

**PRÓBA ROZPOZNANIA EKOLOGICZNYCH
I PRODUKCYJNYCH SIEDLISK ŁĄKOWYCH
NA PODSTAWIE SEZONOWEJ ZMIENNOŚCI
CHARAKTERYSTYK SPEKTRALNYCH I TEKSTURY
ZAREJESTROWANYCH
NA ZDJĘCIACH SATELITÓW LANDSAT**

**AN ATTEMPT TO IDENTIFY ECOLOGICAL
AND PRODUCTIVE MEADOW HABITATS
ON THE BASIS OF SEASONAL VARIATION
OF SPECTRAL CHARACTERISTICS
AND TEXTURE REGISTERED ON LANDSAT IMAGES**

Krzysztof Kosiński, Anna Hoffmann-Niedek, Teresa Kozłowska

Institut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach

Słowa kluczowe: siedliska łąkowe, charakterystyki spektralne, tekstura, Landsat
Keywords: meadow habitats, spectral characteristics, texture, Landsat

Wstęp

Walory ekologiczne użytków zielonych zależą w znacznej mierze od ich uwilgotnienia (Kozłowska, 2005). Do rozpoznawania uwilgotnienia siedlisk w teledetekcji użytków zielonych wykorzystuje się różnice tonalne (Witek, Ochalska, 1968). W analizach wilgotnościowych obok zakresu widzialnego wykorzystuje się bliską i średnią podczerwień (Klaus et al., 2012; Remm, 2004). Podejmowane są próby zastosowania wskaźnika NDVI do szacowania biomasy (Kozłowska i in., 2000) oraz badania uwilgotnienia i jego zmian (Kozłowska et al., 2004, Miatkowski i in., 2006; Kosiński, Hoffmann-Niedek, 2008; Martínez, Ramil, Chuvieco, 2010). Wykorzystuje się cechy strukturane obrazu, rozpatrywane na różnych poziomach rozdzielczości przestrzennej (Osinski, 2003; Schellberg et al., 2008).

W monitoringu satelitarnym użytków zielonych z rozróżnieniem różnych form wilgotnościowych wykorzystuje się wieloczasowe dane spektralne (Debinski, Jakubauskas, Kind-scher, 2000; Wang, Tenhunen, 2004). Dużą wagę przywiązuje się do terminów kwietnio-

wych i majowych (przed pierwszym pokosem) oraz wrześniowych, po trzecim pokosie (Kozłowska, Rogowski, 1991, Weiers et al., 2004; Miatkowski i in., 2006; Kosiński, Hoffmann-Niedek, 2008).

Do rozpoznawania użytków zielonych wykorzystuje się również zobrazenia dwuczaskowe zarejestrowane w odstępie wieloletnim (Kosiński, Hoffmann-Niedek, 2008). Na dwóch zdjęciach wykonanych w czternastoletnim odstępie w tej samej porze roku (początek maja), wzmocnionych spektralnie (NDVI), temporalnie (ilorazowy wskaźnik zmian NDVI) i przestrzennie (wskaźnik struktury pasowej obliczany z zastosowaniem zespołu filtrów kierunkowych), wydzielono siedliska produkcyjne i nieprodukcyjne (ekologiczne). Zastosowanie wskaźnika struktury pasowej pozwoliło oddzielić łąki zubożałe suche od spontanicznych samozadarnień poornych na siedliskach żyzniejszych i korzystniej uwilgotnionych.

Celem niniejszej pracy jest analiza znaczenia zmienności sezonowej cech spektralnych i strukturalnych w identyfikacji siedlisk łąkowych. Podjęto próbę odpowiedzi na pytanie: jak wielu charakterystyk trzeba użyć, aby możliwe było wydzielenie podstawowych kategorii siedliskowych.

Hipoteza robocza. Zmienność sezonowa jednej charakterystyki na zobrazeniach satelitów serii Landsat pozwala odróżnić siedliska produkcyjne od ekologicznych.

Problem. Wybór metody filtracji kierunkowej do obliczenia wskaźnika struktury pasowej:

- filtracja czterokierunkowa (Kosiński, Kozłowska, 2003; Kozłowska i in., 2004; Acharyya, Kundu, 2001),
- filtracja dwunastokierunkowa (Kosiński, 2007).

