

**WYDZIELANIE KOMPLEKSÓW KRAJOBRAZOWO-ROŚLINNYCH
NA ZDJĘCIACH LANDSAT ETM+
Z ZASTOSOWANIEM PROCEDURY REGION GROWING**

**DISTINGUISHING LANDSCAPE-VEGETATION COMPLEXES
ON LANDSAT ETM+ IMAGES USING A REGION GROWING
PROCEDURE**

Krzysztof Kosiński¹, Anna Hoffmann-Niedek¹, Agnieszka Zawila²

¹Instytut Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach

²Centrum Edukacji Kadr w Warszawie

SŁOWA KLUCZOWE: kompleksy roślinne, segmentacja obrazu, Region Growing, ETM+

STRESZCZENIE: Celem pracy jest delimitacja kompleksów krajobrazowo-roślinnych na wieloczasowych zdjęciach Landsat ETM+. Kompleks krajobrazowo-roślinny to niewielka jednostka geobotaniczna nawiązująca do nanochory w hierarchicznym systemie jednostek fizycznogeograficznych. Kompleksy wydziela się jako względnie jednorodne segmenty obrazu z zastosowaniem procedury *Region Growing*. Analizowany jest dobór opcji procedury i granicznej odległości euklidesowej (SED). Zalecana jest opcja aktualizacji średniej. Nie stwierdzono możliwości ustalenia konkretnej wartości SED dla poszczególnych typów kompleksów. Stąd konieczność ręcznego doboru SED dla każdego z segmentów.

1. WSTĘP

Celem pracy jest dostarczenie metody kartowania kompleksów krajobrazowo-roślinnych na zdjęciach Landsat ETM+. Kompleks krajobrazowo-roślinny, to przestrzennie wyodrębniony, względnie jednorodny strukturalnie, powtarzalny układ funkcjonalnie powiązanych facji, czyli jednorodnych fragmentów terenu (Matuszkiewicz, 1990, 1992; Richling, Solon, 2002). Tak zdefiniowany kompleks należy wiązać z pojęciem uroczyska (Czarnecki, 1972; Kondracki, 1976; Richling, 1979, 1993; Kot, 2000), i nanochory (Haase, 1989; Syrbe, 1996), jednak jako jednostka geobotaniczna wydzielany jest w znacznej mierze według kryteriów roślinnych. Spośród różnych sposobów ujęcia kompleksów roślinnych (Szwabe, 1989) jednostka ta wyróżnia się równorzędnym traktowaniem mozaiki komponentów roślinnych (fitocenoz), powierzchni pozbawionych pokrywy roślinnej (wyrębisk, terenów zdegradowanych, zbiorników wodnych) oraz obiektów infrastruktury technicznej (budynków, dróg, nasypów, rowów, grobli). Tak określony kompleks krajobrazowo-roślinny (Matuszkiewicz, 1990, 1992; Richling, Solon, 2002) wydaje się jednostką dogodną do analizy obszarów o zróżnicowanym przestrzennie poziomie antropopresji.

Kompleksy krajobrazowo-roślinne mogą być interpretowane wizualnie na kompozycji diachronicznych danych panchromatycznych jako względnie jednorodne segmenty obrazu. Na obszarach dominacji użytków zielonych wizualną segmentację obrazu można naśladować, grupując piksele zgodnie z procedurą *Region Growing* (Kosiński, 2005). Wydzielone tą metodą kompleksy dają się klasyfikować z wyróżnieniem 9 jednostek typologicznych:

1. Wód.
2. Terenów zabudowanych i ruderalnych.
3. Lasów szpilkowych.
4. Lasów liściastych i zarośli.
5. Gruntów ornych oraz czterech kategorii użytków zielonych i samozadarnień (Kosiński, 2005).

Celem pracy jest weryfikacja i uściślenie algorytmu wydzielenia kompleksów krajobrazowo-roślinnych. Na kształt i wielkość segmentu ma wpływ interaktywny dobór piksela startowego i granicznej odległości w przestrzeni euklidesowej wartości składowych barwnych kompozycji. W celu zwiększenia powtarzalności metody, dążono do ograniczenia roli takich czynników psychologicznych, jak doświadczenie, wiedza, oczekiwanie i osobowość obserwatora, od których zależy w znacznej mierze percepcja informacji obrazowej (Bielecka, 1991 za Antropem, 1984). Jednak już wstępne prace wykazały, że istnieje duże zróżnicowanie granicznych odległości dobieranych interaktywnie do generowania poszczególnych segmentów. Przypuszczano, że graniczna odległość (SED) może być ustalona dla poszczególnych typów kompleksów.

