

**Michał WASILEWSKI, Jarosław CHORMAŃSKI**

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

## **Możliwości wykorzystania teledetekcji do określania terenów podtopionych w Dolnym Basenie rzeki Biebrzy** **Possibilities of remote sensing utilization for determining flooded areas in Biebrza River Lower Basin**

**Słowa kluczowe:** wezbrania wiosenne, teledetekcja, kompozycja 453, klasyfikacja nadzorowana

**Key words:** spring risings, remote sensing, 453 composition, supervised classification

temat możliwości zastosowania teledetekcji do wyznaczania terenów podtopionych na przykładzie obrazu z satelity Landsat 7 ETM+ pozyskanego wiosną 2002 roku. Przeanalizowano również skuteczność metody w wyznaczaniu obszarów o różnej głębokości zalewu.

### **Wprowadzenie**

Pozyskiwanie informacji ze zdjęć satelitarnych jest coraz powszechniejszą praktyką w różnych dziedzinach nauki i gospodarki. Jedną z tych dziedzin jest hydrologia, gdzie obrazy satelitarne wykorzystuje się do analizy wezbrań powodziowych na terenach zamieszkałych oraz do obserwacji naturalnych zalewów na rzekach nieprzekształconych antropogenicznie. Jedną z ostatnich w Europie naturalnych rzek jest Biebrza, na której coroczne zalewy i podtopienia są czynnikiem decydującym dla rozwoju zbiorowisk roślinnych (Okruszko i in. 2003). Dokładne poznanie rozmiaru zalewów ma kluczowe znaczenie dla ochrony tego delikatnego ekosystemu. W publikacji poruszono

### **Obszar badań**

Basen Dolny Biebrzy zajmuje południową część doliny Biebrzy od miejscowości Osowiec po ujście do Narwi. Długość basenu wynosi 25 km, a szerokość 12–15 km. Większość jego powierzchni stanowi zatorfiony taras zalewowy. Na tym odcinku Biebrza ma typowo nizinny charakter; spadki wynoszą 0,11–0,12‰ (Byczkowski i Kiciński 1991).

Dla obszaru Basenu Dolnego charakterystyczne są wysokie wezbrania wiosenne pochodzenia roztopowego i głębokie niżówki letnio-jesienne. Maksimum wezbrania przypada na

okres od początku marca do połowy kwietnia. Zalew z 2002 roku był zbliżony do ZWW z wielolecia, a więc do tzw. wody dwuletniej.

### **Przetwarzanie obrazów satelitarnych**

Do analiz wykorzystano obraz satelitarny Landsat 7 ETM+ zarejestrowany 17 marca 2002 roku. Obraz z satelity Landsat zawiera 8 kanałów spektralnych w zakresie od panchromatycznego, przez zakres widzialny widma, po termalną podczerwień. Zakres widma rejestrowanego przez sensory obejmuje zatem fale z zakresu 0,45–2,35  $\mu\text{m}$ . W omawianym obrazie pominięto kanał panchromatyczny i termalny podczas wszystkich analiz. Rektyfikację przeprowadzono metodą najbliższego sąsiedztwa (Nearest Neighbour) na podstawie 14 punktów kontrolnych. Błąd rektyfikacji wyniósł 0,06 piksela, czyli 1,8 m w terenie (Szporak i Chormański 2004). W celu poprawienia właściwości wizualnych zdjęcia wzmocniono kontrast oraz zastosowano kompozycję barwną 453. Kompozycja ta uwydatnia cechy terenowe związane z wodą; jest to powszechnie stosowana kompozycja w analizach zjawisk powodziowych (Lillesand i Kiefer 1994). Kanał 4 pozwala na określenie typu pokrywy roślinnej, kanał 5 wykorzystywany jest do badania bilansu wodnego roślin oraz do identyfikacji chmur i pokrywy śnieżnej, kanał 3 zaś umożliwia identyfikację obszarów z roślinnością różnogatunkową, a także pozwala na wyodrębnienie granic glebowych i geologicznych.