Z uwagi na większą rozdzielczość kątową filtracji dwunastokierunkowej postawiono pomocniczą hipotezę, w myśl której ta właśnie filtracja powinna dać lepsze efekty od filtracji czterokierunkowej.

Metoda

Weryfikację hipotezy badawczej przeprowadzono metodą półautomatycznej klasyfikacji obiektowej (Kosiński, 2005). Metoda ta obejmuje dwa etapy postępowania: segmentację obrazu i właściwą klasyfikację na podstawie par charakterystyk z manualnym wyznaczeniem krzywej rozgraniczającej klasy obiektów próby treningowej. W tym wypadku analizowano jednoimienne pary charakterystyk pozyskanych ze zdjęć satelitarnych wykonanych w dwóch sezonach okresu wegetacyjnego.

Segmentację obrazu wykonano na kompozycji danych panchromatycznych pozyskanych z dwóch zdjęć Landsat ETM+ zarejestrowanych 2001-05-01 i 1999-09-10 dla okolic Bełchatowa. Z tych samych zdjęć pozyskano charakterystyki spektralne i tonalne oraz obliczone z nich wskaźniki różnicowe:

- trzy kanały spektralne ETM 3, 4 i 5,
- kanał panchromatyczny ETM8,
- $NDVI = (ETM4 - ETM3) / (ETM4 + ETM3)$,
- $ND(5,3) = (ETM5 - ETM3) / (ETM5 + ETM3)$.

Podstawą doboru charakterystyk i terminów były wyniki wcześniejszych prac realizowanych w okolicach Bełchatowa (Kosiński, Hoffmann-Niedek, 2008; Kosiński, Hoffmann-Niedek, Kozłowska (w przygotowaniu); Kosiński, Kozłowska, 2003; Kozłowska, Rogowski, 1991; Kozłowska i in., 2004; Miatkowski i in., 2006).

Problem wyboru metody filtracji kierunkowej rozwiązano przez porównanie wyników klasyfikacji z wykorzystaniem dwóch metod filtracji kierunkowej. Z dwóch wielospektralnych obrazowań dwuczasiowych w odstępie wieloletnim: majowego (1987-05-03, 2001-05-01) i wrześniowego (1990-08-31, 1999-09-10; autorzy nie dysponowali obrazowaniami wrześniowymi z lat 1987 i 2001) obliczono wskaźniki zmian wieloletnich NDVI (Kosiński, Kozłowska, 2003):

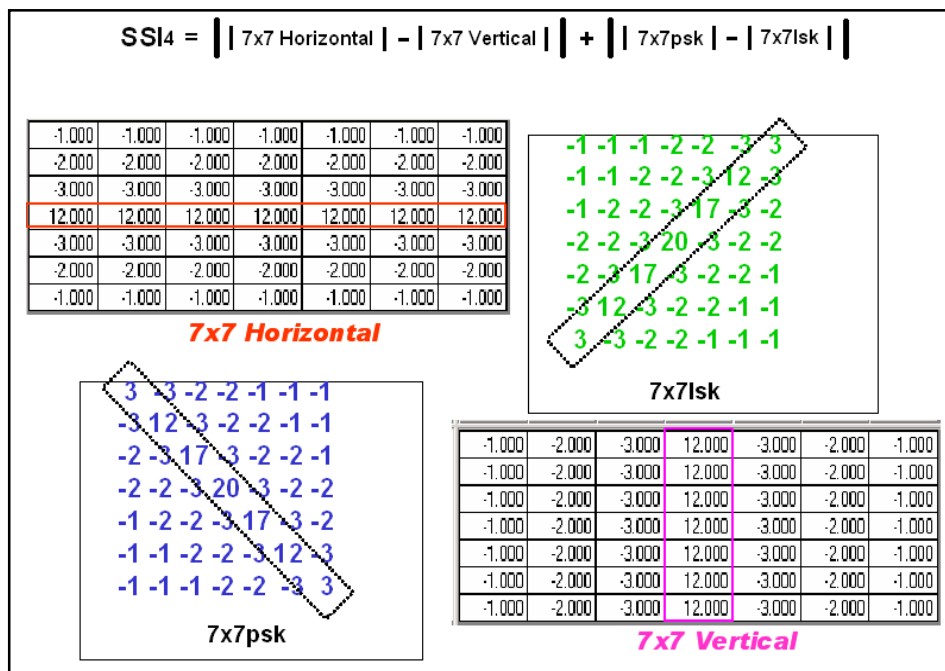
$$wzNDVI_{maj} = (NDVI_{maj1987} + 1) / (NDVI_{maj2001} + 1),$$

