

## ZASTOSOWANIE WSKAŹNIKA *NDVI* DO WYRÓŻNIANIA ŁĄK O RÓŻNYM POZIOMIE UŻYTKOWANIA I UWILGOTNIENIA

**Teresa KOZŁOWSKA, Krzysztof KOSIŃSKI,  
Renata KWIECIEN, Wanda ZIAJA**

Instytut Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach, Zakład Studiów Regionalnych Rozwoju Obszarów Wiejskich

*Słowa kluczowe: identyfikacja łąk, łąki użytkowane i nieużytkowane, zdjęcia satelitarne*

### Streszczenie

Badania prowadzono na Nizinie Środkowopolskiej, w dwóch sąsiednich mezoregionach: Kotlinie Szczercowskiej i Wysoczyźnie Belchatowskiej w latach 1991–2001. Na zmeliorowanych użytkach zielonych wybrano 17 stanowisk reprezentujących trzy grupy siedliskowe: A – położone na glebach mineralnych, umiarkowanie wilgotne i okresowo posuszne, B – na glebach organicznych, przeważnie umiarkowanie wilgotne oraz C – na glebach organicznych, nadmiernie uwilgotnione. W stanowiskach tych oznaczono rodzaj gleby oraz określono poziom wody gruntowej i skład botaniczny.

Na podstawie dwóch zdjęć landsatowskich wykonanych na początku maja w 1987 i w 2001 r. utworzono mapę satelitarną. Skonstruowano ją jako kompozycję trzech składowych barwnych: 1) wskaźnika *NDVI* dla 1987 r., 2) wskaźnika *NDVI* dla 2001 r., 3) wskaźnika struktury pasowej. Wskaźnik struktury pasowej obliczono na podstawie dwóch wskaźników *NDVI* wg dwustopniowej procedury: 1) obliczenie wskaźnika zmian *NDVI*, 2) filtracja kierunkowa i dolnoprzepustowa. Tak utworzoną mapę satelitarną zinterpretowano wynikami badań terenowych. Interpretację zweryfikowano na podstawie analizy dwuwymiarowych klastrów wyznaczonych dla wskaźników użytych jako składowe kompozycji.

Zastosowana w pracy metoda przetwarzania zdjęć satelitarnych umożliwia wyróżnienie 11 form użytkowania ziemi, przy czym wskaźnik struktury pasowej podkreśla pasowość pól ornych oraz łąk użytkowanych. Umożliwia to bardziej precyzyjne wydzielenie form użytkowania. Wyróżniono m.in. łąki użytkowane, łąki nieużytkowane niezabagniane oraz łąki nieużytkowane zabagniane.

---

Adres do korespondencji: dr inż. T. Kozłowska, Instytut Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach, Zakład Studiów Regionalnych Rozwoju Obszarów Wiejskich, 05-090 Raszyn, tel. +48 (22) 720-05-31, w. 253, e-mail: t.kozlowska@imuz.edu.pl

## WSTĘP

Użytki zielone w Polsce stanowią odrębną kategorię użytków rolnych. Wyróżniają się położeniem fizjograficznym i związanymi z tym specyficznymi glebami (hydrogenicznymi) oraz warunkami wodnymi (zasilaniem gruntowym i powierzchniowym). Położenie fizjograficzne użytków zielonych decyduje o zróżnicowaniu siedlisk i zbiorowisk łąkowych. Istnienie łąk<sup>1)</sup> zależne jest od rolniczego użytkowania, które decyduje o ich wartości rolniczej i ekologicznej. Zaniechanie użytkowania w bardzo krótkim czasie prowadzi do zmian składu botanicznego runi, a przede wszystkim wypadania wartościowych rolniczo traw, aż do pojawienia się (w okresie kilku lat) nalotów drzew. Proces samorzutnego przechodzenia zbiorowisk łąkowych w inicjalne zbiorowiska leśne jest naturalnym etapem sukcesji w strefie klimatu umiarkowanego [PRONCZUK, 1982].

Przeobrażenia gospodarcze zapoczątkowane w latach 90. ubiegłego wieku spowodowały nie tylko obniżenie poziomu pratotechniki na użytkach zielonych, ale często również zaniechanie ich użytkowania. W wyniku zaniedbań w konserwacji urządzeń melioracyjnych, głównie szczegółowych, pojawił się problem zmiany warunków siedliskowych, a zwłaszcza ich uwilgotnienia. Czasami wzrost uwilgotnienia na łąkach jest tak znaczny, że prowadzi do ich wtórnego zabagniania. Gospodarowanie na użytkach zielonych, zgodnie z zasadą ekorozwoju, wymaga monitorowania zachodzących zmian zarówno w poziomie uwilgotnienia ich siedlisk jak i użytkowania.