### **Klasyfikacja**

Przygotowany w poprzednim kroku obraz wraz z danymi terenowymi (i pochodzącymi z map tematycznych) o pokryciu terenu wykorzystano do wyznaczenia pól treningowych. Wyodrębniono 12 klas odpowiadających głównym typom roślinności oraz zróżnicowaniu głębokości podtopienia w celu jak najlepszego uchwycenia zmienności i różnorodności napotkanych środowisk w terenie (tereny zabudowane, ols nisko podtopiony, turzycowisko średnio podtopione, turzycowisko nisko podtopione, łąka średnio podtopiona, łąka niepodtopiona, wody otwarte, łąka wysoko podtopiona, las iglasty, turzycowisko wysoko podtopione, ols średnio podtopiony, ols wysoko podtopiony). Klasa wody otwarte ze względu na swoją specyfikę może obejmować również te obszary, na których roślinność jest całkowicie pokryta wodą. Natomiast w klasie turzycowiska mają swój udział także trzciny, dające podobną odpowiedź spektralną w opisanych warunkach. Na podstawie obserwacji terenowych wyznaczono następujące klasy głębokości:

- 0–30 cm teren nisko podtopiony,
- 31–50 cm teren średnio podtopiony,
- > 51 cm teren wysoko podtopiony.

Klasyfikację nadzorowaną (Lillesand i Kiefer 1994, Wilkie i Finn 1996) przeprowadzono przy użyciu metody największego podobieństwa (Maximum Likelihood Classifier) we wszystkich kanałach spektralnych z pominięciem panchromatycznego oraz termalnego.

## Weryfikacja

Wyniki uzyskane w procesie klasyfikacji zweryfikowano na podstawie 619 punktów pomiarowych pozyskanych podczas kampanii pomiarowej, która odbyła się w okresie obejmującym czas akwizycji zdjęcia. Wykorzystano metodę surowych zliczeń (Raw Count) dostępną w programie ER Mapper. Wynikiem jest macierz błędów (Confusion Matrix), przedstawiająca stosunek zestawu sklasyfikowanego (zdjęcia) do zestawu referencyjnego (punkty pomiarowe/weryfikacyjne). Standardową macierz generowaną przez program można uzupełnić w arkuszu kalkulacyjnym o błędy przeszacowania (errors of commission) oraz błędy pominięcia (errors of omission) (Kozak 1997). Błąd przeszacowania określa, jak często dana klasa występuje w innych polach weryfikacyjnych, natomiast błąd pominięcia mówi o tym, jaka część powierzchni została błędnie zaklasyfikowana. Taką rozbudowaną macierz przedstawia tabela 1.

Komórki w głównej przekątnej tabeli zawierają liczby poprawnie zaklasyfikowanych prób terenowych z pliku referencyjnego do klas wyznaczonych pierwotnie. Poprawność tej klasyfikacji wyniosła 40,71% (skrajna, prawa, dolna komórka tabeli). Współczynnik kappa (Kappa Statistic) wyniósł 0,320. Obie wartości wskazują na małą sprawność ogólną tak przeprowadzonej klasyfikacji. Poprawność wyznaczenia poszczególnych klas przedstawia rysunek 1. Jak widać, tylko jedna klasa osiągnęła poprawność 100% – las iglasty. Klasa ta została wyznaczona na podstawie danych z mapy topograficznej oraz typo-