$$wzNDVI_{wrzesień} = (NDVI_{sierpień1987} + 1) / (NDVI_{wrzesień2001} + 1),$$

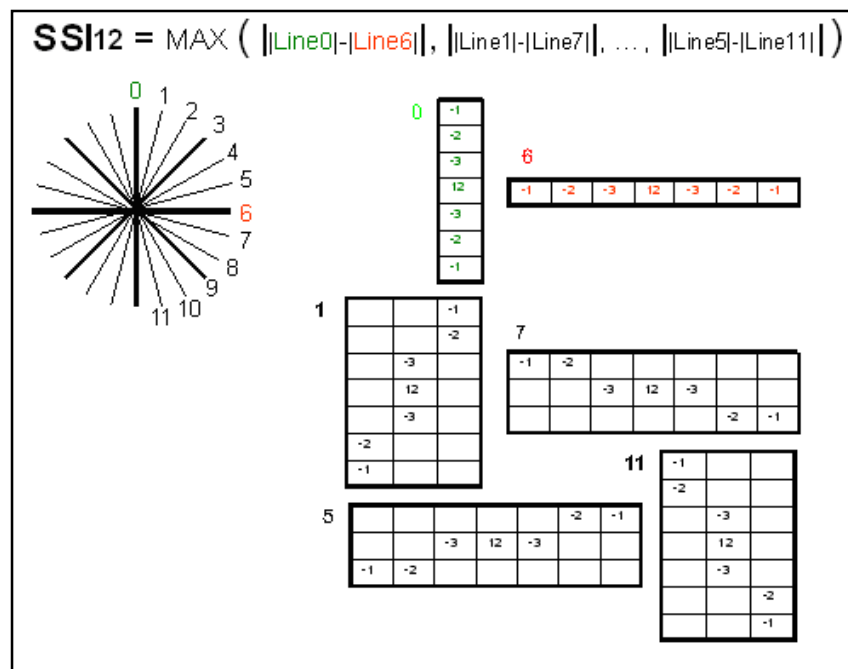
z których obliczono wskaźniki struktury pasowej SSI:

- SSI4 (rys. 1) wyznaczany metodą filtracji czterokierunkowej wg Kosińskiego i Kozłowskiej (2003),
- SSI12 (rys. 2) wyznaczany metodą filtracji dwunastokierunkowej wg Kosińskiego (2007).

W obszarze trzech mezoregionów: Kotliny Szczercowskiej, Wysoczyzny Bełchatowskiej i Równiny Piotrkowskiej ustanowiono 187 obiektów treningowych reprezentujących różne kategorie użytków zielonych i samozadarnień poornych. Z dwóch mezoregionów pobrano 46 obiektów testowych, w jednakowej liczbie 23 z każdego mezoregionu. W obszarze Kotliny Szczercowskiej obiekty testowe pobrano z kwadratów próbnych 1×1 i 0,5×0,5 km,



Rys. 1. Czterokierunkowy wskaźnik struktury pasowej SSI4 jako efekt użycia czterech filtrów przestrzennych działających parami we wzajemnie prostopadłych kierunkach.– zastosowano dwa standartowe filtry pakietu ERDAS (7x7 Horizontal i 7x7 Vertical) oraz dwa filtry (7x7lsk i 7x7psk) (źródło: Kosiński, Kozłowska, 2003)



Rys. 2. Dwunastokierunkowy wskaźnik struktury pasowej SSI12 jako efekt użycia dwunastu filtrów przestrzennych działających parami we wzajemnie prostopadłych kierunkach. 0, 1, 2,... 11 – oznaczenia dwunastu kierunków analizowanych przez 12 filtrów kierunkowych, odpowiednio: Line0, Line1, Line2,... Line11 (własny zespół filtrów autora; Kosiński, 2007)

rozmieszczonych w układzie transektów. Obiekty testowe na Równinie Piotrkowskiej pobrano jako próbę systematyczną z fragmentu doliny Luciąży.

