

Zastosowanie cyfrowej ortofotomapy do analizy struktury szaty roślinnej na przykładzie rezerwatu przyrody „Trzy Jeziora”

Application of the numeric orthophotomap to plant cover structure analysis the case of the „Three Lakes” Nature Reserve

Szymon Chmielewski ¹, Danuta Urban ²

- 1) Zakład Ekologii Krajobrazu i Ochrony Przyrody
- 2) Instytut Gleboznawstwa i Kształtowania Środowiska
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
ul. Akademicka 13, 20-950, Lublin
e-mail: ar-szymon@wp.pl

Abstract: The aim of this thesis is to investigate the possibility of accurate mapping of plant communities in areas which are difficult to access by men, for example wetlands, on the basis of advanced remote sensing materials. High resolution aerial photographs taken with digital aerial camera in 4 spectral ranges (RGB + NIR) were used to analyse the structure of plant cover. High field resolution of the obtained orthophotomap (0.5 m) and close infrared channel complemented by field GPS measurements, constitute precise, high quality, initial material to investigate the structure of plant cover as well as its changes in time and space.

The investigation was carried out in Sobibór Landscape Park in “Three Lakes” nature reserve. It is the most naturally valuable part of “Sobibór Forests” - Natura 2000 special habitat conservation area. This thesis focuses mainly on the plant cover of two water reservoirs and wetlands located in the reserve: lakes Brudno and Płotycze. Precise spatial ranges of particular plant community classes, with conceivably full projection of their mosaic character and structural diversity, were established by the use of supervised classification method. Thanks to that the image obtained is much more accurate than the ones obtained by traditional field mapping in areas which are difficult to access or dangerous. This material, after transformation to vector form, will augment the base of spatial data about Sobibór Landscape park.

Key words: plant cover structure, supervised classification, digital aerial photographs, nature reserve, Sobibór Landscape Park”

Słowa kluczowe: struktura szaty roślinnej, klasyfikacja nadzorowana, cyfrowe zdjęcia lotnicze, rezerwat przyrody, Sobiborski Park Krajobrazowy

Wprowadzenie

Stawiane przed Polską wymogi skutecznej ochrony różnorodności biologicznej, tworzenia obszarów NATURA 2000, planowania ich ochrony i efektywnego zarządzania ich zasobami, tworzą nowe wyzwania badawcze. Niezbędne staje się między innymi znacznie dokładniejsze poznanie przestrzennego zróżnicowania zbiorowisk roślinnych oraz bieżące ocenianie zachodzących w nich zmian (Chmielewski T. J. red. 2006, 2007). Osiągnięcie tych celów jest możliwe w szczególności dzięki rozwojowi metod i technik teledetekcyjnych.

Narzędzia do obrazowania powierzchni ziemi uzyskują coraz większą rozdzielczość, pozwalają tym samym uzyskać większą liczbę danych o coraz lepszej jakości. Dotyczy to zarówno systemów satelitarnych dających obecnie zobrazowania o terenowej rozdzielczości piksela bliskiej 0,5 m, oraz systemów lotniczych poruszających się na znacznie niższym pułapie i mogącym dostarczyć zobrazowania o terenowej rozdzielczości nawet 0.05 m. Celem niniejszej pracy jest zbadanie możliwości dokładnego skartowania zbiorowisk roślinnych w miejscach trudnodostępnych dla człowieka (terenu odludnione, mokradła, torfowiska) w oparciu o nowoczesne materiały teledetekcyjne

Obszar badań

Jako obszar badań wybrano rezerwat przyrody „Trzy Jeziora” (ryc. 1). Rezerwat ten jest położony w Lasach Sobiborskich, w granicach Sobiborskiego Parku Krajobrazowego, rezerwatu biosfery „Polesie Zachodnie” oraz obszaru Natura 2000 „Lasy Sobiborskie”. Zajmuje powierzchnię 749,75 ha. Zgodnie z podziałem fizyczno-geograficznym znajduje się na Równinie Łęczyńsko-Włodawskiej (Pojezierzu Łęczyńsko-Włodawskim) wchodzącej w skład Polesia Zachodniego. Ochroną objęto tu dwa jeziora Brudno i Plotycze wraz z otaczającymi je torfowiskami, a także rozległe partie lasów. Teren rezerwatu charakteryzuje się bogactwem siedlisk, występują tu także rzadkie i objęte ochroną prawną gatunki roślin (Fijałkowski i in. 1993, Wójciak i in. 2000).

Wysztąpiły się tu między innymi: zbiorowiska torfowisk przejściowych – *Caricetum limosae*, *Rhynchosporietum albae*, *Sphagno-Caricetum rostratae*, *Caricetum lasiocarpae*, torfowisk wysokich – *Sphagnetum magellanicum*, zbiorowiska zaroślowe – *Betulo-Salicetum repentis*, zbiorowiska leśne: *Ribonigri-Alnetum*, *Sphagno squarrosi-Alnetum*, *Betuletum pubescentis*, *Molinio-Pinetum*, zbiorowiska wodne – *Nupharo-Nymphaeetum albae*, oraz zbiorowiska roślin owadożernych – *Scorpidio-Utricularietum minoris*.

Występuje tutaj wiele rzadkich gatunków flory i fauny, w tym m. in. bogata populacja żółwia błotnego.

Rezerwat ten zakwalifikowany został do strefy A (najwyższej ochrony) Rezerwatu Biosfery „Polesie Zachodnie” (Chmielewski T. J. red. 2005)



Ryc. 1. Położenie obszaru badań
Fig. 1. Location of the research area.

Metody

Metoda terenowej analizy zbiorowisk roślinnych

Badania zbiorowisk roślinnych na terenie rezerwatu przyrody „Trzy Jeziora” prowadzono w latach 2007-2008. Klasyfikację fitosocjologiczną i nomenklaturę zbiorowisk roślinnych oparto na pracach Matuszkiewicza (2005) i Fijałkowskiego (1991). Nazwy roślin naczyniowych podano według Mirka i in. (2002).

Metoda fotointerpretacyjnej analizy zbiorowisk roślinnych

Do wyznaczenia zasięgów zbiorowisk roślinnych wykorzystano ortofotomapę wykonaną ze zdjęć lotniczych. Zdjęcia wykonano cyfrową kamerą DMC (*Digital Mapping Camera System*) firmy Intergraph. Dane pozyskane zostały w czterech kanałach spektralnych (RGB + NIR) w dniu 11 lipca 2007. Całość

materiału została wykonana i przetworzona do postaci ortofotomapy przez firmę MggpAero z Tarnowa. Terenowa wielkość piksela zdjęcia lotniczego wynosi 0.46 m; terenowa rozdzielczość wykonanej ortofotomapy wynosi 0,5 m. Na potrzeby prezentowanych badań przygotowano fragment ortofotomapy wycięty zgodnie z przebiegiem granicy Rezerwatu „Trzy Jeziora” odwzorowanym w Planie Ochrony Sobiborskiego Parku krajobrazowego (Chmielewski T. J. red. 2002). Zdjęcie w oryginalnej rozdzielczości zapisano jako nieskompresowane w formacie .ers (*rezerwat_ortofoto.ers*) zachowując 4 kanały spektralne. Tak przygotowany materiał teledetekcyjny w dalszej kolejności poddany został procesowi klasyfikacji nadzorowanej w celu wyróżnienia poszczególnych klas zbiorowisk roślinnych i przetworzenia danych zawartych w obrazie wielospektralnym na użyteczną informację. Proces tematycznej klasyfikacji wykonano w środowisku ER-Mapper 7.1 przyjmując następującą kolejność działań: 1) – przygotowanie ortofotomapy obszaru badań; 2) – wstępna analiza terenu i przygotowanie do pomiarów GPS, określenie liczby klas, 3) – wybór wzorców spektralnych z podziałem na pola treningowe i pola testowe, 4) – testowanie wzorców, 5) – proces właściwej klasyfikacji na podstawie wybranych wcześniej wzorców, 6) – kontrola wyników klasyfikacji, 7) – obraz wyjściowy przedstawiający w postaci graficznej (poszczególnymi barwami) przestrzenny rozkład uzyskanych klas, (Ryc. 2).