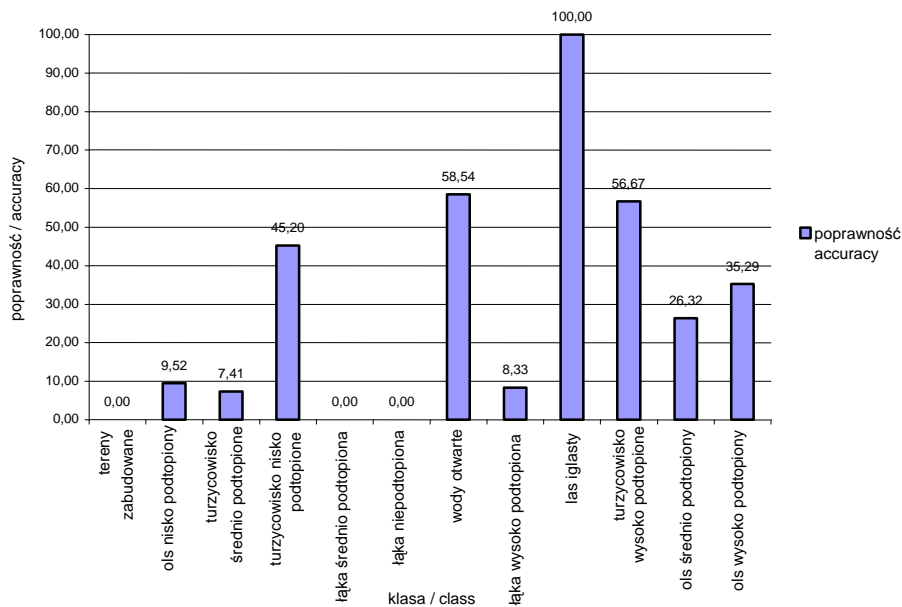
wej odpowiedzi spektralnej pozwalającej wyraźnie odróżnić lasy od innego typu roślinności. Pozostałe klasy nieznacznie przekraczają 50% lub nie osiągają tego progu w ogóle lub nie zostały zaklasyfikowane. Błędy pominięcia są dla tych klas duże lub maksymalne dla klas, których poprawność wyniosła 0%. Błędy przeszacowania pokazują, że próby należące do jednej klasy zostały przyporządkowane do innych klas. Przyczyną jest duże podobieństwo spektralne wyznaczonych klas oraz duża heterogeniczność terenu, dzięki czemu klasy zachodzą na siebie. W niektórych wypadkach mogła mieć znaczenie niewielka liczba rejestracji danej klasy w terenie podczas pomiarów terenowych (łąka niepodtopiona).

W związku z małą sprawnością dla tak określonych klas zaproponowano generalizację klas jako sposób na poprawienie skuteczności (Wilkie i Finn 1996). W pierwszej przeprowadzonej generalizacji klasy tego samego typu, ale o innej głębokości zalewu, połączono w jedną bez uwzględnienia głębokości i jednocześnie zrezygnowano z klasy łąka niepodtopiona (klasa ta miała bardzo nieliczne obserwacje w terenie, w związku z czym poprawne jej wyznaczenie było niemożliwe). Powstało w ten sposób 6 klas – tereny zabudowane, turzycowisko, łąka podtopiona, las iglasty, wody otwarte, ols. Po klasyfikacji tą samą metodą wyniki przedstawia rysunek 2.

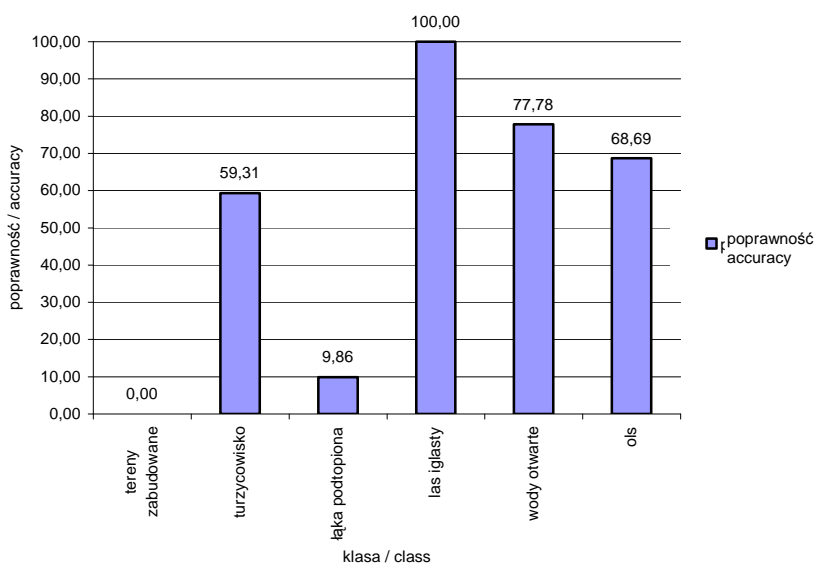
Ogólna sprawność klasyfikacji wzrosła do 63,17%, a współczynnik kappa wyniósł 0,514. Klasa tereny zabudowane po raz kolejny nie została zaklasyfikowana, pomimo że jest to klasa wyznaczona na podstawie mapy