Obecnie w warunkach powszechnego stosowania technik informatycznych w nauce, postępującego rozwoju teledetekcji oraz dostępności zdjęć satelitarnych, pojawiła się możliwość wykorzystywania metod teledetekcyjnych do odróżniania użytków zielonych od innych form użytkowania ziemi oraz do wydzielenia łąk o różnym poziomie użytkowania i uwilgotnienia.

Próby wydzielenia użytków zielonych na podstawie zdjęć satelitarnych podejmowano w Polsce w latach 80. XX wieku [CIOŁKOSZ, POŁAWSKI, 1980] i ponawiano w następnych latach. O ile można stosunkowo dobrze wydzielić łąki na mapach przeglądowych w skali 1:500 000, to na mapach w skali 1:100 000 jest to już trudne, a prawie niemożliwe jednoznaczne wyznaczenie granicy pomiędzy łąkami a innymi użytkami na mapach w skali 1: 50 000 i większej.

Potwierdzają to rozwiązania przyjęte w programie CORINE Land Cover. W jego realizacji przyjęto kilka poziomów szczegółowości, odpowiadających coraz to większym skalom kartograficznym. Na poziomie trzecim, odpowiadającym skali 1:100 000 korzystano ze zdjęć satelity Landsat. Wyróżniono łąki jako jedną kategorię, przy czym dodatkowo wydzielono część łąk w kompleksach z innymi formami użytkowania. Do dalszego uszczegółowienia mapy użytkowania ziemi w skali 1:50 000 (4. poziom szczegółowości programu CORINE Land Cover) dla

---

<sup>1)</sup> Łąki – nazwy tej użyto w szerokim znaczeniu, obejmuje ona wszystkie użytki zielone.

obszaru Polski wykorzystano już barwne zdjęcia lotnicze w skali 1: 26 000 [BARAŃSKA, 2002; POŁAWSKI, 2002]. Wyróżniono trzy kategorie trwałych użytków zielonych: łąki, łąki z udziałem drzew i krzewów oraz szuwały [CIOŁKOSZ, POŁAWSKI, 1980; POŁAWSKI, 2002]. Próbę wykonania mapy pokrycia terenu w skali 1:50 000 w programie CORINE Land Cover na podstawie zdjęć satelitarnych podjęła PAWLAK [1999]. Posługując się kompozycją barwną kanałów 4, 5 i 3 zdjęcia landsatowskiego, zaproponowała wydzielenie trzech kategorii wilgotnościowych w obrębie łąk kośnych: łąk suchych, świeżych, i podmokłych. Jednak w legendzie do zamieszczonej w powyższej pracy mapy znalazły się tylko dwie kategorie: łąki świeże i podmokłe. Doświadczenia autorów wskazują, że próby rozróżnienia łąk suchych i podmokłych na podstawie kompozycji barwnej utworzonej z kanałów 4, 5 i 3 zdjęcia landsatowskiego nie są w pełni udane. Problem ten wymaga dalszych badań. Tym bardziej, że szersze wykorzystanie zdjęć satelitarnych w badaniach naukowych i praktyce jest łatwiejsze i bardziej wiarygodne w skalach szczegółowych. Możliwość taką stwarzają zdjęcia satelitarne o wysokiej rozdzielczości.

W IMUZ podjęto próbę wydzielenia łąk spośród innych form użytkowania ziemi tylko na podstawie zdjęć landsatowskich. Następnie zmierzano do podzielenia ich na dwie grupy: łąki użytkowane i nieużytkowane. Na łąkach tych próbowano również wyróżnić trzy kategorie uwilgotnienia: łąki umiarkowanie wilgotne, murszowiska zabagniane wraz z łąkami bagiennymi oraz łąki suche. W grupie łąk nieużytkowanych wyróżniano łąki zabagniane oraz o uwilgotnieniu umożliwiającym ich rolnicze użytkowanie.

Celem niniejszej pracy była ocena przydatności obliczonego na podstawie zdjęć landsatowskich wskaźnika *NDVI* i jego filtracji przestrzennej do wydzielenia łąk o różnym poziomie użytkowania i uwilgotnienia.

## MATERIAŁ I METODY BADAŃ

### BADANIA TERENOWE

Badania prowadzono na Nizinie Środkowopolskiej, w dwóch sąsiednich mezoregionach: Kotlinie Szczercowskiej i Wysoczyźnie Bełchatowskiej [KONDRACKI, 2002], wyraźnie różniących się geomorfologią i wynikającą z tego strukturą użytkowania ziemi. Wysoczyzna Bełchatowska położona jest na wzniesieniach wododziału Warty i Pilicy, a Kotlina Szczercowska ma charakter równiny otoczonej wysoczyznami i w większości jest zalesiona i podmokła. Podobnie użytki zielone występujące w obu mezoregionach różnią się przestrzennym rozmieszczeniem, procentowym udziałem w strukturze użytków rolnych oraz rodzajem siedlisk.