Hipoteza robocza: Dla każdego z typów kompleksów krajobrazowo-roślinnych istnieje graniczna odległość euklidesowa wyznaczająca segmenty odpowiadające przestrzennie poszczególnym kompleksom.

Zakłada się wykorzystanie roboczych materiałów zgromadzonych w trakcie poszukiwań metodycznych. Uzyskane wyniki powinny w przyszłości stanowić podstawę pogłębionych studiów porównawczych.

2. MATERIAŁ I METODA

Badania prowadzono w okolicy Kluk w Kotlinie Szczercowskiej. Wykorzystano dwa zdjęcia Landsat ETM+ wykonane 10 września 1999 i 1 maja 2001. Ze zdjęć pozyskano wartości kanału 8 i sumę kanałów widzialnych. Wykonano kompozycję barwną:

- kanał czerwony: ETM(8) z września,
- kanał zielony: ETM(8) z maja,
- kanał niebieski: $(ETM(1) + ETM(2) + ETM(3)) / ETM(8)$, dane wrześniowe.

Jako materiał pomocniczy zastosowano zdjęcia lotnicze w barwach naturalnych i mapy topograficzne.

Segmentację obrazu satelitarnego prowadził zespół sześciu interpretatorów o różnym poziomie przygotowania merytorycznego: słuchacze szkoły policealnej (kierunek - ochrona środowiska), studenci i pracownicy naukowci. Początkowo kompleksy wyznaczano ręcznie metodą interpretacji wizualnej. Następnie analizowano możliwości półautomatycznej

segmentacji obrazu z zastosowaniem procedury *Region Growing* do wydzielania kompleksów o różnym stopniu heterogeniczności. Graniczną odległość euklidesową dobierano w drodze kolejnych przybliżeń, tak by segment obejmował względnie jednorodny fragment obrazu, z pominięciem strefy przejścia. Ostatecznie przyjęto minimalną wielkość segmentu ok. 10 000 m² powierzchni lub ok. 250 m długości. Zmierzano do ustalenia zasad wyboru piksela startowego i optymalnych parametrów procedury. Podjęto próbę określenia parametrów charakterystycznych dla różnych form użytkowania ziemi.

Poszczególni interpretatorzy, po nabyciu doświadczenia, wydzielali kolejne kompleksy, notując parametry procedury. W ten sposób scharakteryzowane segmenty były przedmiotem późniejszej analizy.