TABELA 1. Macierz błędów (w kolumnach zestaw referencyjny, w wierszach zestaw po klasyfikacji)  
 TABLE 1. Confusion matrix (reference dataset in columns, classified dataset in rows)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Razem Overall	Błąd przesz- acowania Error of commis- sion [%]	Popraw- ność Accura- cy [%]
1. Tereny zabudowane Built up areas	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	100,00	0,00
2. Ols nisko podtopiony Low flooded alder	0	6	1	10	0	1	3	0	0	0	1	0	22	72,73	9,52
3. Turzycowisko średnio podtopione Medium flooded sedge	3	2	4	31	0	13	4	1	0	0	0	0	58	93,10	7,41
4. Turzycowisko nisko podtopione Low flooded sedge	0	6	18	80	0	6	3	0	0	1	2	0	116	31,03	45,20
5. Łąka średnio podtopiona Med flooded meadow	0	1	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	4	100,00	0,00
6. Łąka niepodtopiona Not flooded meadow	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
7. Wody otwarte Open waters	0	4	5	3	4	3	72	17	0	5	1	6	120	40,00	58,54
8. Łąka wysoko podtopiona High flooded meadow	0	1	2	4	3	1	10	2	0	6	2	2	33	93,94	8,33
9. Las iglasty Coniferous forest	0	0	0	1	0	0	0	0	60	0	0	0	61	1,64	100,00
10. Turzycowisko wysoko podtopione High flooded sedge	1	5	17	29	2	6	27	4	0	17	3	3	114	85,09	56,67
11. Ols średnio podtopiony Medium flooded alder	0	23	1	2	0	5	1	0	0	0	5	0	37	86,49	26,32
12. Ols wysoko podtopiony High flooded alder	1	15	6	14	0	2	3	0	0	1	5	6	53	88,68	35,29
Razem / Overall	5	63	54	177	9	38	123	24	60	30	19	17	619	–	–
Błąd pominięcia [%] Error of omission	100,00	90,48	92,59	54,80	100,0	100,0	41,46	91,67	0,00	43,33	73,68	64,71	–	–	40,71



RYSUNEK 1. Poprawność klasyfikacji poszczególnych klas pierwotnego zestawu klas  
 FIGURE 1. Classification accuracy for primary set of classes



RYSUNEK 2. Poprawność klasyfikacji poszczególnych klas dla generalizacji pierwszej  
 FIGURE 2. Classification accuracy for classes given in generalization one

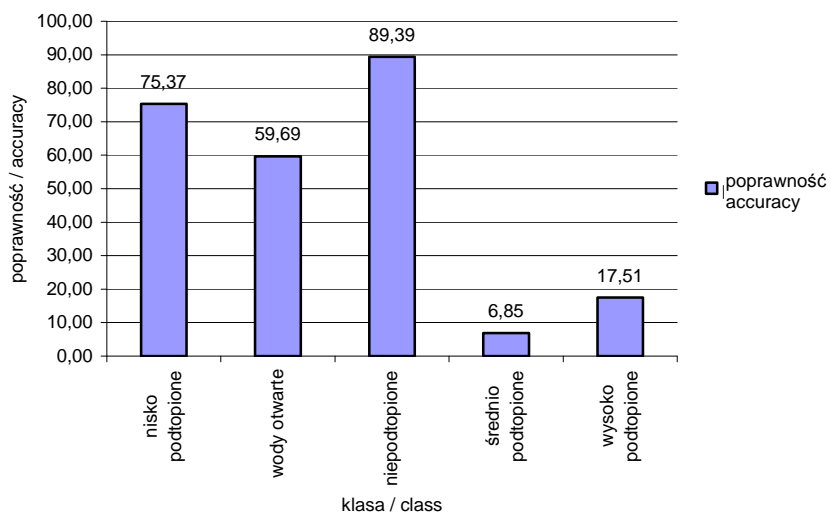
topograficznej oraz doskonale odróżnialnej charakterystyki na zdjęciu satelitarnym. Przyczyną może być duża rozpiętość wartości pikseli na zdjęciu w obrębie osiedli ludzkich. Klasa turzycowisko osiągnęła poprawność prawie 60%, co dowodzi, że większość punktów była przyporządkowana do klas o zbliżonej charakterystyce spektralnej, Niecałe 10% dla łąki podtopionej świadczy o stale dużym udziale tej klasy w innych klasach. Las iglasty bez zmian – 100%. Wody otwarte zaklasyfikowano z prawie 80-procentową poprawnością. Olsy zanotowały istotny wzrost z około 30 do 68%. Mimo poprawy ciągle są obecne błędy przeszacowania oraz pominięcia o stosunkowo dużej wartości ( $> 5\%$ ) – tabela 2.