Ryc. 2. Przyjęty schemat procesu klasyfikacji (wg. ProGea, 2007, zmienione)

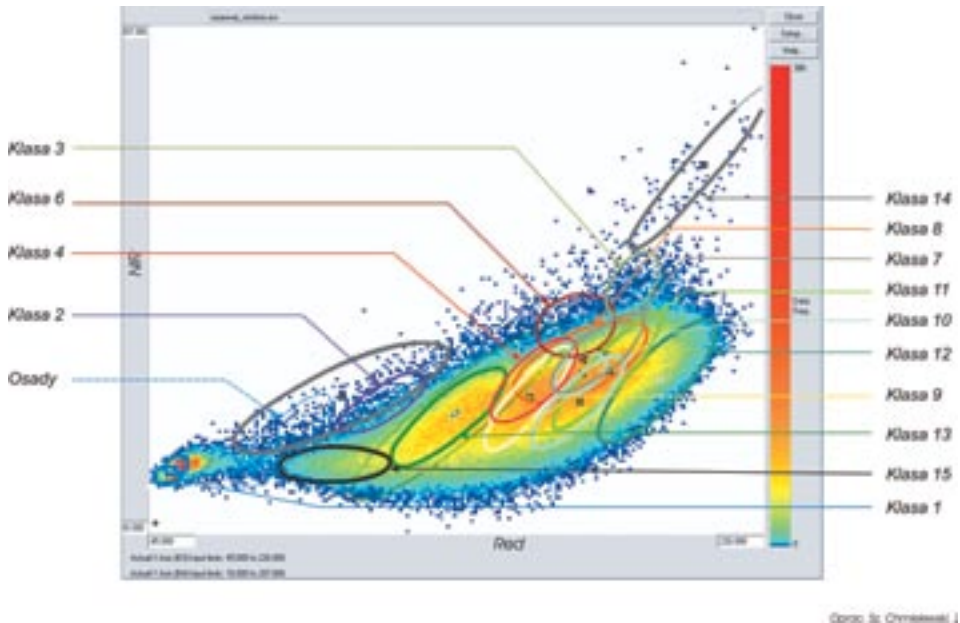
Fig. 2. Accepted classification process scheme (according to ProGea, 2007, changed)

Podstawą procesu klasyfikacji jest zjawisko odbijania przez obiekty terenowe poszczególnych zakresów promieniowania elektromagnetycznego, obiekty takie posiadają różne charakterystyki spektralne, na podstawie tych charakterystyk, piksele grupowane są do określonej klasy. U podstaw wszystkich metod klasyfikacji leży założenie, że obiekty należące do tej samej klasy, mają podobne charakterystyki spektralne, co w interpretacji geometrycznej oznacza, że ich piksele w przestrzeni odpowiedzi

spektralnej tworzą skupienia. (Adamczyk, Będkowski, 2007). Aby poprawnie wykonać klasyfikację należy możliwie precyzyjnie określić zakres odpowiedzi spektralnych dla każdej z wyznaczanych klas, jest to szczególnie trudne w przypadku obiektów podobnie odbijających promieniowanie elektromagnetyczne. Oprogramowanie teledetekcyjne umożliwia kontrolę nad precyzją wyznaczania klas poprzez reprezentację wzorców danej klasy w postaci elips na dwuwymiarowym histogramie (skategramy). Nakładanie się elips poszczególnych klas oznacza że obiekty te w podobny sposób odbijają promieniowanie elektromagnetyczne a więc mogą być z takim samym prawdopodobieństwem przypisane do danej klasy.

W prezenowanych badaniach wzorce spektralne pozyskane zostały głównie na podstawie danych GPS. Pomiaru terenowe zostały zaplanowane w ten sposób że po wizualnej interpretacji ortofotomapy popartej dobrą znajomością terenu badań, wstępnie określono liczbę (14) i rodzaj klas. Wytypowano w ten sposób miejsca, w których należy zebrać wzorce spektralne dla poszczególnych klas. W pracach terenowych wykorzystano odbiornik GPS Trimble GeoXT. Zarejestrowano 35 poligonów przyjętych następnie jako podstawę wyznaczenia wzorców spektralnych. Zarejestrowano również dane punktowe innych charakterystycznych obiektów w terenie wspomagając w ten sposób proces oceny wyników klasyfikacji. Dane pomiarowe GPS skorygowane zostały w procesie postprocessingu z wykorzystaniem systemu ASG_EUPOS (Aktywna Sieć Geodezyjna), stacja referencyjna Włodawa, dzięki czemu uzyskano poziomą dokładność pomiaru poniżej 1 m. Jako dodatkowe źródło informacji do wyznaczania wzorców spektralnych dla zbiorowisk leśnych wykorzystano mapy przeglądowo – gospodarcze Nadleśnictwa Sobibór (styczeń 2007).

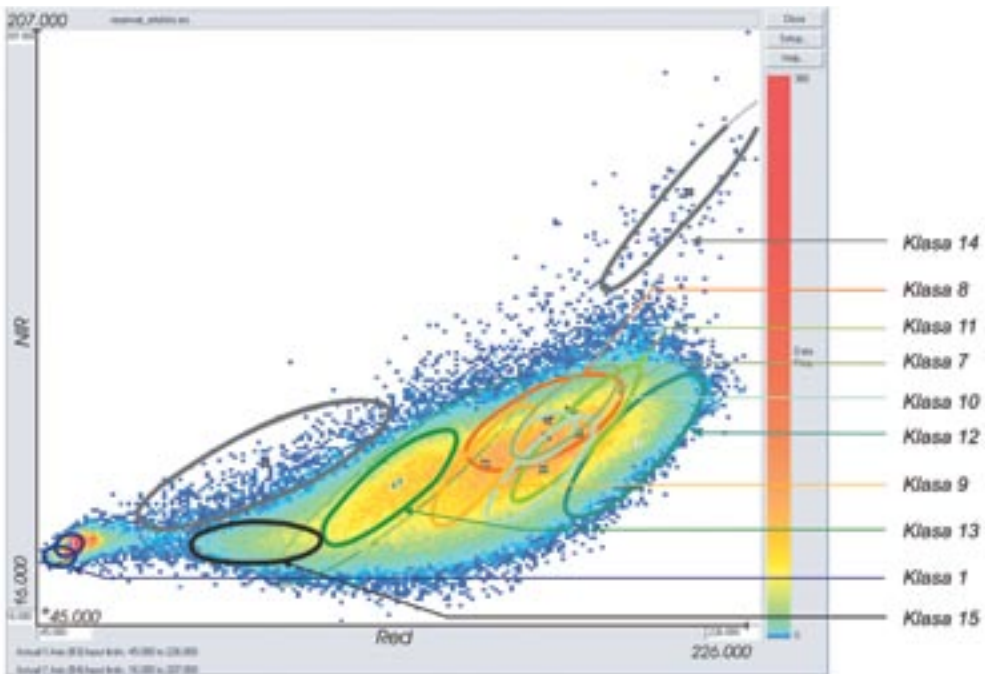
Wprowadzenie dużej liczby klas wzorców spektralnych reprezentujących poszczególne klasy zbiorowisk roślinnych skutkowało, zjawiskiem nakładania się elips skategramów (Ryc. 3).