Administracyjnie obszar badań położony jest w południowo-zachodniej części woj. łódzkiego, poza zasięgiem leja depresji wód gruntowych KWB Bełchatów.

Na zmeliorowanych użytkach zielonych położonych w większości w źródłowej części dolin niewielkich dopływów rzeki Pilsi i Grabi (zlewnia Warty) oraz Dąbrówki (zlewnia Pilicy) wybrano 17 reprezentatywnych stanowisk. W latach 1991–2001 w stanowiskach tych określano: rodzaj gleby (jednorazowo, metodą odkrywek glebowych, na początku badań), poziom wody gruntowej (3–4 razy w sezonie wegetacyjnym) i skład botaniczny w okresie I pokosu (metodą Klappa). Stanowiska, w zależności od zróżnicowania gleby oraz warunków wodnych w okresie badań, podzielono na trzy grupy siedliskowe: A – położone na glebach mineralnych, umiarkowanie wilgotne i okresowo posuszne (5 stanowisk), B – na glebach organicznych, przeważnie umiarkowanie wilgotne (8 stanowisk) oraz C – na glebach organicznych, nadmiernie uwilgotnione (4 stanowiska). W celu porównania do grupy C włączono jedno stanowisko położone na zabagnionym torfowisku – Bagno Szczerców.

Jednocześnie prowadzono rozpoznania marszrutowe na sąsiednich użytkach.

#### BADANIA TELEDETEKCYJNE

Na podstawie uzyskanych wyników badań eksperymentalnych, przedstawione mezoregiony analizowano i interpretowano na dwóch zdjęciach satelitarnych. Zdjęcia z serii Landsat o rozdzielczości przestrzennej 30 m, Landsat 5 TM wykonane dnia 1987-05-03 oraz Landsat 7 ETM – dnia 2001-05-01. Rejestrowały one zbiorowiska roślinne w tej samej fazie fenologicznej, na początku wegetacji. Umożliwiło to ich porównywanie oraz interpretację zmian zaistniałych w zbiorowiskach roślinnych w ciągu 14 lat, tj. pomiędzy wykonaniem jednego i drugiego zdjęcia satelitarnego.

Powyższe zdjęcia poddano korekcji geometrycznej, dostosowując je do wspólnego układu odniesienia, a następnie dla każdego z nich obliczono znormalizowany różnicowy wskaźnik wegetacji *NDVI* [TÜCKER, 1979]:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (1)$$

gdzie:

- NDVI* – znormalizowany różnicowy wskaźnik wegetacji,
- NIR* – bliska podczerwień,
- R* – promieniowanie czerwone.

Na podstawie wartości *NDVI* uzyskanych z obu terminów obliczono wskaźnik zmian wieloletnich *NDVI* [KOZŁOWSKA i in., 2003] według wzoru:

$$wz \text{ } NDVI_{87/01} = \frac{NDVI_{1987-05-03} + 1}{NDVI_{2001-05-01} + 1} \quad (2)$$

gdzie:

wz  $NDVI_{87/01}$  – wskaźnik zmian wieloletnich NDVI dla analizowanych zdjęć.

Następnie wartości wskaźnika zmian wieloletnich NDVI poddano filtracji kierunkowej [KOSIŃSKI, KOZŁOWSKA, 2003]. Zastosowano 4 filtry kierunkowe. Filtr przyporządkowuje każdemu pikselowi (najmniejszemu elementowi obrazu) wartość tym większą, im większa jest w jego otoczeniu heterogeniczność obrazu analizowana w określonym kierunku. W przypadku braku zmienności w danym kierunku filtr generuje wartość zero. Analizowano heterogeniczność obrazu w czterech kierunkach: południkowym N–S (filtr poziomy), równoleżnikowym W–E (filtr pionowy), SW–NE (filtr prawoskośny) oraz NW–SE (filtr lewoskośny). Duża różnica heterogeniczności w kierunkach prostopadłych wskazuje na występowanie struktur pasowych biegnących zgodnie w jednym z dwóch analizowanych kierunków. Wartości bezwzględne różnic obliczonych dla dwóch par filtrów: poziomego z pionowym oraz prawoskośnego z lewoskośnym, zsumowano zgodnie z poniższą formułą:

$$WSP = ||Poz| - |Pion|| + ||psk| - |lsk|| \quad (3)$$

gdzie:

$WSP$  – wskaźnik struktury pasowej,  
 $Poz$  – wynik działania filtru poziomego,  
 $Pion$  – wynik działania filtru pionowego,  
 $psk$  – wynik działania filtru prawoskośnego,  
 $lsk$  – wynik działania filtru lewoskośnego.