Obiektom treningowym i testowym przypisano sześć kategorii użytków zielonych i spontanicznych zadarnień wg Kosińskiego i Hoffmann-Niedek (2008), zgrupowanych w dwie szeroko ujęte kategorie siedliskowe:

- na siedliskach ekologicznych – grądy zubożałe (Vgz) suche oraz użytki zielone mokre i bagienne (Cnu),
- na siedliskach produkcyjnych – łąki świeże użytkowane (U), ekstensywnie użytkowane (Uc) i nieużytkowane (N), łąki wilgotne (Cu) oraz samozadarnienia poorne (Vpr) nawiązujące florystycznie do grądów zubożałych suchych, lecz na siedliskach żyzniejszych i korzystniej uwilgotnionych.

Dla poszczególnych dwuczasywych par jednoimiennych charakterystyk podjęto próbę manualnego wyznaczenia krzywej (hiperpłaszczyzny lub hipersfery) rozgraniczającej w przestrzeni wartości majowych i wrześnieowych obiektów treningowe odmienne siedliskowo (ekologiczne vs produkcyjne). Rozkład obiektów testowych względem tej samej krzywej rozgraniczającej był podstawą weryfikacji statystycznej i oceny poprawności klasyfikacji. Istotność statystyczną poszczególnych dwuczasywych charakterystyk jako kryterium klasyfikacji weryfikowano testem V-kwadrat na poziomie ufności 95%.

Podjęmowano próby rozdzielania węższych kategorii użytków zielonych, stosując dodatkowo wskaźnik: $ND(5,4) = (ETM5 - ETM4) / (ETM5 + ETM4)$.

Wyniki z analizą krytyczną

Weryfikacja statystycznej istotności wyników klasyfikacji próby testowej przeprowadzona dla każdej z dwuczasowych par charakterystyk dała pozytywny wynik jedynie dla kanału ETM4 (tabela). Wyniki testu dla pozostałych charakterystyk przekraczały pięcioprocentowy poziom ryzyka błędu. Najbliższy progu istotności był kanał ETM8 ($p = 0,054$) i wskaźnik NDVI ($p = 0,070$). Obie te charakterystyki powiązane są z odbiciem w zakresie zarówno bliskiej podczerwieni, jak czerwieni widzialnej. Z kolei czerwień widzialną można wiązać z nekromasą, pokrywającą powierzchnię gruntu w okresie wiosennym. Nekromasa przetrwała z poprzedniego sezonu wegetacyjnego może być przyczyną błędów klasyfikacji na podstawie kanału ETM8 i NDVI. Z uwagi jednak na bliskość progu istotności statystycznej, zmienność sezonowa ETM8 i NDVI powinny być przedmiotem dalszych badań.

Rozróżnienie siedlisk ekologicznych i produkcyjnych na podstawie zmienności sezonowej ETM4 (jako jedyne kryterium) okazało się niemożliwe ze względu na wysoki poziom błędów klasyfikacji. Nie wyklucza to jednak wykorzystania jako materiału pomocniczego w kartowaniu terenowym (stuprocentowa dokładność/poprawność producenta dla użytków zielonych ekologicznych) oraz możliwości klasyfikacji siedlisk łąkowych na podstawie wielu charakterystyk. Na podstawie zmienności sezonowej w kanale ETM5 udało się wykreślić linię rozgraniczającą użytki zielone nadmiernie uwilgotnione (Cnu) od użytków zielonych wilgotnych (Cu), świeżych (N, U) i suchych (Vgz) oraz spontanicznych zadarnień Vgz. Według wskaźnika różnicowego ND(5,4) lub kanału ETM3 wydzielają się grądy zubożałe Vgz z samozadarnieniami Vpr. Z kolei grądy zubożałe różnią się od samozadarnień odmiennymi wartościami wskaźników ND(5,3) i SSI, przy czym oba wskaźniki struktury pasowej (SSI4 i SSI12) dają podobne rezultaty.