Ryc. 3. Niekorzystne zjawisko nakładania się elips skategramów dla kilku klas zbiorowisk roślinnych (dla utrzymania czytelności rysunku przedstawiono przybliżone elipsy).

Fig. 3. Detrimental phenomenon of overlapping scattergram ellipses for several classes of plant communities (in order to maintain the clarity of the figure the ellipses are approximate)

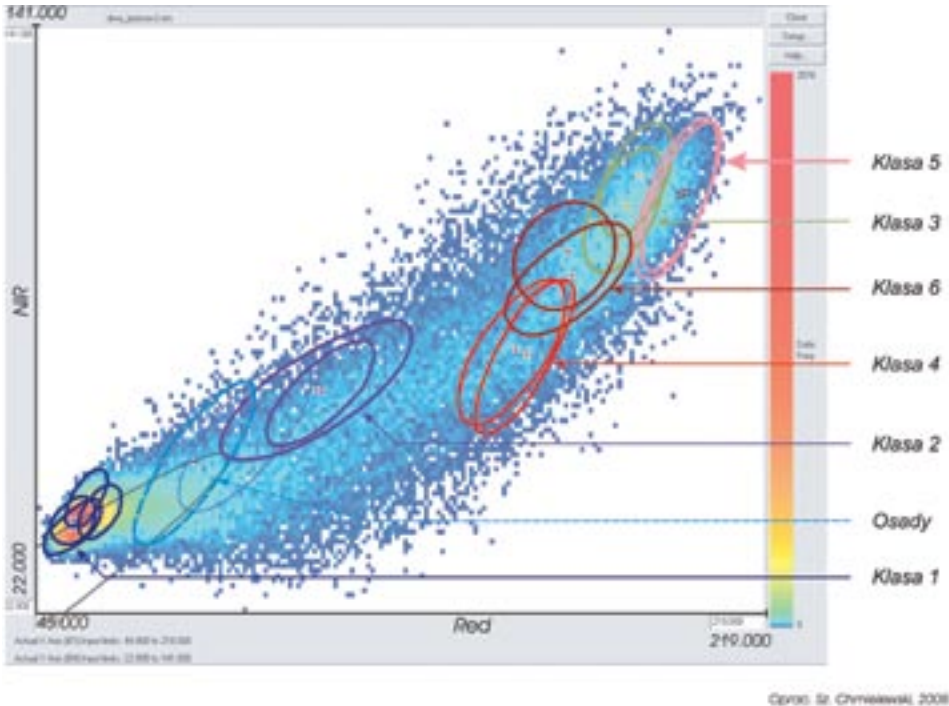
Najbardziej problematyczne okazało się wyróżnienie odpowiedzi spektralnej zbiorowisk klasy 4 od klasy 9 oraz klasy 8 i klasy 10. Klasyfikacja przeprowadzona z wzorcami 14 klas, pomimo prób zmiany prawdopodobieństwa wystąpienia poszczególnych klas, powodowała błędne przypisanie niektórych pikseli. Zdecydowano się więc na wydzielenie z całości ortofotomapy obszarów jezior i przylegającej do nich roślinności wodnej i zapisanie ich jako oddzielny (drugi) zbiór rastrowy (*jeziora.ers*). Ostatecznie przeprowadzono dwa procesy klasyfikacji nadzorowanej: pierwszy na ortofotomapie rezerwatu „Trzy Jeziora” (*rezerwat_ortofoto.ers*) gdzie wyznaczono 9 klas roślinności, ich skategramy ilustruje rysunek 4, oraz drugi proces klasyfikacji wykonany tylko dla obszaru występowania zbiorowisk wodnych (*jeziora.ers*) (5 klas), skategramy tych wzorców pokazano na rysunku 5.



Oprac. S. Chmielewski, 2008

Ryc. 4. Skategramy wzorców spektralnych dla 9 klas zbiorowisk szaty roślinnej wykorzystanych w pierwszym procesie klasyfikacji (*obraz rezerwat_ortofoto.ers*).

Fig. 4. Scattergrams of spectral patterns for 9 classes of plant cover communities used in the first classification process (*image rezerwat_ortofoto.ers*).



Rys. 5. Skategramy wzorców spektralnych dla klas zbiorowisk roślinności wodnej wykorzystanych w drugim procesie klasyfikacji (obraz jeziora.ers).

Fig. 5. Scattergrams of spectral patterns for classes of water plant communities used in the second classification process.

Klasyfikację nadzorowaną dla obu obrazów rastrowych przeprowadzono wg metody największego prawdopodobieństwa (*maximum likelihood enhanced*) w module *Classification ER-Mapper* stosując równe miary prawdopodobieństwa wystąpienia dla każdej z klas oraz filtr sąsiedztwa o rozmiarze 5x5 pikseli. Metoda największego prawdopodobieństwa polega na porównaniu wartości funkcji prawdopodobieństwa które, obliczane jest jako iloraz liczebności pikseli w każdym stopniu jasności i sumy liczby pikseli należących do danej klasy wzorcowej. Piksel obrazu rastrowego jest zaliczany do tej klasy w której wartość funkcji prawdopodobieństwa jest największa (Adamczyk Będkowski, 2007).

Obraz obu klasyfikacji zapisano w formacie .bmp a następnie wyniki klasyfikacji całej ortofotomapy rezerwatu „Trzy Jeziora” (*rezerwat_ortofoto.ers*) uzupełniono wynikami drugiej klasyfikacji przeprowadzonej pod kątem wyodrębnienia klas zbiorowisk roślinności wodnej. Uzyskano w ten sposób, jednolity obraz występowania 12 klas roślinności w rezerwacie (pozostałe wyznaczone klasy to: cień, woda oraz prześwity) (ryc. 6). Całość oprcowania wykonana została w układzie PUWG 1992.

Obrazy teledetekcyjne zapisane w 4 kanałach spektralnych których zakres promieniowania elektromagnetycznego mieści się w zakresie promieniowania widzialnego oraz bliskiej podczerwieni (od 400 – 1000 nm) pozwalają wygenerować między innymi tzw. wskaźnik wegetacyjny roślinności NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Jest on obliczany na podstawie wzoru: $NDVI = (NIR-RED) / (NIR+RED)$ i obrazuje ilości zielonej biomasy (Ryc. 7.).