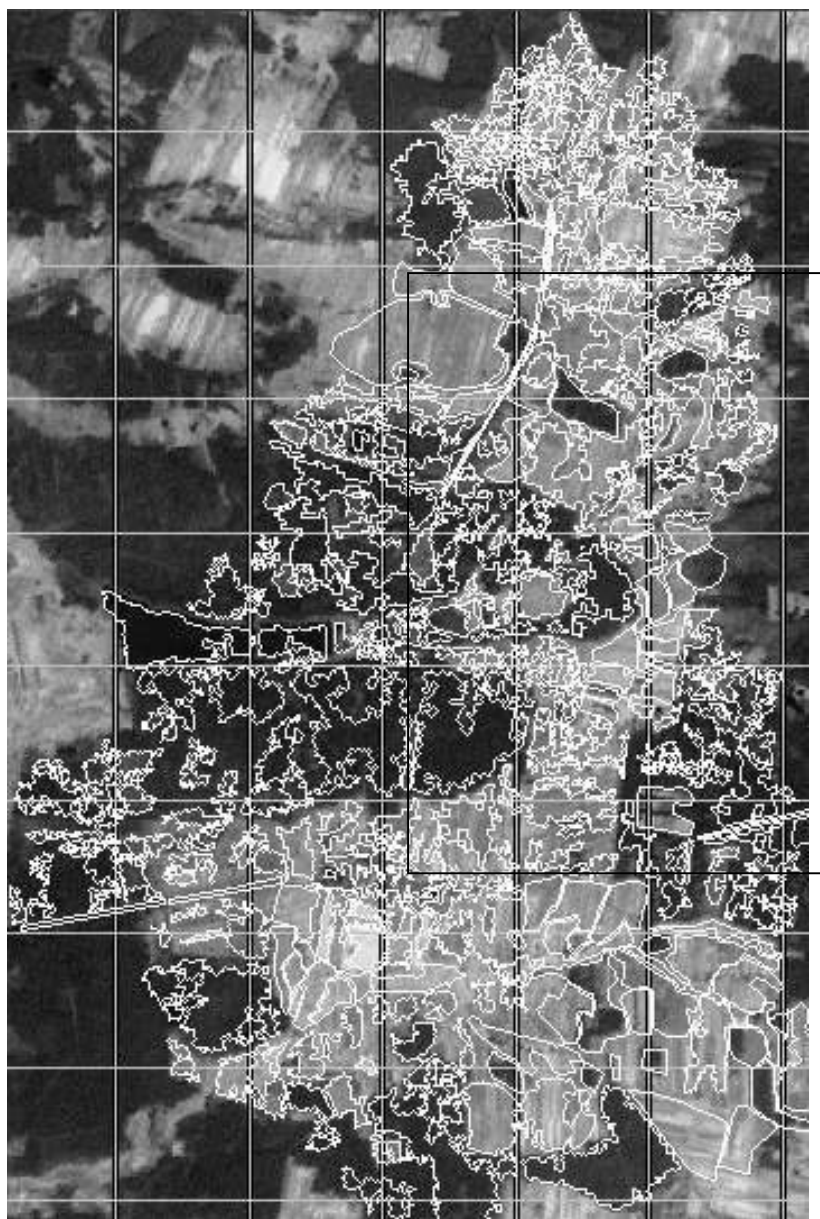
Wieloautorską mapę kompleksów poddano opracowaniu redakcyjnemu, polegającemu na usunięciu ewidentnych błędów i wykonaniu niezbędnych uzupełnień. Następnie wykonano klasyfikację kompleksów na podstawie składowych barwnych kompozycji. Zastosowano analizę skupień wartości histogramów, dostosowując algorytm ustalony dla Równiny Piotrkowskiej (Kosiński, 2005) do lokalnej zmienności kompleksów w Kotlinie Szczercowskiej. W tym celu analizowano skupienia klastrów reprezentujących kompleksy krajobrazowo-roślinne w trzech projekcjach przestrzeni składowych barwnych. Owe skupienia klastrów interpretowano w odniesieniu do klastrów pól treningowych wyznaczonych na obszarze trzech mezoregionów: Kotliny Szczercowskiej, Wysoczyzny Bełchatowskiej i Równiny Piotrkowskiej. Procedurę klasyfikacyjną zweryfikowano na fragmencie obszaru badań. Charakterystyki klas przedstawione graficznie na tle wartości składowych barwnych mapy satelitarnej zastosowano do analizy segmentów wygenerowanych przy zastosowaniu wybranych kombinacji opcji:

- 8 pikseli kandydujących, *Update Region Mean* (aktualizacja średniej) włączona, pozostałe opcje wyłączone,
- 8 pikseli kandydujących, pozostałe opcje wyłączone.

Dla każdej z powyższych kombinacji opcji uporządkowano segmenty w szereg statystyczny wg zastosowanej granicznej odległości euklidesowej (SED). Zmienność wartości SED analizowano w odniesieniu do klas kompleksów.

Interpretatorzy oceniali również przydatność materiałów pomocniczych: mapy topograficznej i zdjęć lotniczych. Podjęto próbę wydzielania kompleksów na zintegrowanej ze zdjęciem satelitarnym fotomapie lotniczej, wykorzystując dodatkowo nakładkę topograficzną.

Sąsiadujące kompleksy podobnego typu agregowano w jednostki wyższej rangi, makrokompleksy krajobrazowo-roślinne (Matuszkiewicz, 1990, 1992; Richling, Solon, 2002). Na podstawie analizy sąsiedztwa wskazano powiązania ekologiczne makrokompleksów leśnych i zaroślowych.



