA 3. Procent zawartości informacji w poszczególnych pasmach obrazu TABLE 3. Percent of information content in the following image bands



RYSUNEK 4. Fragment sceny satelitarnej Landsat 7/ETM+ obejmującej obszar basenu dolnego Biebrzy, przetworzony transformacją PCA

FIGURE 4. Fragment of Landsat 7/ETM+ image including area of the Lower Biebrza Basin transformed with PCA

danych oryginalnego obrazu, może być traktowana jako indeks wilgotności gleby, gdyż wyraźnie podkreśla obszar basenu dolnego, charakteryzujący się większą wilgotnością gleb w stosunku do obszarów przyległych (kolor jasnoszary i biały). Przetworzenie obrazu typu PCA powoduje, że spektralne różnice między pasmami są ostrzejsze i mogą ujawniać subtelne cechy obrazu niedostrzegalne w oryginalnych danych.

Pamiętać należy, że wartości jasności każdego komponentu nie odpowiadają bezpośrednio charakterystyce spektralnej analizowanych powierzchni. Dlatego nie możemy wykorzystać naszej wiedzy dotyczącej spektralnych właściwości różnych elementów krajobrazu do interpretacji obrazu przetworzonego z wykorzystaniem tej transformacji. Wszelkie analizy powinny być wsparte wynikami obserwacji w terenie.

#### Klasyfikacja

Klasyfikację treści obrazu przeprowadzono metodą największego prawdopodobieństwa (Maximum Likelihood Classifier). W metodzie tej piksele przyporządkowywane są do klas na podstawie odległości od wartości średniej oraz prawdopodobieństwa obliczanego a priori.

Jest to przewidziane prawdopodobieństwo przynależności pikseli do danej klasy. Klasyczna odmiana tej metody bazuje na założeniu, że prawdopodobieństwa przynależności do klas sa równe (Equal Prior Probability) oraz że wejściowe zbiory danych posiadają normalny rozkład wartości (ER Mapper User Guide). Pola treningowe (regiony) zdefiniowano na podstawie danych pochodzących z pomiarów terenowych wykonanych w czasie trwania zalewu wiosennego w dolinie Biebrzy, a także na podstawie wektorowej mapy zbiorowisk roślinnych Basenu Dolnego i mapy topograficznej. Na obrazie satelitarnym w kompozycji barwnej, obejmującej obrazy znormalizowane ETM+4/3 i ETM+7/4, a także pierwszy komponent główny, wskazano piksele z kolejnych pól reprezentatywnych różniących się od siebie typem pokrycia terenu. Zdefiniowano 14 klas, które podzielono na dwie kategorie:

- klasy "mokre" obszary podlegające zarówno zalewom rzecznym, położone w bezpośrednim sąsiedztwie rzeki, porośnięte głównie przez zbiorowiska roślinne związku *Phragmition* i *Magnocaricion*, jak i podtopieniom wodami gruntowymi, gdzie stwierdzono obecność wody w czasie pomiarów terenowych: woda, zalane wysokie turzyce-trzciny, trzciny, zalany ols, ols, zalana łąka, podmokła łąka, turzycowisko, turzycowisko-zakrzewienia-trzciny, łąka turzycowo-mszysta,
- klasy "suche" obszary, które nie zostały objęte zalewem: las iglasty, las liściasty, łąka, grunty orne.



RYSUNEK 5. Wykres rozproszenia dla kompozycji barwnej RGB, zależność ETM+4/3: PC1 – poszczególne elipsy przedstawiają różny typ pokrycia terenu

FIGURE 5. Scattergram for RGB composition, relationship ETM+4/3: PC1 – particular ellipses represent different land cover types

Przed przystąpieniem do klasyfikacji sprawdzono poprawność zdefiniowania regionów, analizując wykresy rozproszenia dla rozpatrywanej kompozycji barwnej (rys. 5).

Wykorzystana transformacja PCA umożliwiła dobre rozdzielenie klas, a zatem wyznaczone pola treningowe reprezentujące poszczególne klasy zostały poprawnie zdefiniowane. Nieliczne klasy zachodzą na siebie, ale w niewielkim stopniu, wiąże się to z podobnymi właściwościami spektralnymi tych obszarów.