Zakłada się, że tak obliczony wskaźnik struktury pasowej przyjmuje wartości tym większe, im większy jest stopień uporządkowania struktur pasowych w którymkolwiek kierunku (wysoka homogeniczność w danym kierunku) i im większe są kontrasty między pasami (wysoka heterogeniczność w kierunku prostopadłym). Najniższą możliwą wartością wskaźnika jest 0, które występuje w przypadku całkowitej homogeniczności obrazu w otoczeniu danego piksela.

Tak utworzony obraz wynikowy poddano filtracji dolnoprzepustowej w celu zwiększenia jego homogeniczności. Zabieg ten miał na celu poprawienie możliwości wizualnej interpretacji obrazu pofiltracyjnego.

Obraz pofiltracyjny fotomapy, jako kompozycja barwna, której składową czerwoną, zieloną i niebieską stanowiły odpowiednio wskaźniki (skorygowane w drodze filtracji dolnoprzepustowej):  $NDVI_{1987-05-03}$ ,  $NDVI_{2001-05-01}$  i  $WSP$ .

Utworzoną według powyższej metody kompozycję w barwach nierzeczywistych, interpretowano na podstawie wyników badań terenowych. Aby ocenić wiarygodność interpretacji wizualnej, poddano analizie wartości wskaźników (składowych barwnych obrazu) odpowiadające wybranym formom użytkowania ziemi. Analizowano pary wskaźników:  $NDVI_{1987-05-03}$  i  $NDVI_{2001-05-01}$ ,  $NDVI_{1987-05-03}$  i  $WSP$ ,

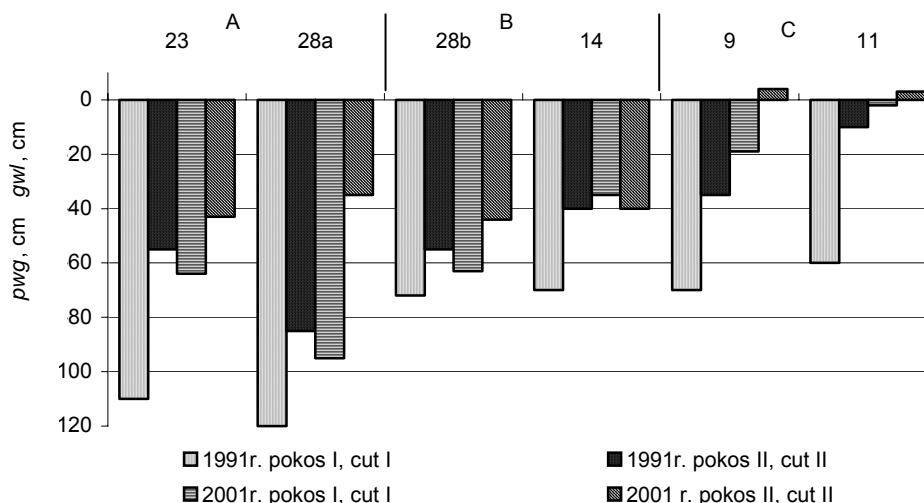
$NDVI_{2001-05-01}$  i  $WSP$ . W układzie współrzędnych prostokątnych oznaczono skupienia (klastry) par wartości odpowiadających wybranym formom użytkowania ziemi. Formy użytkowania reprezentowane na fotomapie różnymi barwami lub mozaiką plam barwnych przedstawiono w postaci kilku klastrów, z których każdy odpowiada innej barwie.

## WYNIKI BADAŃ

### WARUNKI SIEDLISKOWE

Większość użytków zielonych Wysoczyzny Bełchatowskiej występuje na glebach mineralnych pochodzenia deluwialnego (grupa A), co wynika z ich położenia w strefie wododziałowej. Charakteryzują się one dużymi wahaniami położenia poziomu wód gruntowych w sezonie wegetacyjnym oraz szczególnie niskim położeniem w okresie letnim (rys. 1, tab. 1). Z kolei w Kotlinie Szczercowskiej dominują użytki zielone o glebach organicznych różnej miąższości, przeważnie średnio i słabo zmurszałe. Wyższe też było położenie poziomu wody gruntowej (grupa B i C w porównaniu do łąk grupy A).