Wyniki

Z przeprowadzonych badań wynika, że teren rezerwatu przyrody „Trzy Jeziora” charakteryzuje się dużym zróżnicowaniem zbiorowisk roślinnych. Stwierdzono tu występowanie 49 zespołów i 6 zbiorowisk roślinnych z klas *Lemnetea*, *Potametea*, *Utricularietea intermedio-minoris*, *Phragmitetea*, *Scheuchzerio-Caricetea fuscae*, *Oxycocco-Sphagnetetea*, *Alnetea glutinosae* i *Vaccinio-Piceetea* (tab. 1).

Zbiorowiska roślinności wodnej z klas *Lemnetea* i *Potametea* występują w jeziorach Płotycze i Brudno, a także w rowach i kanałach. Na uwagę zasługują, zajmujące dużą powierzchnię w zachodniej części jeziora Brudno, asocjacje *Nupharo-Nymphaetum albae* oraz *Hydrocharitetum morsus-ranae* (z dominującą *Stratiotes aloides*).

Do rzadko obserwowanych na terenie rezerwatu należy zbiorowisko *Scorpidio-Utricularietum minoris* z panującymi pływaczami *Utricularia minor* i *Utricularia intermedia* zajmujące małe powierzchnie w dolinkach torfowiska mszysto-turzycowego leżącego na północ od jeziora Brudno.

Szuwary właściwe ze związku *Phragmition* wykształciły się w brzeźnych partiach jezior Brudno i Płotycze, a do najczęściej notowanych należały asocjacje: *Phragmitetum australis*, *Typhetum latifoliae* i *Typhetum angustifoliae*. Pozostałe zespoły (*Scirpetum lacustris*, *Sparganietum erecti*, *Eleocharitetum palustris*, *Equisetum fluviatile*) zajmowały znacznie mniejszą powierzchnię i występowały w postaci niewielkich płatów.

Związek *Magnocaricion* reprezentowało 10 zespołów. W strefie przybrzeżnej jeziora Brudno (rzadziej przy jeziorze Płotycze) dość często występowały fitocenozy *Cicuto-Caricetum pseudocyperi*, *Caricetum rostratae*, *Caricetum elatae*. Turzycowiska *Caricetum acutiformis*, *Caricetum paniculatae*, *Caricetum appropinquatae* i *Caricetum gracilis* wykształciły się w głównie w części południowej rezerwatu oraz na obrzeżach torfowiska przejściowego leżącego na północ od jeziora Brudno.

Niewielką powierzchnię, głównie w południowej części rezerwatu, zajmują zbiorowiska łąkowe z klasy *Molinio-Arrhenatheretea*. Są to niewielkie powierzchniowo płaty ziołorośli (*Filipendulo-Geraniumetum* i *Lysimachio-Filipenduletum ulmariae*) oraz innych mocno zubożonych zbiorowisk łąk wilgotnych i świeżych (*Molinietum caeruleae*, zbiorowiska *Deschampsia caespitosa* i *Poa pratensis-Festuca rubra*) występujące w mozaice ze zbiorowiskami szuwarowymi z klasy *Phragmitetea* i zaroślowymi z klasy *Alnetea glutinosae*.

Największe kompleksy torfowisk wysokich i przejściowych na terenie rezerwatu występują w otoczeniu jeziora Płotycze, w sąsiedztwie jeziora Brudno oraz w jego części północnej (torfowiska śródleśne). Stosunkowo dużą powierzchnię zajmują zbiorowiska torfowisk wysokich z klasy *Oxycocco-Sphagnetetea*, wśród których przeważa zbiorowisko *Eriophorum vaginatum-Sphagnum fallax*. W wielu płatach tego zbiorowiska widoczny jest duży udział brzozy *Betula pubescens*. Znacznie rzadziej występują inne zespoły torfowisk wysokich jak: *Sphagnetum magellanicum* i *Ledo-Sphagnetum magellanicum*.

Na siedliskach stale mokrych (otoczenie jeziora Płotycze, torfowisko w sąsiedztwie jeziora Brudno) wykształciły się zbiorowiska torfowisk przejściowych. Jest to mozaika płatów fitocenozy: *Sphagno-Caricetum rostratae*, *Caricetum limosae*, *Rhynchosporietum albae* i *Caricetum lasiocarpae*. W miejscach silniej podtopionych odnotowano zbiorowiska: *Sphagnum recurvum-Eriophorum angustifolium*, *Comarum palustre* oraz *Menyanthes trifoliata*.

Dominującym elementem w krajobrazie rezerwatu są zbiorowiska leśne z klas *Vaccinio uliginosi-Pinetum* *Alnetea glutinosae*. Wykazują duże zróżnicowanie zarówno pod względem składu gatunkowego warstwy drzew, krzewów oraz runa jak i warunków siedliskowych (glebowych i wilgotnościowych). Na siedliskach najsuchszych i najuboższych występują małe płaty borów chrobotkowych *Cladonio-Pinetum*. Siedliska suche zajmują zespoły *Peucedano-Pinetum* i *Festuco ovinae-Pinetum*. Z siedliskami żyźniejszymi

i wilgotniejszymi związana jest asocjacja *Leucobryo-Pinetum*, zaś na siedliskach mokrych występują *Molinio (caeruleae)-Pinetum* i *Vaccinio uliginosi-Pinetum*.