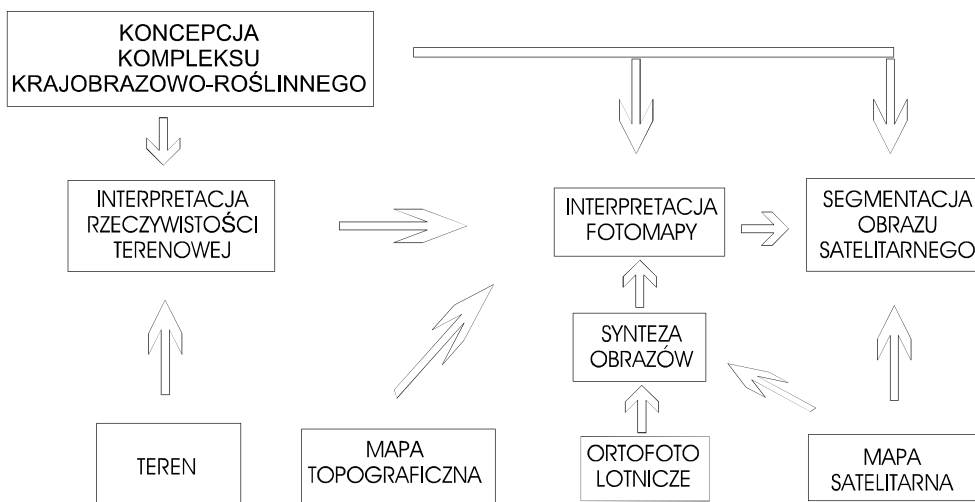
Rys. 1. Kompleksy krajobrazowo-roślinne okolic Kluk wydzielone na kompozycji barwnej utworzonej z danych panchromatycznych Landsat ETM+ z września 1999 i maja 2001; ramką oznaczono fragment poddany następnie klasyfikacji (zespół interpretatorów: Krzysztof Kosiński¹, Agnieszka Zawila³, Anna Hoffmann—Niedek¹, Andrea Gal², Eszter Toth², Damian Karaś³ – ¹IMUZ, ²Budapest Corvinus University, Faculty of Horticulture, ³CEK)

3. WYNIKI Z ANALIZĄ KRYTYCZNĄ

W zdecydowanej większości przypadków zastosowanie procedury *Region Growing* umożliwiało, a często istotnie ułatwiało tworzenie segmentów reprezentujących kompleksy krajobrazowo-roślinne (rys. 1). Tym samym potwierdzono doświadczenia z prac prowadzonych równolegle w dolinie Luciąży na równinie Piotrkowskiej (Kosiński, 2005), tu jednak na szerszym i bardziej zróżnicowanym materiale. Uzyskane wyniki mają walor powtarzalności przy zróżnicowanym poziomie przygotowania interpretatorów.

Trudności w zastosowaniu *Region Growing* występują w przypadku kompleksów o znacznym stopniu heterogeniczności. Nie udało się w sposób zadowalający wydzielać tą metodą kompleksów roślinności z zabudową w mieście, nawet przy podejmowanych próbach filtracji przestrzennej. W skrajnych przypadkach jedyną poprawną metodą była ręczna digitalizacja. Zazwyczaj możliwe było stosowanie *Region Growing* przy wydzieleniu izolowanych jednostek osadniczych na obszarach wiejskich. Mieszany kompleks łąk użytkowanych z nieużytkowanymi udało się wydzielić przez *Region Growing* jedynie jako zbiór segmentów.