Tabela. Wyniki klasyfikacji użytków zielonych na podstawie zmienności sezonowej odbicia w kanale ETM4

p = 0,007 ≤ 0,05		STAN RZECZYWISTY		Dokładność użytkownika <i>User's accuracy</i>
		Łąki produkcyjne <i>Productive meadows</i> 38 obiektów testowych <i>38 test objects</i>	Łąki ekologiczne <i>Ecological meadows</i> 8 obiektów testowych <i>8 test objects</i>	
WYNIK KLASYFIKACJI	Łąki produkcyjne <i>Productive meadows</i> 20 obiekty testowe <i>20 test objects</i>	20 TRUE	0 FALSE	1,0
	Łąki ekologiczne <i>Ecological meadows</i> 26 obiekty testowe <i>26 test objects</i>	18 FALSE	8 TRUE	0,3
Dokładność producenta <i>Producer's accuracy</i>		0,5	1,00	

Wnioski

Potwierdzono przydatność zmienności sezonowej odbicia w zakresie bliskiej podczerwieni do rozdzielania użytków zielonych ekologicznych i produkcyjnych. Jednak wykonanie finalnej mapy poklasyfikacyjnej wymaga weryfikacji terenowej lub uzupełniającej klasyfikacji z zastosowaniem dodatkowych charakterystyk spektralnych (ETM5, ETM3, wskaźników różnicowych ND(5,4), ND(5,3)) lub teksturalnych (wskaźniki struktury pasowej SSI4 albo SSI12). Nie potwierdzono celowości zastosowania wskaźnika NDVI.

Literatura

- Acharyya M., Kundu M. K., 2001: An adaptive approach to unsupervised texture segmentation using M-Band wavelet transform, *Signal Processing*, Vol. 81, Issue 7, July 2001, 1337-1356.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165168400002784>
- Debinski D. M., Jakubauskas E., Kindscher K., 2000: Montane meadows as indicators of environmental change. *Environmental Monitoring and Assessment*, 64, 213–225.
http://www.kbs.ku.edu/people/staff_www/kindscher/Kindscher%20publicaitons/Kindscher%202000%20Montane
- Klaus V. H., Kleinebecker T., Boch S., Müller J., Socher S. A., Prati D., Fischer M., Hölzel N., 2012: NIRS meets Ellenberg's indicator values: Prediction of moisture and nitrogen values of agricultural grassland vegetation by means of near-infrared spectral characteristics. *Ecological Indicators*, Vol. 14, Issue 1, 82-86.
- Kosiński K., 2005: Zastosowanie procedury Region Growing w klasyfikacji użytków zielonych na podstawie zdjęć Landsat ETM+. *Roczniki Geomatyki*. t. 3, z. 2, PTIP, Warszawa, 69-76.
<http://ptip.org.pl/download/files/RG2005z2-Kosinski.pdf>
- Kosiński K., 2007: Zastosowanie cech strukturalnych obrazu Landsat ETM+ w klasyfikacji obiektowej kompleksów krajobrazowo roślinnych. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*. Vol. 17a, 385-394.
<http://www.sgp.geodezja.org.pl/ptfit/wydawnictwa/dobczyce/vol17a/39.pdf>
- Kosiński K., 2008: Teledetekcja użytków zielonych z zastosowaniem komercyjnego oprogramowania ERDAS i wolnego ILWIS. *Teledetekcja Środowiska*. Vol. 39, 120-123.
http://www.telegeo.wgsr.uw.edu.pl/Teledetekcja_Srodowiska/tom_39/Kosinski.pdf
- Kosiński K., Hoffmann-Niedek A., 2008: Klasyfikacja obiektowa użytków zielonych z wykorzystaniem wieloletnich zmian NDVI i filtracji kierunkowych obrazu satelitarnego. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji* Vol. 18a, 273-282.
http://www.sgp.geodezja.org.pl/ptfit/wydawnictwa/miedzydroje/calosc_18a_1.pdf
- Kosiński K., Hoffmann-Niedek A., Kozłowska T., (w przygotowaniu): Ocena możliwości identyfikacji łąk produkcyjnych i ekologicznych na pojedynczym zdjęciu satelity Landsat. *Woda, Środowisko, Obszary Wiejskie*.
- 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*. Materiały Ogólnopolskiego Sympozjum Geoinformacji: „Geoinformacja zintegrowanym narzędziem badań przestrzennych”. Vol. 13 B, 387-395.
http://www.sgp.geodezja.org.pl/ptfit/wydawnictwa/wroclaw-2003/B10_Kosinski%20Kozlowska%20%20Zastosowanie%20wskaznika%20NDVI%20i%20filtracji.pdf
- Kozłowska T., 2005: Zmiany zbiorowisk łąkowych na tle różnicowania się warunków siedliskowych w charakterystycznych obszarach dolin rzecznych Polski Centralnej. *Woda, Środowisko, Obszary Wiejskie*. Rozprawy naukowe i monografie, 14, 208s.
- Kozłowska T., Dąbrowska-Zielińska K., Ostrowski J., Ciołkosz A., Stankiewicz K., Bochenek Z., 2000: Szacowanie plonów z użytków zielonych w skali regionalnej z zastosowaniem teledetekcji satelitarnej. *Biblioteczka Wiadomości IMUZ*, 95, 111s.
- Kozłowska T., Kosiński K., Kwiecień R., Ziąja W., 2004: Zastosowanie wskaźnika NDVI do wyróżniania łąk o różnym poziomie użytkowania i uwilgotnienia. *Woda, Środowisko, Obszary Wiejskie*. t. 4, z. 1 (10), 201-218.
http://www.imuz.edu.pl/wydaw/ofertawyd/woda/zeszyt_2a_2004/artykuly/Kozlowska_in.pdf