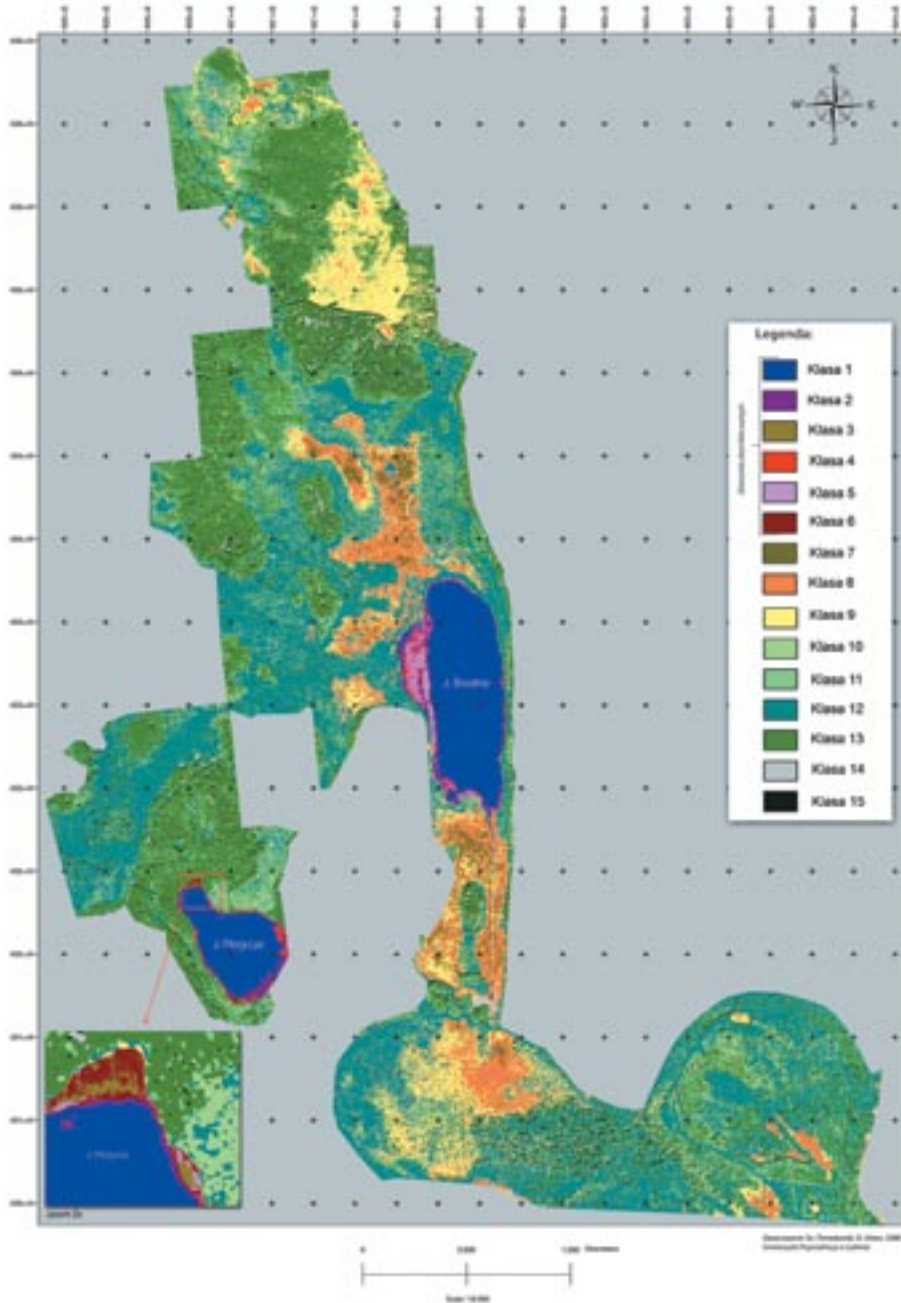
Miejsa stale podtopione zajmują olsy i związane z nimi zarośla wierzbowe (*klasa Alnetea glutinosae*). Na terenie rezerwatu stwierdzono występowanie następujących zespołów leśnych *Sphagno squarrosi-Alnetum* oraz *Ribeso nigri-Alnetum*. Drzewostan w obu zespołach tworzy *Alnus glutinosa* z domieszką (niekiedy dość dużą) *Betula pubescens* i *B. pendula*. Zespół *Salicetum pentandro-cinereae* budują wierzby *Salix cinerea*, *S. pentandra* i rzadziej *S. rosmarinifolia*.

Tab. 1. Wykaz zespołów i zbiorowisk roślinnych występujących w rezerwacie „Trzy Jeziora”

Tab. 1. The list of plant associations and communities occurring in “Three Lakes” reserve.

Lp.	ZESPÓŁ/ZBIOROWISKO
1	Lemnetea minoris R.Tx. 1955, <i>Lemnetalia minoris</i> R.Tx. 1955
2	<i>Lemnetum minoris</i> (Oberd.1957) Müller et Görs 1960
3	<i>Spirodeletum polyrhizae</i> (Kelhofer 1915) W.Koch 1954 em. R.Tx. et A.Schwabe 1974 in R.Tx. 1974
4	<i>Potametea</i> R.Tx. et Prsg, <i>Potametatalia</i> Koch 1926,
5	<i>Potamnion</i> Koch 1926 em. Oberd. 1957
6	<i>Potametum pectinati</i> Carstensen 1955
7	<i>Elodeetum canadensis</i> (Pign. 1953) Pass. 1964
8	<i>Ceratophylletum demersi</i> Hild. 1956
9	<i>Potametum lucenstis</i> Hueck 1931
10	<i>Potametum crispi</i> Fujalk. 1991
11	<i>Potametea</i> R.Tx. et Prsg, <i>Potametatalia</i> Koch 1926, <i>Nymphaeion</i> Oberd. 1953
12	<i>Hydrocharitetum morsus-ranae</i> Langendonck 1935
13	<i>Potametum natantis</i> Soó 1923
14	<i>Nupharo-Nymphaeetum albae</i> Tomasz. 1977
15	<i>Potametea</i> R.Tx. et Prsg, <i>Potametatalia</i> Koch 1926, <i>Hottonion</i> Segal 1964
16	<i>Hottonietum palustris</i> R.Tx. 1937
17	<i>Utricularietea intermedio-minoris</i> Den Hartog et Segal. 1964 em. Pietsch 1965
18	<i>Scorpidio-Utricularietum minoris</i> Müll et Görs 1960
19	<i>Phragmitetea</i> R.Tx. et Prsg 1942, <i>Phragmition</i> Koch 1926
20	<i>Scirpetum lacustris</i> (Allorge 1922) Chouard 1924
21	<i>Typhetum angustifoliae</i> (Allorge 1922) Soó 1927
22	<i>Sparganietum erecti</i> Roll. 1938
23	<i>Eleocharitetum palustris</i> Sennikov 1919
24	<i>Equisetetum fluviatilis</i> Steffen 1931
25	<i>Phragmitetum australis</i> (Gams 1927) Schmale 1939
26	<i>Typhetum latifoliae</i> Soó 1927
27	<i>Phragmitetea</i> R.Tx. et Prsg 1942, <i>Magnocaricion</i> Koch 1926
28	<i>Thelypteridi-Phragmitetum</i> Kuiper 1957
29	<i>Cicuto-Caricetum pseudocyperi</i> Boer et Siss. in Boer 1942
30	<i>Iridetum pseudacori</i> Egler 1933 (n.n.)
31	<i>Caricetum acutiformis</i> Sauer 1937
32	<i>Caricetum paniculatae</i> Wangerin 1916
33	<i>Caricetum rostratae</i> Rübél 1912
34	<i>Caricetum elatae</i> Koch 1926
35	<i>Caricetum appropinquatae</i> (Koch 1926) Soó 1938
36	<i>Caricetum gracilis</i> (Graebn. et Hueck 1931) R.Tx. 1937
37	<i>Phalaridetum arundinaceae</i> (Koch 1926 n.n.) Libb. 1931