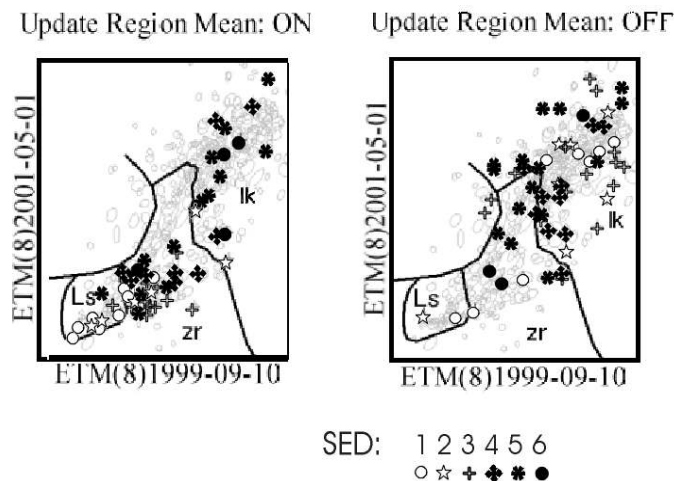
Przy identyfikacji kompleksów często rozstrzygającą rolę miała mapa topograficzna i fotomapa lotnicza. Najdogodniejszym sposobem wykorzystania materiałów pomocniczych była integracja zdjęć lotniczych z mapą satelitarną z zachowaniem informacji strukturalnej zdjęcia lotniczego i kolorystyki mapy satelitarnej. Wydzielanie kompleksów bezpośrednio na takim obrazie może być poprawne i nawet precyzyjniejsze, niż na obrazie satelitarnym. Prób tych jednak nie kontynuowano z uwagi na przyjęty poziom generalizacji. Zintegrowany w powyższy sposób obraz interpretowano wizualnie. Warstwę topograficzną wyświetlano jako nakładkę (rys. 2).



Rys. 2. Wydzielanie kompleksów krajobrazowo-roślinnych na zdjęciach satelitarnych z wykorzystaniem materiałów pomocniczych. Schemat postępowania

Piksel startowy o charakterystycznej dla kompleksu barwie wybierano w miarę możliwości w centralnej części kompleksu. W wielu wypadkach właściwe okazało się przesunięcie położenia piksela startowego do wspólnego centrum kilku pierwszych próbnych poligonów. Po wybraniu piksela startowego ustalano zasięg poligonu zmieniając SED.

Przy zastosowaniu opcji aktualizacji średniej wartości SED w odniesieniu do lasów, zarośli i użytków zielonych, najniższe wartości przypadają lasom szpilkowym, najwyższe użytkom zielonym, a wśród tych ostatnich wysokie wartości przyjmują łąki użytkowane na siedliskach świeżych (rys. 3). Wskazuje to na homogeniczność i niewielki kontrast segmentów lasów szpilkowych w stosunku do otaczających lasów i zarośli liściastych oraz na heterogeniczność (różnice między działkami) i duży kontrast łąk użytkowanych w stosunku do łąk nieużytkowanych na siedliskach wilgotnych i bagiennych. Powyższej zależności nie stwierdzono przy wyłączonej opcji aktualizacji średniej. Wskazuje to na możliwość ograniczenia przypadkowej zmienności granic segmentów w przypadku włączenia tej opcji. W analizowanych klasach kompleksów ujawnia się zróżnicowanie wartości SED dla obu badanych kombinacji opcji *Region Growing*.



Rys. 3. Zmienność wartości SED stosowanych do generowania segmentów obrazu satelitarne jako reprezentacji kompleksów krajobrazowo-roślinnych – na tle wartości składowych barwnych obrazu i w odniesieniu do typów kompleksów: Ls – lasy szpilkowe, zr – lasy liściaste i zarośla, lk – użytki zielone i zadarnienia. Szare elipsy oznaczają klastry segmentów; wartości SED uporządkowano w szereg statystyczny i zgrupowano w 6 stopni

Wyniki klasyfikacji potwierdzają trudności w rozdzieleniu łąk mokrych i bagiennych od liściastych lasów i zarośli na kompozycji dwuczłonowych danych panchromatycznych ETM+ (Kosiński, 2005). Wynikające stąd błędy można skorygować na podstawie zdjęć lotniczych. Korekta taka jest konieczna dla prawidłowej agregacji kompleksów w makrokompleksy krajobrazowo-roślinne. Błędy te mogą wpływać na wyniki analizy SED. Jednak znaczna zmienność SED wyklucza ustalenie konkretnej wartości granicznej odległości euklidesowej dla każdej z klas kompleksów.