W stanowiskach grupy A na glebach mineralnych poziom wody gruntowej w okresie pierwszego i drugiego odrostu prawie zawsze układał się niżej, w porównaniu do jego położenia w glebach organicznych (grupa B i C). Stanowiska na



Rys. 1. Poziom wody gruntowej (pwg) w wybranych stanowiskach badawczych (23, 28a,b, 14, 9, 11) w trzech grupach siedlisk łąkowych (A, B, C) w latach 1991 i 2001; objaśnienie A, B, C pod tab. 1

Fig. 1. Ground water level (pwg) on selected sites (23, 28a,b, 14, 9, 11) in the three groups of grassland habitats (A, B, C) in the 1991 and 2001; explanations A, B, C as in Table 1



glebach organicznych (obie grupy), z wyjątkiem jednego (Bogdanów 1) położone były w Kotlinie Szczercowskiej. W stanowiskach grupy B i C już na początku badań widoczne było różnicowanie się położenia poziomu wody gruntowej, gdyż był to okres kiedy zaniechano konserwacji urządzeń melioracyjnych. W 1991 r., w okresie pierwszego odrostu nie było większych różnic w położeniu poziomu wody gruntowej w tych stanowiskach, ale w II odroście już wystąpiły. W okresie lata, w stanowiskach grupy C poziom wody gruntowej znacznie się podniósł. Jego położenie wahało się od 35 cm, aż do powierzchniowego zatopienia (stanowisko Wierzchy Kluckie 11).

Zróznicowanie uwilgotnienia łąk na glebach organicznych wynikało z zaniechań konserwacji urządzeń melioracyjnych oraz z położenia stanowisk grupy C w źródłowych odcinkach cieków, w sąsiedztwie wypiętrzonych wydm, dodatkowo zasilanych wodami topogenicznymi. Pomimo wahań położenia poziomu wody gruntowej w stanowiskach grupy C i w latach (tab. 1), wzrost uwilgotnienia na tych łąkach spowodował samorzutny powrót procesu bagiennego. Pod koniec badań stanowisk tych – ze względu na wysokie położenie poziomu wody gruntowej w okresie pierwszego lub/i drugiego odrostu – nie można było użytkować rolniczo.

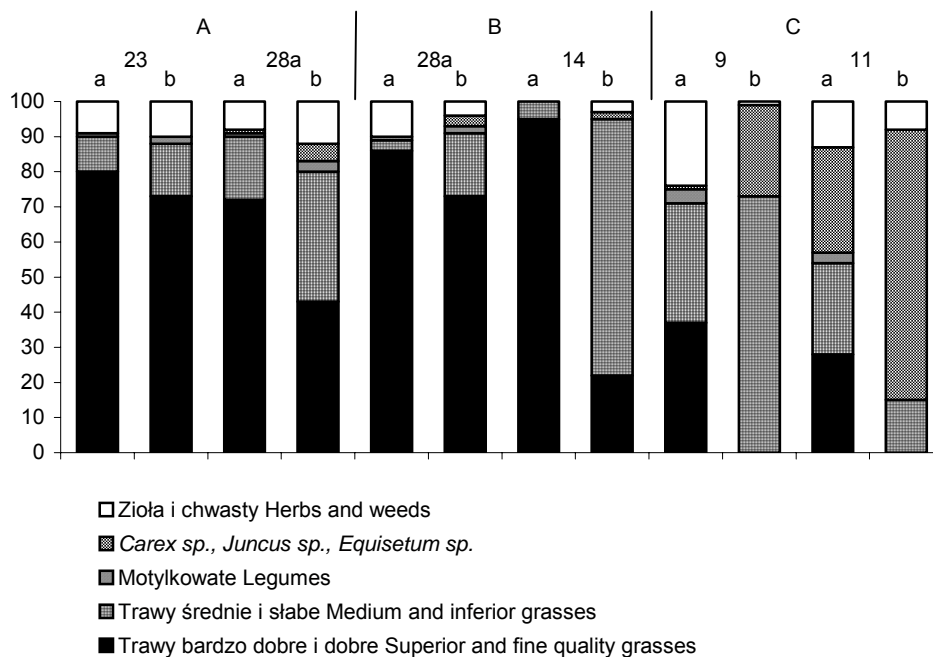
W okresie trwania badań na większości użytków zielonych obniżył się poziom pratotechniki, a na części z nich zaniechano użytkowania. Nasilenie tego procesu było mniejsze na łąkach Wysoczyzny Bełchatowskiej, gdzie udział użytków zielonych w powierzchni użytków rolnych był zawsze mniejszy i prawie wszystkie były użytkowane, chociaż zróznicowanie poziomu pratotechniki było duże. W Kotlinie Szczercowskiej proces powiększania się obszarów łąk nieużytkowanych w ostatnich latach nasilił się. Często działki łąk użytkowanych występowały na przemian z nieużytkowanymi. Wśród łąk nieużytkowanych dominowały siedliska zabagnione lub zabagniane.