W drugiej generalizacji wydzielono klasy ze względu na wysokość podtopienia. Wyznaczono 5 klas (w nawiasach podano klasy, które połączono): wody otwarte (klasa „bez domieszek” innych klas), wysoko podtopione (turzycowisko wysoko podtopione, łąka wysoko podtopiona, ols wysoko podtopiony), średnio podtopione (turzycowisko średnio podtopione, łąka średnio podtopiona, ols średnio podtopiony), nisko podtopione (turzycowisko nisko podtopione, łąka nisko podtopiona, ols nisko podtopiony), niepodtopione (tereny zabudowane, las iglasty, łąka niepodtopiona). Wynik przedstawia rysunek 3.

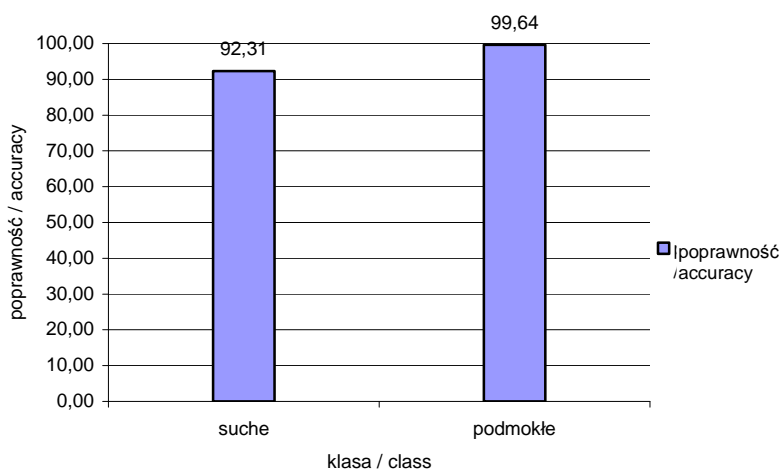
W tym wypadku ogólna sprawność wyniosła 45,23%, a współczynnik kappa 0,316. Bardzo dobre wyniki otrzymano

TABELA 2. Macierz błędów dla generalizacji pierwszej  
TABLE 2. Confusion matrix for generalization one

	1	2	3	4	5	6	Razem Overall	Błąd przeszacowania [%] Error of commission	Poprawność [%] Accuracy
1. Tereny zabudowane Built up areas	0	3	0	0	0	0	3	100,00	0,00
2. Turzycowisko Sedge	2	137	20	0	5	10	174	21,26	59,31
3. Łąka podtopiona Flooded meadow	1	4	7	0	9	2	23	69,57	9,86
4. Las iglasty Coniferous forest	0	1	0	60	0	0	61	1,64	100,00
5. Wody otwarte Open waters	1	50	35	0	119	19	224	46,88	77,78
6. Ols Alder forest	1	36	9	0	20	68	134	49,25	68,69
Razem / Overall	5	231	71	60	153	99	619	–	–
Błąd pominięcia [%] Error of omission	100,00	40,69	90,14	0,00	22,22	31,31	–	–	<u>63,17</u>



RYSUNEK 3. Poprawność klasyfikacji poszczególnych klas dla generalizacji drugiej  
 FIGURE 3. Classification accuracy for classes given in generalization two



RYSUNEK 4. Poprawność klasyfikacji poszczególnych klas dla generalizacji trzeciej  
 FIGURE 4. Classification accuracy for generalization three

dla klasy nisko podtopione (75%) oraz niepodtopione (89%). Wody otwarte uzyskały niecałe 60% poprawności wyznaczenia. Pozostałe klasy uzyskały bardzo słabe wyniki od 6 do 17%. Przeprowadzono również trzecią generalizację, w której zaproponowano wydzielenie tylko dwu klas – suche oraz podtopione. W tym wypadku do klasy suche wszedł jedynie las iglasty, tereny zabudowane oraz łąka niepodtopiona, a do klasy podmokłe – pozostałe uprzednio wydzielone klasy. Wynik przedstawia rysunek 4.