Rys. 4. Powiązania ekologiczne leśnych i zaroślowych kompleksów krajobrazowo-roślinnych: wielkość strzałek wyraża siłę powiązań. Klasyfikacja kompleksów krajobrazowo-roślinnych na podstawie składowych barwnych obrazu satelitarne, po korekcji wg zdjęć lotniczych: Ls – lasy szpilkowe, zr – lasy liściaste i zarośla, C – użytki zielone z udziałem siedlisk wilgotnych, mokrych lub bagiennych, ewentualnie zadrzewień lub zakrzewień, N – łąki nieużytkowane na siedliskach świeżych, U – łąki użytkowane na siedliskach świeżych, V – samozadarnienia na gruntach porolnych i grądy zubożałe suche, ag – grunty orne; czarnymi liniami oznaczono granice makrokompleksów krajobrazowo-roślinnych (na rysunku 1 oznaczono ramką zasięg przedstawionego tu obszaru)

Grunty przeznaczone do zabudowy ujawniają się jako samozadarnienia. Ewentualne błędy w rozdzieleniu samozadarnień od gruntów ornych można usunąć po zastosowaniu filtracji kierunkowej do wykrycia struktury pasowej działek (Kosiński, Kozłowska, 2003; Kozłowska *et al.*, 2004). Tereny zabudowane z dużym udziałem zieleni klasyfikują się jako zarośla.

Leśne i zaroślowe makrokompleksy krajobrazowo-roślinne układają się w szeregi przestrzenne (rys. 4). Badanie takich układów powinno wchodzić w zakres analizy korytarzy ekologicznych.

4. WNIOSKI

Kompleksy krajobrazowo-roślinne można wydzielać na dwuczasej kompozycji zdjęć Landsat ETM+ z zastosowaniem mapy topograficznej i zdjęć lotniczych jako materiałów pomocniczych. Z wyjątkiem kompleksów silnie heterogenicznych możliwe jest zastosowanie procedury *Region Growing*.

Nie jest możliwe dobranie jednej konkretnej wartości granicznej odległości euklidesowej (SED) dla poszczególnych klas kompleksów. Wartość tę należy dobierać indywidualnie dla poszczególnych kompleksów.

Wyniki klasyfikacji kompleksów powinny być poddane korekcie na podstawie danych o większej rozdzielczości przestrzennej.

Opracowana metoda wydzielenia kompleksów krajobrazowo-roślinnych może być wykorzystywana w badaniach ekologicznych oraz może być pomocna w procesie planistycznym.

5. LITERATURA

Antrop M., 1984. Structural analysis of landscape using remote sensing documents and visual image interpretation Seminar methodology in landscape ecological research and planning. Proceedings of the First International Seminar of the International Association of Landscape Ecology organised at Roskilde University Centre, 15-19 October, vol. II, Ed. J. Grandt at Agger, Roskilde.

Bielecka E., 1991. Zasady interpretacji zdjęć lotniczych w nawiązaniu do teorii percepcji - prace M. Antropa z uniwersytetu w Gandawie w Belgii. *Fotointerpretacja w Geografii*, z. 1. s. 95-99.

Czarnecki R., 1972. Wskazówki metodyczne do kartowania uroczysk w krajobrazie lessowym Wyżyny Sandomierskiej. Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa.

Haase G., 1989. Medium scale landscape classification in the German Democratic Republic. *Landscape Ecology*, Vol. 3, no. 1, s. 29-41.

<http://landscape.forest.wisc.edu/landscapeecology/articles/v03i01p029.pdf>
SPB Academic Publishing by, The Hague.

Kondracki J., 1976. *Podstawy regionalizacji fizycznogeograficznej*. PWN, Warszawa.

Kosiński K., 2005. Zastosowanie procedury *Region Growing* w klasyfikacji użytków zielonych na podstawie zdjęć Landsat ETM+. *Roczniki Geomatyki*, T. 3, z. 2, s. 69-76.