#### ZBIOROWISKA ROŚLINNE

Na początku badań na łąkach Wysoczyzny Bełchatowskiej występowały wartościowe, wielogatunkowe zbiorowiska trawiaste. Obniżenie poziomu pratotechniki w okresie badań nie spowodowało degradacji zbiorowisk łąkowych, chociaż zmniejszył się w runi udział traw wartościowych rolniczo, z niewiele mniejszym ogólnym udziałem traw (rys. 2, tab. 2). Udział roślin z grupy ziół i chwastów oraz turzyc, sitów i skrzypów powiększył się w niewielkim stopniu.

W Kotlinie Szczercowskiej na początku badań również występowały wielogatunkowe, wartościowe zbiorowiska, przeważnie trawiaste oraz rzadko ziołowo-trawiaste lub turzycowo-trawiaste i prawie wszystkie były użytkowane. Natomiast w 2001 r. obserwowano dużo większe ich zróznicowanie. W zbiorowiskach trawiastych, podobnie jak na łąkach położonych na glebie mineralnej Wysoczyzny Bełchatowskiej, ubywały trawy rolniczo wartościowe, chociaż w znacznie większym stopniu, oraz zmniejszył się udział traw ogółem. Proces zmniejszania się udziału





Rys. 2. Zmiany udziału grup roślin (%) w zbiorowiskach łąkowych na wybranych stanowiskach badawczych (jak na rys. 1) w trzech grupach siedlisk łąkowych (A, B, C) w latach 1991 (a) i 2001 (b)

Fig. 2. Changes in percentage share of plant groups in grassland communities on selected sites (as in Fig. 1) in the three groups of grassland habitats (A, B, C), in the 1991 (a) and 2001 (b)

**Tabela 2.** Udział grup roślin (%) w zbiorowiskach łąkowych w trzech grupach siedlisk w latach 1991 i 2001

**Table 2.** Percentage share of plant groups in grassland communities according to three habitat groups in the years 1991 and 2001

Grupy roślin Plant groups	A		B		C	
	1991	2001	1991	2001	1991	2001
Trawy bardzo dobre i dobre Superior and fine quality grasses	70–94	43–73	56–95	29–73	18–48	0–9
Trawy średnie i słabe Medium and inferior grasses	1–18	14–37	5–24	18–74	12–34	6–73
Trawy ogółem Grasses total	85–95	80–89	75–100	62–91	43–71	15–73
Motylkowate Legumes	1–2	1–3	0–3	0–8	0–4	0–1
<i>Carex sp.</i> , <i>Juncus sp.</i> , <i>Equisetum sp.</i>	0–1	0–5	0–5	0–7	1–30	26–77
Ziola i chwasty Herbs and weeds	4–13	9–18	0–20	3–36	13–24	1–15

Objaśnienia jak pod tabelą 1. Explanations as in Tab. 1.

traw, w tym traw wartościowych rolniczo, nasilił się szczególnie w siedliskach grupy C, gdzie utrzymywał się wysoki poziom wody gruntowej (tab. 1, rys. 1). Na części stanowisk grup B i C zbiorowiska trawiaste uległy degradacji i w runi dominował śmiałek darniowy *Deschampsia caespitosa* (L.) P. Beauv. (stanowisko Parzno 9) lub kłosówka wełnista *Holcus lanatus* L. (Podwódka 14). W zbiorowiskach grupy C zwiększyły swój udział turzyce i rośliny siedlisk mokrych i bagiennych (tab. 2, rys. 2). W obu tych grupach zwiększył się udział zbiorowisk ziołowo-trawiastych i pojawiły się ziołowo-turzycowe.