W tym wypadku poprawność dla klasy suche osiąga 92%, a dla klasy podmokłe ponad 99%. Ogólna sprawność wzrosła do 98,87%, a współczynnik kappa wyniósł 0,939. Macierz błędów również potwierdza te bardzo dobre wyniki (tab. 4).

## Wnioski i dyskusja

Należy pamiętać, że otrzymane wyniki są tylko pewnym statystycznym przybliżeniem i porównanie wyników ze zdjęciem pierwotnym oraz z wiedzą o danym terenie ujawnia nadinterpretację danych przez program. Jest to wynikiem niedoskonałości samego algorytmu, ale także, co jest istotniejsze, podatności metody na subiektywną ocenę operatora, liczbę i dokładność punktów weryfikacyjnych. Kompozycja 453 nie sprawdza się w rozróżnianiu szczegółowych klas pokrycia terenu w warunkach długotrwałego podtopienia, jakie ma miejsce wiosną w dolinie Biebrzy. Klasy dają podobną odpowiedź spektralną, co uniemożliwia precyzyjne zaklasyfikowanie poszczególnych prób do odpowiednich klas, pomimo zebrania

TABELA 3. Macierz błędów dla generalizacji drugiej  
TABLE 3. Confusion matrix for generalization two

	1	2	3	4	5	Razem Overall	Błąd przeszacowania [%] Error of commis- sion	Popraw- ność [%] Accuracy
1. Nisko podtopione Low flooded	101	3	7	23	0	134	24,63	75,37
2. Wody otwarte Open waters	8	77	3	13	28	129	40,31	59,69
3. Niepodtopione Not flooded	3	2	59	0	2	66	10,61	89,39
4. Średnio podtopione Medium flooded	35	11	19	5	3	73	93,15	6,85
5. Wysoko podtopione High flooded	93	30	15	41	38	217	82,49	17,51
Razem / Overall	240	123	103	82	71	619	–	–
Błąd pominięcia [%] Error of omission	57,92	37,40	42,72	93,90	46,48	–	–	45,23



TABELA 4. Macierz błędów dla generalizacji trzeciej  
TABLE 4. Confusion matrix for generalization three

	Suche Dry	Podmokłe Flooded	Razem Overall	Błąd przesza- cowania [%] Error of commission	Popraw- ność [%] Accuracy
Suche / Dry	60	2	62	3,23	92,31
Podmokłe / Flooded	5	552	557	0,90	99,64
Razem / Overall	65	554	619	–	–
Błąd pominięcia [%] Error of omission	7,69	0,36	–	–	98,87

punktów weryfikacyjnych w terenie. Zwłaszcza gdy liczba punktów weryfikacyjnych dla poszczególnych klas jest diametralnie różna. Związane jest to przede wszystkim z dostępnością terenu i zwykle ograniczonym czasem pomiarów.

Ograniczenie liczby klas oraz ich uszczegółowienia poprawiają wyniki procesu klasyfikacji (Wilkie i Finn 1996), ale ciągle mamy do czynienia z klasami w ogóle nieklasyfikowanymi lub klasyfikowanymi niesatysfakcjonująco. Dalsza generalizacja, polegająca na wydzieleniu klas według głębokości podtopienia, prowadzi do wzrostu poprawności klas słabo związanych z głębokością zalewu (niepodtopione i nisko podtopione), natomiast klasy o dużej zależności od głębokości zalewu (wody otwarte, średnio podtopione, wysoko podtopione) uzyskały średnie dokładności (ok. 60%) lub bardzo słabe (6–17%). Przyczyną tego stanu rzeczy może być duże podobieństwo spektralne wszystkich klas w znacznym stopniu podtopionych przez zalew. Powoduje to nachodzenie na siebie klas oraz zbliżenie ich centrów (rys. 4), co powoduje błędy w klasyfikacji. W analizie głębokości wody kompozycja 453 nie była wystarczająca do wyznaczenia odpowiednio

dokładnego i homogenicznego zestawu klas, który jest niezbędny do uzyskania dużej sprawności klasyfikacji nadzorowanej. Dalsza generalizacja, polegająca na wydzieleniu tylko dwóch klas (suche i podtopione), prowadzi do bardzo dużego wzrostu poprawności klasyfikacji nadzorowanej – dla obu klas ponad 90%.