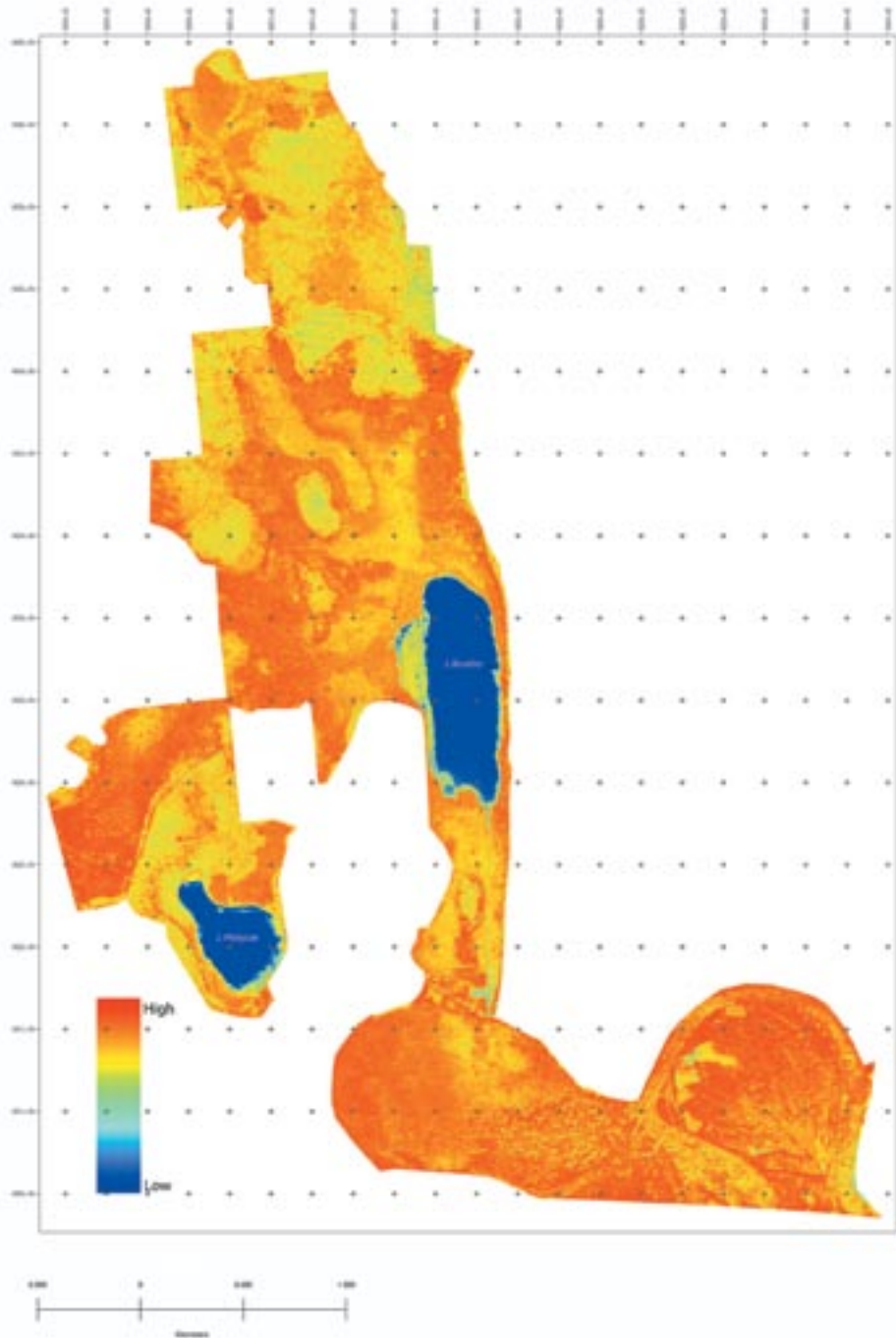
30	<i>Molinio-Arrhenatheretea</i> R.Tx. 1937, <i>Molinietalia caeruleae</i> W.Koch 1926, <i>Filipendulion ulmariae</i> W.Koch 1926
31	<i>Filipendulo-Geranietum</i> W. Koch 1926 <i>Lysimachio-Filipenduletum ulmariae</i> Hadč et all. 1997
32	<i>Molinio-Arrhenatheretea</i> R.Tx. 1937, <i>Molinietalia caeruleae</i> W.Koch 1926, <i>Molinion caeruleae</i> W.Koch 1926
33	<i>Molinietum caeruleae</i> W.Koch 1926 Zbiorowisko <i>Deschampsia caespitosa</i>
34	<i>Molinio-Arrhenatheretea</i> R.Tx. 1937, <i>Arrhenatheretalia</i> Pawl. 1928 Zbiorowisko <i>Poa pratensis-Festuca rubra</i> Fijalk. 1962
35	<i>Scheuchzerio-Caricetea nigrae</i> (Nordh. 1937) R. Tx. 1937, <i>Scheuchzerietalia palustris</i> Nordh. 1937, <i>Rhynchosporion albae</i> Koch 1926
36	<i>Caricetum limosae</i> Br.-Bl. 1921 <i>Rhynchosporium albae</i> Koch 1926
37	<i>Scheuchzerio-Caricetea nigrae</i> (Nordh. 1937) R. Tx. 1937, <i>Scheuchzerietalia palustris</i> Nordh. 1937, <i>Caricion lasiocarpae</i> Vanden Bergh. ap. Lebrun et all. 1949
38	<i>Caricetum lasiocarpae</i> Koch 1926 <i>Caricetum diandrae</i> Jon. 1932 em. Oberd. 1957
39	Zbiorowisko <i>Sphagnum recurvum-Eriophorum angustifolium</i> Jasn. 1968 pro ass.
40	<i>Sphagno-Caricetum rostratae</i> (Steffen 1931) Sm. 1947
41	Zbiorowisko <i>Comarum palustre</i>
42	Zbiorowisko <i>Menyanthes trifoliata</i>
43	<i>Scheuchzerio-Caricetea nigrae</i> (Nordh. 1937) R. Tx. 1937, <i>Scheuchzerietalia palustris</i> Nordh. 1937, <i>Caricion nigrae</i> Koch 1926 em. Klika 1934 <i>Carici canescentis-Agrostietum caninae</i> R.Tx. 1937
44	<i>Oxycocco-Sphagnetea</i> Br.-Bl. et R.Tx. 1943, <i>Sphagnetalia magellanici</i> (Pawl. 1928) Moore (1964)1968, <i>Sphagnion magellanici</i> Kästner et Flössner 1933 em. Dierss. 1975
45	<i>Sphagnetum magellanici</i> (Malc. 1929) Kästner et Flössner 1933
46	Zbiorowisko <i>Eriophorum vaginatum-Sphagnum fallax</i> Hueck 1928 <i>Ledo-Sphagnetum magellanici</i> Sukopp 1959 em. Neuhäusl. 1969
47	<i>Alnetea glutinosae</i> Br.-Bl. et R.Tx. 1943, <i>Alnetea glutinosae</i> R.Tx. 1937, <i>Alnion glutinosae</i> (Malc. 1929) Meijer Drees 1936
48	<i>Salicetum pentandro-cinereae</i> (Almq. 1929) Pass. 1961
49	<i>Sphagno-squarrosi-Alnetum</i> Sol.-Góm. (175) 1987 <i>Ribeso nigri-Alnetum</i> Sol.-Góm. (1975)1987
50	<i>Vaccinio-Piceetea</i> Br.-Bl. 1939, <i>Cladonio-Vaccinietalia</i> Kiell.-Lund 1967, <i>Dicranio-Pinion</i> Libb. 1933 <i>Cladonio-Pinetum</i> Juraszek 1927
51	<i>Peucedano-Pinetum</i> W. Mat. (1962) 1973
52	<i>Festuco ovinae-Pinetum</i>
53	<i>Leucobryo-Pinetum</i> W. Mat. (1962) 1973
54	<i>Molinio (caeruleae)-Pinetum</i> W.Mat. et J.Mat. 1973 <i>Vaccinio-Piceetea</i> Br.-Bl. 1939, <i>Piceo-Vaccinienion uliginosi</i> Seibert in Oberd. (ed.) 1992
55	<i>Vaccinio uliginosi-Pinetum</i> Kleist 1929



Ryc. 6. Klasyfikacja cyfrowej ortofotomapy przeprowadzona pod kątem struktury szaty roślinnej rezerwatu „Trzy Jeziora” w Sobiborskim Parku Krajobrazowym.