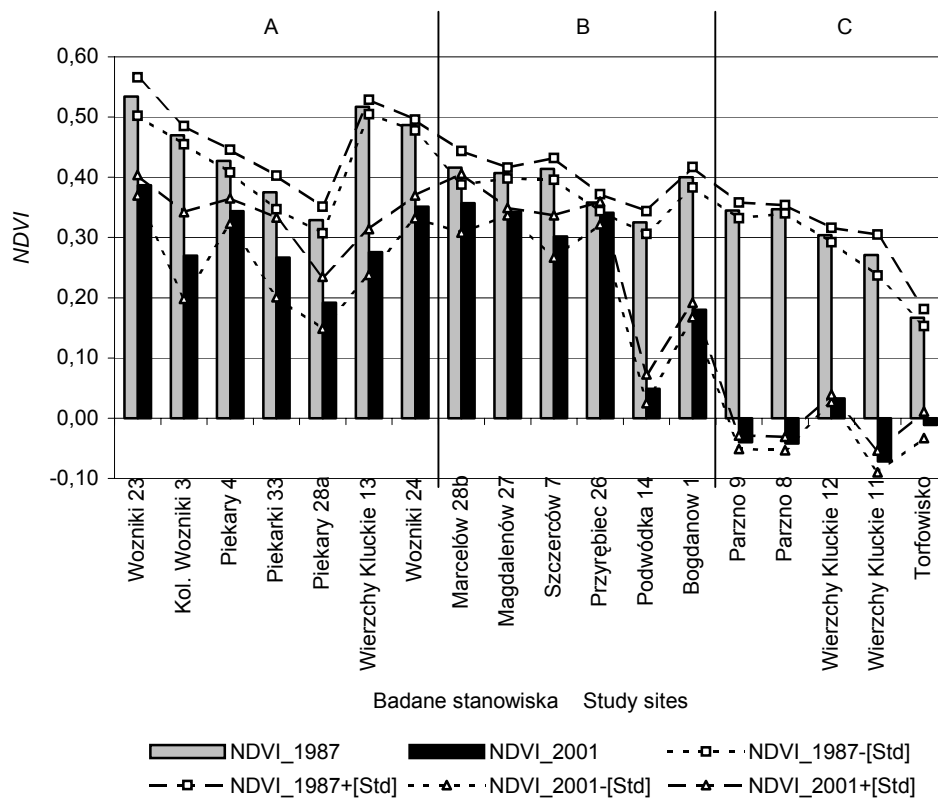
#### WARTOŚCI WSKAŹNIKA *NDVI* W BADANYCH STANOWISKACH

We wszystkich badanych stanowiskach obniżył się również poziom plonowania [KOZŁOWSKA, 2002], jako wynik niższego poziomu pratotechniki i związanego z tym zmniejszania się udziału traw wartościowych rolniczo, tworzących zwykle główną biomasę na użytkach zielonych. To obniżenie poziomu plonowania łąk potwierdzają również wartości wskaźnika *NDVI* w badanych stanowiskach obliczone dla lat 1987 i 2001. Były one mniejsze w roku 2001 niż 1987 (rys. 3), bowiem korelują z wielkością biomasy na użytkach zielonych [DĄBROWSKA-ZIELIŃSKA, 1995; KOZŁOWSKA, 1995; KOZŁOWSKA i in. 2000].

Wartości *NDVI* dla badanych stanowisk w 1987 r., niezależnie od ich położenia w mezoregionie oraz rodzaju siedliska, zawierały się w przedziale od 0,27 do 0,53, natomiast na torfowisku wynosiły tylko 0,17. Wartości *NDVI* dla łąk użytkowanych, zarówno w siedliskach o glebach mineralnych jak i organicznych, były bardzo zbliżone: w większości mieściły się w przedziale 0,30–0,50 (rys. 3). Największe – uzyskano w tych stanowiskach, które w 1991 roku charakteryzowały się bardzo żywotnymi zbiorowiskami trawiastymi zarówno na glebach mineralnych (Woźniki 23) jak i organicznych (Wierzchy Kluckie 13). Najmniejsze wartości *NDVI* zanotowano na łące o niższym udziale traw wartościowych rolniczo oraz najwyższym położeniu poziomu wody gruntowej (Wierzchy Kluckie 11).

Zmniejszenie wartości *NDVI* w 2001 r. wystąpiło we wszystkich badanych stanowiskach, ale największe w stanowiskach grupy C (rys. 3), w których najbardziej podniósł się poziom wody gruntowej i zaszły największe zmiany w składzie botanicznym, tj. wypadły prawie wszystkie gatunki wartościowych rolniczo traw (tab. 2, rys. 2). Dowodzi to także zależności wartości wskaźnika *NDVI* od składu botanicznego i poziomu wody gruntowej.

Na początku lat 90. na podstawie zdjęcia satelitarnego z 1987 r., wzmocnionego radiometrycznie przez zespół pracowników IGiK, odszukano w terenie łąki bardzo dobre, dobre, średnie i słabe [KOZŁOWSKA, ROGOWSKI, 1991]. Było to możliwe, ponieważ nie zmienił się w większym stopniu ani poziom użytkowania łąk i pastwisk ani dbałość o urządzenia melioracyjne w latach 80. i na początku lat 90. Poziom plonowania łąk na początku lat 90. był związany z wartością *NDVI* na



Rys. 3. Wartości *NDVI* dla wybranych stanowisk badawczych w trzech grupach siedlisk łąkowych (A, B, C) – ze zdjęć satelitarnych wykonanych w terminach: 1987-05-03 i 2001-05-01