### Wynik klasyfikacji

W wyniku przeprowadzonej klasyfikacji uzyskano mapę typów pokrycia terenu podczas wiosennego zalewu Biebrzy w 2002 roku. Weryfikację

TABELA 4. Wyniki weryfikacji klasyfikacji nadzorowanej obrazu Landsat 7/ETM+ dla PCA i obrazów znormalizowanych TABLE 4. Verification of supervised classification of Landsat 7/ETM+ image for PCA and ratio images

Typ macierzy błędów / Confusion matrix type	Raw Count	s														
Sumaryczna poprawność klasyfikacji: 72% / 7	Fotal classifi	cation	accur	acy: 7	2%											
Wartość współczynnika Kappa: 0,675 / Kappa	a coefficient	value:	0.675	) 			1		1			1	1			1
Nazwa klasy / Class name	Numer klasy Class number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Razem Sum
Zalana łąka / Fooded meadow	1	10	1	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15
Trzciny / Reed	2	6	47	5	5	2	9	1	0	0	0	2	0	4	8	89
Łąka turzycowo-mszysta /Sedge moss meadow	3	0	0	13	0	0	7	0	0	0	1	0	0	0	4	25
Ols / Alder swamp forest	4	1	0	0	36	0	7	0	0	0	0	3	0	0	2	49
Zalane wysokie turzyce-trzciny / Fladed hay sedge reed	5	5	1	0	1	38	0	0	0	0	0	6	0	5	0	56
Turzycowisko-zakrzewienia-trzciny / Sedge- -shruds-reed	6	0	0	0	5	0	85	0	0	0	0	0	0	0	7	97
Podmokła łąka / Wet meadow	7	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2
Łąka / Meadow	8	0	0	1	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	6
Grunty orne / Bare soil	9	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	5
Las liściasty / Detidous forest	10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0	1	0	13
Zalany ols / Fladed alder swamp forest	11	3	11	0	0	6	2	0	0	0	0	40	0	6	5	73
Las iglasty / Toniferous forest	12	0	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0	4	0	0	7
Woda / Water	13	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	3	0	103	0	113
Turzycowisko / Sedge	14	0	0	0	0	0	15	0	0	0	1	0	0	0	22	38
Razem / Sum		26	60	19	48	57	125	5	5	5	13	54	4	119	48	588
Poprawność wyznaczenia poszczególnych klas [%] Indyvidual class assignation accuracy		38	78	68	75	67	68	40	100	100	85	74	100	87	45	

wykonanej klasyfikacji nadzorowanej przeprowadzono, tworząc tzw. macierz błędów (confusion matrix) – tabela 4. Macierz ta pozwala na oszacowanie dokładności klasyfikacji na podstawie pliku odniesienia zawierającego znane dane referencyjne (reference dataset). Danymi referencyjnymi były zebrane w czasie wykonywania zdjęcia informacje o rzeczywistym rodzaju pokrycia terenu.

#### Podsumowanie

Klasyfikacja nadzorowana przetworzonego zdjęcia satelitarnego dała dobre rezultaty: sumaryczna poprawność klasyfikacji wyniosła 72%, a wielkość współczynnika kappa 0,675. Zastosowane analizy umożliwiły rozróżnienie rodzaju pokrycia terenu roślinnością, pomimo że wykorzystany obraz satelitarny Landsat 7/ETM+ był zarejestrowany poza okresem wegetacyjnym. Poprawnie zostały wyróżnione obszary łąk (w tym także łąk turzycowo--mszystych), lasy zarówno iglaste, jak i liściaste, a także tereny porośnięte przez jednolite powierzchnie trzciny pospolitej. Dobre rezultaty uzyskano dla obszarów podtopionych porośniętych przez lasy i zarośla. Opracowywane zdjęcie satelitarne wykonane zostało wczesną wiosną, kiedy drzewa pozbawione są liści i woda pod koronami drzew jest dobrze widoczna.

Trudności napotkano przy próbie rozróżnienia obszarów turzycowisk i turzycowisk z zakrzewieniami i trzciną. Wiąże się to z tym, że na obrazie satelitarnym wykonanym wczesną wiosną informacja dotycząca pokrycia terenu roślinnością przedstawiana jest na podstawie właściwości spektralnych martwej materii roślinnej oraz podtapiającej roślinność wody. Na analizowanym obrazie satelitarnym obie te klasy wykazywały między sobą znaczne podobieństwo.

Zasadność wykorzystania obrazów satelitarnych do określenia rodzaju pokrycia terenu wraz z identyfikacją obszarów podtopionych w bagiennej dolinie rzeki została potwierdzona dzięki odpowiedniej ilości informacji pomiarowych. Niemniej jednak zastosowanie analizy składowych głównych i obrazów znormalizowanych w znacznym stopniu poprawiło jego możliwości interpretacyjne i umożliwiło poprawne zastosowanie klasyfikacji i określenie typów pokrycia terenu na obszarach, gdzie pomiary nie były wykonane ze względu na niedostępność terenu.