Szczegółowy opis wskazanych klas zawarty został w tekście (Tab.2.)

Fig 6. The classification of the digital orthophotomap focusing on the plant cover structure of “Three Lakes” reserve in Sobibór Landscape Park.



Ryc. 7. Wskaźnik wegetacyjny roślinności (NDVI) dla rezerwatu „Trzy Jeziora” w Sobiborskim Parku Krajobrazowym.

Fig. 7. Plant vegetation index (NDVI) for “Three Lakes” reserve in Sobibór Landscape Park.

Przeprowadzone procesy klasyfikacji cyfrowej ortofotomapy pozwoliły uzyskać barwny obraz modelujący przestrzenne rozmieszczenie 12 klas zbiorowisk roślinnych na trudnodostępnych terenach podmokłych Sobiborskiego Parku Krajobrazowego (Ryc. 6). Na podstawie weryfikacji terenowej z użyciem odbiornika GPS, za poprawnie zidentyfikowane uznano następujące klasy (Tab. 2):

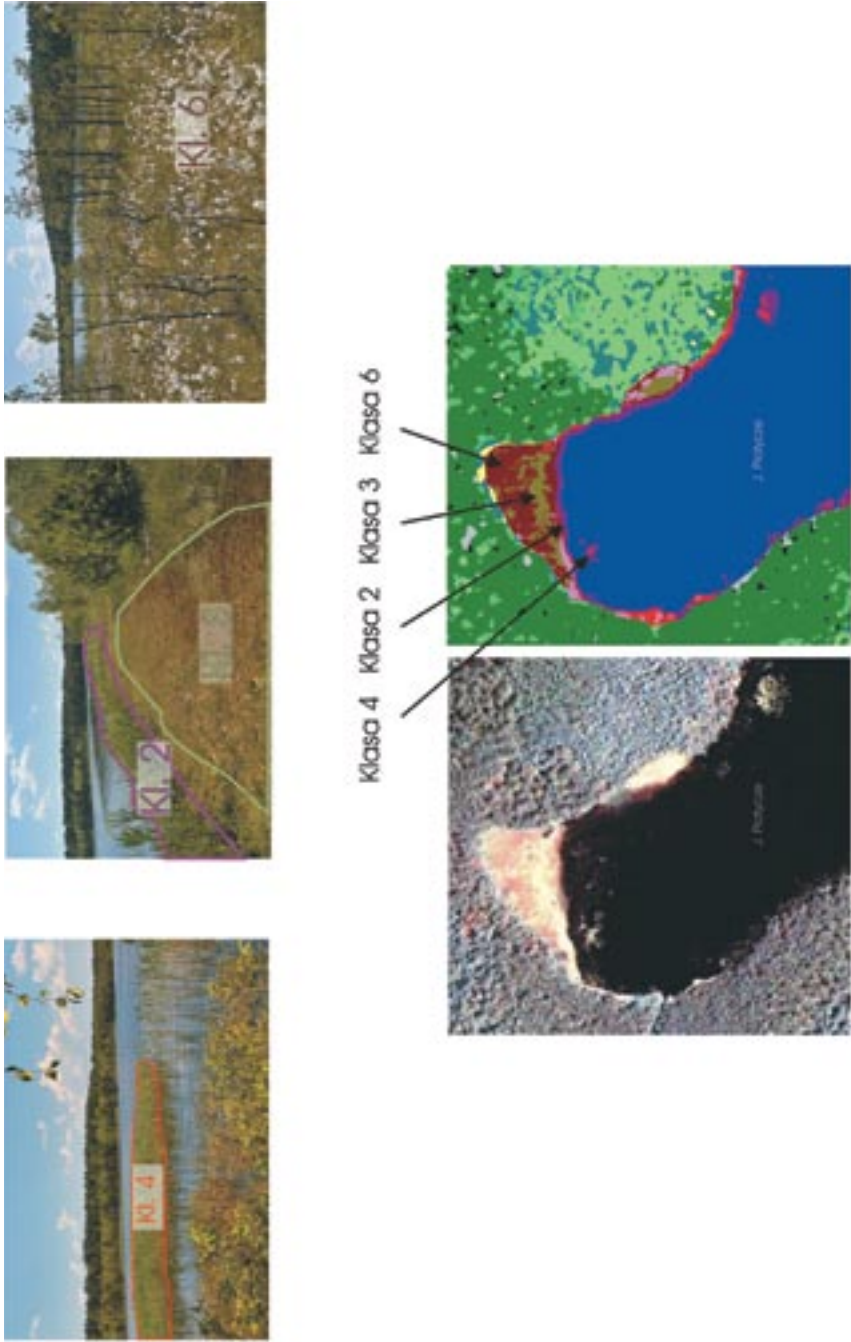
Tab. 2. Wykaz klas uzyskanych w wyniku tematycznej klasyfikacji ortofotomapy.

Tab. 2. The list of classes obtained as a result of thematic classification of the orthophotomap.

Numer klasy	Zespół/ zbiorowisko roślinne/ typ pokrycia
Klasa 1	Otwarte lustro wody
Klasa 2	Zbiorowiska z klasy <i>Phragmitetea</i> ze związków <i>Phragmition</i> i <i>Magnocaricion</i>
Klasa 3	Zbiorowiska torfowisk przejściowych z klasy <i>Scheucherio-Caricetea fuscae</i> (zbiorowisko <i>Sphagnum recurvum-Eriophorum angustifolium</i> , <i>Sphagno-Caricetum rostratae</i> , zbiorowiska <i>Comarum palustre</i> , <i>Menyanthes trifoliata</i>)
Klasa 4	Zespół <i>Phragmitetum australis</i>
Klasa 5	Zbiorowiska z klasy <i>Potametea</i> (<i>Hydrocharitetum morsus-ranae</i> , <i>Potametum natantis</i> , <i>Nupharo-Nymphaetum albae</i>)
Klasa 6	Zbiorowiska torfowisk przejściowych z klasy <i>Scheucherio-Caricetea fuscae</i> (zbiorowisko <i>Sphagnum recurvum-Eriophorum angustifolium</i>)
Klasa 7	Zbiorowisk torfowisk przejściowych z klasy <i>Scheuchzerio-Caricetea fuscae</i> (<i>Caricetum limosae</i> , <i>Rhynchosporietum albae</i> , zbiorowiska <i>Comarum palustre</i> i <i>Menyanthes trifoliata</i>)
Klasa 8	Mozaika zbiorowisk torfowisk przejściowych z klasy <i>Scheuchzerio-Caricetea fuscae</i> (<i>Caricetum limosae</i> , <i>Rhynchosporietum albae</i> , <i>Caricetum lasiocarpae</i> , <i>Sphagno-Caricetum rostratae</i> , zbiorowiska <i>Comarum palustre</i> i <i>Menyanthes trifoliata</i> , <i>Carici canescentis-Agrostietum caninae</i>) i szuwarowych z klasy <i>Phragmitetea</i> (<i>Equisetum fluviatilis</i> , <i>Caricetum rostratae</i> , <i>Caricetum paniculatae</i>) i łąkowych z klasy <i>Molinio-Arrhenatheretea</i>
Klasa 9	Zbiorowiska z klasy <i>Oxycocco-Sphagnetea</i> (<i>Sphagnetum magellanici</i> , Zbiorowisko <i>Eriophorum vaginatum-Sphagnum fallax</i> , <i>Ledo-Sphagnetum magellanici</i>)
Klasa 10	Zbiorowiska zaroślowe z klasy <i>Alnetea glutinosae</i> (<i>Salicetum pentandro-cinereae</i>)
Klasa 11	W zbiorowiskach leśnych z klas <i>Alnetea glutinosae</i> i <i>Vaccinio-Piceetea</i>
Klasa 12	Zbiorowiska leśne z klasy <i>Alnetea glutinosae</i> (<i>Sphagno-squarrosi-Alnetum</i> , <i>Ribeso nigri-Alnetum</i>)
Klasa 13	Zbiorowiska leśne z klasy <i>Vaccinio-Piceetea</i> (<i>Cladonio-Pinetum</i> , <i>Peucedano-Pinetum</i> , <i>Festuco ovinae-Pinetum</i> , <i>Leucobryo-Pinetum</i> , <i>Molinio (caeruleae)-Pinetum</i> , <i>Vaccinio uliginosi-Pinetum</i>)
Klasa 14	Odkryta gleba, małe płyty muraw napiskowych z dużym udziałem porostów naziemnych („prześwity”)
Klasa 15	cień