W tym wypadku kompozycja 453 oraz klasyfikacja nadzorowana wykonana metodą największego podobieństwa wydają się być odpowiednimi sposobami do odróżniania terenów podtopionych i suchych. Należy jednak zwrócić uwagę na fakt, że klasa podtopione zawierała wszystkie klasy, począwszy od tych, gdzie woda pojawiała się na powierzchni po naciśnięciu gruntu, a skończywszy na klasach podtopionych do 1 m i więcej. Słuszniejsze zatem będzie traktowanie klasy podtopione bardziej ogólnie jako klasy mokre. Poprawna klasyfikacja wymaga szczegółowego wyznaczenia klas oraz dodatkowych transformacji matematycznych obrazu, w tym redukcji zbędnych informacji np.: metodą analizy składowych głównych (Lillesand i Kiefer 1994). Uzyskane wyniki świadczą o tym, że zdjęcie satelitarne nie jest dobrym źródłem danych dla uzyskania

przestrzennej informacji o głębokości zalewu. Zróżnicowanie informacji spektralnej zdjęcia jest zdecydowanie bardziej zależne od typu lub braku roślinności na obszarach podtopionych.

## Literatura

- BYCZKOWSKI A., KICIŃSKI T. 1991: Hydrologia i hydrografia dorzecza Biebrzy. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 372.
- Er Mapper User Guide 1998. Earth Resource Mapping Ltd.
- KOZAK J. 1997: Wprowadzenie do systemów informacji geograficznej – ćwiczenia. Instytut Geografii Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków.
- LILLESAND M.T., KIEFER W.R. 1994: Remote Sensing and Image Interpretation. John Wiley and Sons Inc.
- OKRUSZKO H. 1990: Wetlands of Biebrza Valley. Their value and future management. PAN, Warszawa.
- OKRUSZKO T., WASILEWICZ M., DĘBEK W., RYCHARSKI M., MATUSZKIEWICZ A. 2003: Analiza zmian warunków wodnych, szaty roślinnej i gleb Bagna Ławki w dolinie Biebrzy. *Woda – Środowisko – Obszary Wiejskie* 3, 1(7).
- PROKOP P. 1998: Jakość danych a błąd i niepewność w systemach informacji geograficznej z punktu widzenia badań środowiska przyrodniczego. Systemy Informacji Geograficznej w badaniach środowiska przyrodniczego. Problemy Ekologii Krajobrazu. T. IV. Wydawnictwo DJ, Gdańsk.
- SZPORAK S., CHORMAŃSKI J. 2004: Zastosowanie normalizacji obrazu i transformacji składowych głównych PCA do wyznaczania typu pokrycia terenu na zobrażowaniach satelitarnych Landsat7ETM+ podczas wezbrań w Basenie Dolnym Biebrzy (w przygotowaniu).
- WASILEWSKI M. 2003: Klasyfikacja treści obrazów satelitarnych na przykładzie zalewów wiosennych w Biebrzańskim Parku Narodowym w 2002 roku. Praca magisterska. SGGW, Warszawa.
- WILKIE S.D., FINN T.J. 1996: Remote Sensing Imagery for Natural Resources Monitoring. A guide for first-time users. Columbia University Press, New York.
- Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych 372 „Bagna Biebrzańskie” 1991. PWN, Warszawa.

## Summary

**Possibilities of remote sensing utilization for determining flooded areas in Biebrza River Lower Basin.** Rectified Landsat 7 ETM + image was processed with contrast stretch and given RGB colour composition 453. In advance land cover classes were derived on basis of measurements and additional analyses of topographic and thematic maps. Supervised Classification was run for four scenarios of different class generalization. Results were compared and effectiveness as well as accuracy in deriving flooded areas in naturally flooded river valleys were given. All analyses were carried out in ER Mapper 6.1 and 6.4 remote sensing software. Additional computations were done with MS Excel spreadsheet.

### Authors' address:

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