- Kosiński K., Kozłowska T., 2003. Zastosowanie wskaźnika NDVI i filtracji kierunkowej do rozpoznawania użytków zielonych oraz analizy zmian siedlisk i zbiorowisk łąkowych. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*. Vol. 13 B, s. 387-395.
- Kot R., 2000. Problematyka delimitacji typów urozczysk na przykładzie wybranego fragmentu Rezerwatu Krajobrazowego „Dolina Osy”. *Acta Universitatis Nicolai Copernici. Geografia*, 20. Nauki Matematyczno-Przyrodnicze. Z. 104, Toruń, s. 57-74.
- Kozłowska T. *et al.*, 2004. Zastosowanie wskaźnika NDVI do wyróżniania łąk o różnym poziomie użytkowania i uwilgotnienia. *Woda, Środowisko, Obszary Wiejskie*, T. 4, z. 1 (10), s. 201-218.
- Matuszkiewicz A. J., 1990. Kompleks krajobrazowo-roślinny jako specyficzny typ układu ekologicznego. W: Problemy ochrony i kształtowania środowiska przyrodniczego na obszarach zurbanizowanych. Cz. II, SGGW-AR ser. CPBP 04-10, Nr 22, s. 58-64.
- Matuszkiewicz A. J., 1992. Kompleks krajobrazowo-roślinny jako jednostka zróżnicowania roślinności terenów zurbanizowanych. *Dok. Geogr.*, 5-6, s. 51-69.
- Richling A., 1979. Z metodyki wydzielenia urozczysk w terenach glacialnych. *Przegląd geograficzny*, t. 60, z. 4, s. 653-659.
- Richling A., 1993. *Kartowanie geokompleksów. Metody szczegółowych badań geografii fizycznej*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Richling A., Solon J., 2002. *Ekologia krajobrazu*. Wydanie czwarte, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, s. 320.
- Syrbe R., 1996. Das Informationssystem der Naturräume und Naturraumpotentiale des Freistaates Sachsen. <http://www.sbg.ac.at/geo/agit/papers96/syrbe.html> In: DOLLINGER, F. und J. STROBL: *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung VIII = Salzburger Geographische Materialien*, Heft 23. Selbstverlag des Instituts für Geographie der Universität Salzburg
- Szwabe A., 1989. Vegetation complexes of flowing-water habitats and their importance for the differentiation of landscape units. *Landscape Ecology*, Vol. 2, no. 4, s. 237-253.

DISTINGUISHING LANDSCAPE-VEGETATION COMPLEXES ON LANDSAT ETM+ IMAGES USING A REGION GROWING PROCEDURE

KEY WORDS: vegetation complexes, image segmentation, Region Growing, ETM+

Summary

The aim of the article was the delimitation of landscape-vegetation complexes on multitemporal Landsat ETM+ images. A landscape-vegetation complex is a small geobotanic unit corresponding to a nanochore level of physico-geographical units (Matuszkiewicz, 1990, 1992; Richling, Solon, 2002). A landscape-vegetation complex consists of one or both of the two main components: plant communities (phytocoenoses) and anthropogenic forms of relief and land cover (excavations, water reservoirs, ditches, dams, roads, buildings etc.). A landscape-vegetation complex is useful for mapping terrains under spatially-differentiated anthropogenic pressure.

Landscape-vegetation complex may be visually interpreted on diachronic composition of panchromatic data. The composition used in this paper consist of the three bands:

- red component: ETM(8) acquired in September,
 - green component: ETM(8) acquired in May,
 - blue component: $(ETM(1) + ETM(2) + ETM(3)) / ETM(8)$, September data.
- Nine types of complexes may be distinguished on the composition (Kosiński, 2005):
- waters,
 - build up and railway areas,
 - pine woods,
 - broadleaf forests and thickets,
 - arable lands and four categories of grasslands.

In this project, landscape-vegetation complexes have been interactively delimited as semi-homogeneous image segments using a Region Growing procedure. 6 interpreters participated in this work. Procedure options and Spectral Euclidean distance (SED) were interactively adjusted for each segment and different options were tested. The update region mean option was assumed to be recommended. In forest areas, the required spectral Euclidean distance was low and in grasslands it is higher. However, there is no possibility to use one SED value for any type of complex. It may be manually adjusted for each segment.

Complexes were classified on the basis of colour component values. Aerial photos and topographic maps were used as additional data.

Dr Krzysztof Kosiński
e-mail: k.kosinski@imuz.edu.pl
tel. +22 7200531 w. 205

Mgr inż. Anna Hoffmann-Niedek
e-mail: a.hoffmann@imuz.edu.pl
tel. +22 7200531 w. 251

Agnieszka Zawila
e-mail: sterownik1@o2.pl