- Kozłowska T., Rogowski W., 1991: Możliwości zastosowania teledetekcji do inwentaryzacji użytków zielonych. Centralny Program Badawczo-Rozwojowy 10.2.3, 25-35.
- Martínez S., Ramil P., Chuvieco E., 2010: Monitoring loss of biodiversity in cultural landscapes. New methodology based on satellite data. *Landscape and Urban Planning*, 94, 127-140.
- Miatkowski Z., Turbiak S., Kowalik W., Sołtysik A., Lewiński J., 2006: Przydatność zdjęć satelitarnych Landsat TM do identyfikacji intensywnie odwodnionych siedlisk hydrogenicznnych w rejonie KWB Belchatów. *Woda, Środowisko, Obszary wiejskie*. Rozprawy naukowe i monografie, 16, 2-80.
- Osinski E., 2003: Operationalisation of a landscape-oriented indicator. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 98, 371–386.
- Remm K., 2004: Case-based predictions for species and habitat mapping. *Ecological Modelling*, 177, 259-281.
- Schellberg J., Hill M. J., Gerhards R., Rothmund M., Braun M., 2008: Precision agriculture on grassland: Applications, perspectives and constraints. *Europ. J. Agronomy*, 29, 59-71.
- Wang H., Tenhunen J. D., 2004: Vegetation mapping with multitemporal NDVI in North Eastern China Transect (NECT). *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 6, 17-31.
- Weiers S. et al., 2004: Mapping and indicator approaches for the assessment of habitats at different scales using remote sensing and GIS methods. *Landscape and Urban Planning*. Vol. 67, Issue 1-4.
- Witek T., Ochalska L., 1968: Przydatność zdjęć lotniczych w sporządzaniu wielkoskalowych map glebowych i glebowo-rolniczych. *Fotointerpretacja w Geografii*. Tom 6, 73-85.

Abstract

The aim of this research was to verify the significance of spectral and textural seasonal changes for distinguishing grassland habitats. The two main groups of habitats were studied according to water conditions: ecological and productive grasslands. The two Landsat ETM+ images were used, acquired in May 1st and September 10th. Seasonal changes of spectral (ETM3,4,5) and panchromatic (ETM8) bands were calculated as well as, normalized differential indexes (NDVI and ND(5,3) = (ETM5 – ETM3)/(ETM5 + ETM3), textural indexes, obtained by multidirectional filtering (four-directional (SSI4) and twelve-directional (SSI12) strip structure indexes. The ETM4 band proved to be the only characteristic statistically significant for distinguishing grassland habitats. Seasonal changes in ETM4 band allow to distinguish ecological grasslands with full producer accuracy. However, due to low user accuracy (30%) terrain verification or further classification is needed using additional characteristics.

dr Krzysztof Kosiński
k.kosinski@itep.edu.pl
tel. +48 (22) 720 05 31 w. 572

mgr inż. Anna Hoffmann-Niedek
a.hoffmann@itep.edu.pl
tel. +48 (22) 720 05 31 w. 538

dr hab. Teresa Kozłowska
t.kozłowska@itep.edu.pl
tel. +48 (22) 720 05 31 w. 580