#### Literatura

- ADAM S., WIEBE J., COLLINS M., PIETRON-INO A. 1998: Radarsat Flood Mapping in the Peace-Athabasca Delta, Canada. *Canadian Joul. of Remote Sensing* 24, 7: 69–79.
- BYCZKOWSKI A., KICIŃSKI T. 1991: Hydrologia i hydrografia dorzecza Biebrzy. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych 372.
- CHAKRABORTI A.K. 1999: Satellite Remote Sensing for Near-Real-Time Flood and Drought Impact Assessment – Indian Experience, The Post Conference Proceedings Volume (Net Edition) of Geoinformatics "Beyond 2000" an International Conference on Geoinformatics for Natural Resource Assessment, Monitoring and Management, Indian Institute of Remote Sensing, March 9– –11, Dehradun, India.
- CHORMAŃSKI J., OKRUSZKO T., WASSEN M.J., SKĄPSKI J. 2002: Surface water system analysis. Flood extent measurements

and topography of the valley. In: Hydrological system analysis in the valley of Biebrza River (eds.) W. Mioduszewski, E.P. Querner. Wydawnictwo IMUZ, Falenty.

- CIOŁKOSZ A., BIELECKA E. 1998: Powódź w dolinie Odry w 1997 r. w świetle interpretacji zdjęć satelitarnych. *Prace Instytutu Geodezji i Kartografii* XLV(97): 81–95.
- DELMEIRE S. 1997: Use of ERS-1 data for the extraction of flooded areas. *Hydrol. Process*. 11: 1393–1396.
- Er Mapper User Guide, Earth Resource Mapping Ltd.
- KOSSOWSKA-CEZAK U., OLSZEWSKI K. 1991: Klimat Kotliny Biebrzańskiej. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych 372.
- LILLESAND T., KIEFER R. 1994: Remote sensing and image interpretation. USA.
- MAGNUSZEWSKI A. 1999: GIS w geografii fizycznej. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- OBERSTADLER R., HÖNSCH H., HUTH D. 1997: Assessment of the mapping capabilities of ERS-1 SAR data for flood mapping: a case study in Germany. *Hydrol. Process.* 11: 1415–1425.
- MARUYAMA Y., HIROSE K., QUY V.D. 1999: A study of the SAR data application for flood monitoring in the lower reaches of the Mekong river. Proceedings of 2<sup>nd</sup> International Symposium on Operationalization of Remote Sensing. Session: Natural Hazards, CD edition, August, Enschede, The Netherlands.
- POPE K.O., REJMANKOVA E., PARIS, J.F., WOODRUFF R. 1997: Detecting seasonal Flooding Cycles in Marshes of the Yucatan Penninsula with SIR-C Polarimetric Radar Imagery. *Remote Sens. Environ.* 59: 157–166.
- PROFETI G., MACINTOSH H. 1997: Flood management through Landsat TM and ERS SAR data: a case study. *Hydrol. Proces.* 11: 1397–1408.
- RAHMAN H. 1999: Study of the catastrophic flood of 1998 in Bangladesh using multitemporal Radarsat Scansar data. Proceedings of 2<sup>nd</sup> International Symposium on Operationalization of Remote Sensing. Session: Natural Hazards, CD edition, August, Enschede, The Netherlands.

- TOWNSEND P.A., WALSH S.J. 1998: Modeling floodplain inundation using integrated GIS with radar and optical remote sensing. *Geomorphology* 21, 295–312.
- WASILEWICZ M. 2001: Charakterystyka warunków siedliskowych występujących w basenie dolnym Biebrzy ze szczególnym uwzględnieniem czynników hydrologicznych. Praca magisterska. SGGW, Warszawa.
- WILKIE D., FINN J. 1996: Remote sensing imagery for natural resources monitoring. A Guide for First-Time Users. Columbia University Press, New York.

#### **Summary**

Application of ratio images and Principal Component Analysis for determining of land cover during the flooding in the Biebrza Basin using Landsat 7/ETM+ imagery. Landsat 7/ETM+ image processed with method taking advantage of ratio images and Principal Component Analysis -PCA was put to Supervised Classification. Classification was carried out with Maximum Likelihood Classification method on the basis of land cover classes determined upon ground exploration data and complementary data as topographic and thematic maps of investigated area. Analysis of satellite image was executed in ER Mapper 6.1 without thermal and panchromatic band. Results were compared and usefulness of foregoing methods to determine land cover in the area of flooded river basins was given.

#### Authors' address:

Sylwia Szporak, Jarosław Chormański Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego Katedra Inżynierii i Rekultywacji Środowiska 02-776 Warszawa, ul. Nowoursynowska 159 Poland