Wizualna analiza obrazów klasyfikacji, oraz porównanie ich z danymi terenowymi, pozwalają stwierdzić, że uzyskane wyniki cechują się wysoką wiarygodnością odwzorowania przestrzennego rozmieszczenia zarówno w przypadku zbiorowisk leśnych jak i obszarów występowania roślinności wodnej. Na rysunku 8 przedstawiono terenową identyfikację wyznaczonych w procesie klasyfikacji klas zbiorowisk roślinności wodnej.

Wykonana tematyczna klasyfikacja pozwoliła poprawnie zidentyfikować zbiorowiska roślinne, które w terenie zajmują małe powierzchnie. Za minimalną powierzchnię kartowania przyjęto rozciągający się wzdłuż jeziora Płoczyce pas mozaiki zbiorowisk roślinnych, którego szerokość miejscami nie przekracza 2 m (Ryc. 8, kl. 2). Poprawnie wyznaczone zostały zasięgi wszystkich przyjętych klas zbiorowisk roślinności wodnej (Ryc. 8). Równie dobrze wyznaczone zostały zasięgi zbiorowisk leśnych, co potwierdza porównanie wyników klasyfikacji z mapą przeglądową – gospodarczą Nadleśnictwa Sobibór (2007).



Źródło: Sł. Chmielewski, D. Urban, 2008

Ryc. 8. Terenowa indetyfikacja zbiorowisk roślinnych uzyskanych w wyniku procesu klasyfikacji nadzorowanej
Fig 8. Territorial identification of plant communities obtained as a result of supervised classification process.

Stwierdzono niestety bardzo duże podobieństwo odpowiedzi spektralnej zbiorowisk klasy 4 oraz klasy 6 do zbiorowisk klasy 9 oraz klasy 8. Utrudnia to poprawne sklasyfikowanie grup pikseli odpowiadających tym zbiorowiskom na jednym obrazie rastrowym. Możliwość poprawnego klasyfikowania tych zbiorowisk będzie przedmiotem dalszych badań autorów.

Pewne wątpliwości wzbudza klasa 8 oraz klasa 7. Na skategramach (Rys. 4.) elipsy tych dwóch klas silnie na siebie nachodzą, przy czym klasa 7 praktycznie całkowicie zawiera się w klasie 8. Należało by więc przyjąć, że kolor pomarańczowy odpowiadający klasie 8 to obszar występowania tych dwóch klas (klasy 7 i 8), a dokładne wyznaczenie zasięgu zbiorowisk klasy 7 może odbyć się poprzez terenowe kartowanie GPS.

Wnioski

Zastosowanie cyfrowej ortofotomapy o wysokiej rozdzielczości terenowej piksela (0.5 m) stanowi bardzo dobry materiał źródłowy do analizy przestrzennego zróżnicowania szaty roślinnej zbiorowisk wodnych i torfowiskowych. Proces klasyfikacji nadzorowanej takich obrazów, oparty o wzorce spektralne pozyskane w oparciu o dane z terenowych pomiarów GPS, pozwolił poprawnie zidentyfikować zbiorowiska roślinne, nawet te zajmujące małe powierzchnie. Niektóre typy zbiorowisk (głównie zbiorowiska torfowisk przejściowych), ze względu na duże podobieństwo odpowiedzi spektralnej, wymagają zebrania wiekszej ilości danych terenowych wspomagających proces wyznaczania wzorców ich spektralnych.

Literatura

- Adamczyk J., Będkowski K., 2007. Metody cyfrowe w teledetekcji, SGGW, Warszawa,
- A. Ciolkosz, J. Miszalski, J. Olędzki, 1999. Interpretacja zdjęć lotniczych, PWN, Warszawa
- Chmielewski T. J. red. 2002. Plan Ochrony Sobiborskiego Parku krajobrazowego. Zarząd Zespołu Chełmskich Parków Krajobrazowych; NAVIP Lublin, Lublin, mat. niepubl.
- Chmielewski T. J. red. 2006. Zarządzanie zasobami przyrody w obszarach NATURA 2000 w Polsce. Wydawnictwo Akademii Rolniczej w Lublinie, Lublin.
- Chmielewski T. J. red. 2008. Nature Conservation Management: from idea to practical results. European Commission 6-th Framework Programme, ALTER-NET Project. Printing by PWN Print6; Lublin, Łódź, Helsinki, Aarhus, 2008.
- Fijałkowski D., 1991. Zespoły roślinne lubelszczyzny. Wyd. UMCS, Lublin, 1-303.
- Fijałkowski D., Wawer M., Pietras T., 1993. Roślinność projektowanego rezerwatu Brudno na Pojezierzu Łęczyńsko-Włodawskim. Annales Univ. Mariae Curie-Skłodowska. Lublin, s. C, 48; 93-103.
- Z. Kurczyński 2006. Lotnicze i satelitarne obrazowanie Ziemi. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej; Warszawa
- Matuszkiewicz W., 2001. Przewodnik do oznaczania zbiorowisk roślinnych Polski. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa, 1-536.
- Mirek Z., Piękoś-Mirkowa H., Zając A., Zając M., 2002. Flowering plants and pteridophytes of Poland a checklist. W. Szafer Inst. Of Botany, Polish Academy of Sciences, Kraków, 1-442.
- K. Osińska – Skotak, A. Fijałkowska, Z. Chudzyńska, 2004. Wpływ korekcji geometrycznej na wynik klasyfikacji zdjęć wielospektralnych, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji Vol. 14., Warszawa,
- ProGea Consulting, 2007. Kurs obsługi oprogramowania ER-Mapper Professional v7.1, ProGea, Kraków,

Wójciak J., Urban D., Wójciak H. 2000, Walory przyrodnicze i problemy ochrony małych śródleśnych bagien Nadleśnictwa Sobibór (Pojezierze Łęczyńsko-Włodawskie). W: Renaturyzacja obiektów przyrodniczych - aspekty ekologiczne i gospodarcze (red. Michalczyk Z. Wyd. UMCS, Lublin; 89-97..