Fig. 3. *NDVI* values for selected study sites according to the three habitat groups of grassland habitats (A, B, C) – based on the satellite images taken on the following dates: 1987-05-03 and 2001-05-01

zdjęciu wykonanym w 1987 r. [KOZŁOWSKA, 1995]. Jednak już od 1992 r. pojawiły się, początkowo pojedynczo, a od 1995 r. coraz liczniej, nieużytkowane działki łąk. W tym czasie obniżył się również poziom konserwacji urządzeń melioracyjnych, co spowodowało zróżnicowanie uwilgotnienia łąk w dolinie. Z tego względu obecnie nie ma możliwości identyfikacji poziomu użytkowania i uwilgotnienia łąk odwzorowanych na zdjęciach wykonanych o kilka lat wcześniej, gdyż zmiany zarówno w użytkowaniu jak i uwilgotnieniu zachodzą zbyt szybko. Najczęściej obserwuje się zaniechanie użytkowania łąk, a sporadycznie tylko przywracanie ich do produkcji. Natomiast zaniedbanie konserwacji urządzeń melioracyjnych powoduje zróżnicowanie się uwilgotnienia łąk.

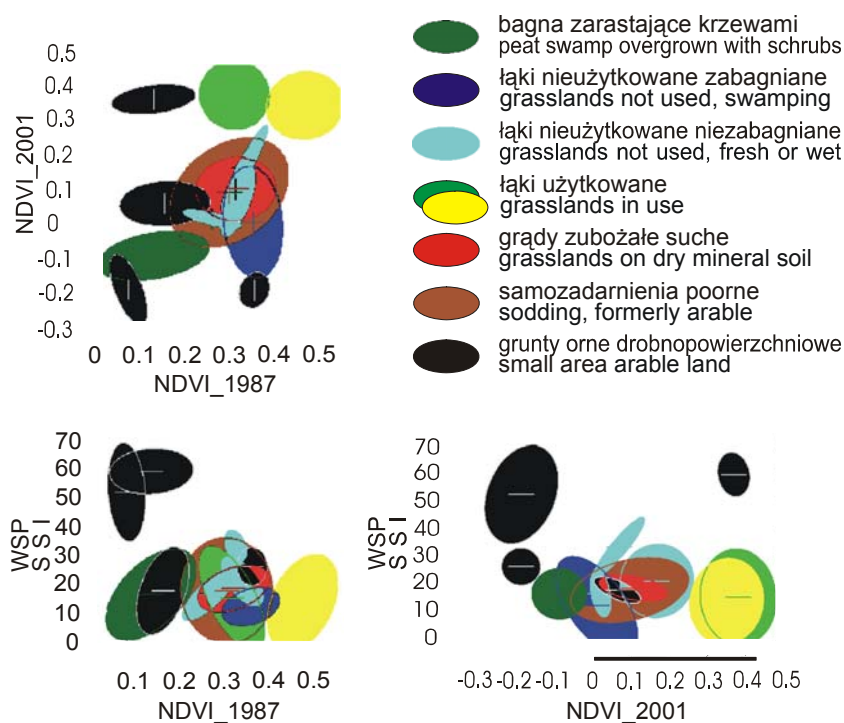
### ANALIZA KOMPOZYCJI W BARWACH NIERZECZYWISTYCH

W poprzedniej części przedstawiono analizę zależności odbicia spektralnego zdjęcia satelitarne od roślinności i poziomu wody gruntowej z perspektywy stanowiska badawczego, czyli na powierzchni odpowiadającej kilku pikselom, tj. około 0,5 do 1,0 ha (powierzchnia jednego piksela wynosi  $30\text{ m} \times 30\text{ m} = 900\text{ m}^2$ ). Na podstawie wyników ze stałych stanowisk badawczych oraz obserwacji marszrutowych interpretowano przetworzone zdjęcia satelitarne. Przetworzenia zdjęć satelitarnych dokonano podanymi metodami. Utworzono kompozycję barwną na powierzchni odpowiadającej w przybliżeniu dwóm mezoregionom: Wysoczyźnie Bełchatowskiej i Kotlinie Szczercowskiej (rys. 4 – ze względów edycyjnych oryginalną mapę w skali 1:50 000 zmniejszono do skali ok. 1:120 000). Powstała kompozycja składa się z trzech warstw informacyjnych: *NDVI\_1987*, *NDVI\_2001* i wskaźnika struktury pasowej (wz *NDVI*). Wskaźnik ten podkreśla równoległy układ działek rolnych.

Na kompozycji wyróżniają się kolorystycznie różne formy użytkowania ziemi. Powierzchnie leśne zobrazowane są ciemnymi odcieniami zieleni (z przewagą drzew iglastych) i zielonobrazowymi (z przewagą drzew liściastych). Dość wyraźnie widać linie podziału powierzchniowego. Większość łąk i pastwisk odwzorowana jest w kolorze żółtym, a dużo mniej w jasnej zieleni lub od koloru sieni, aż po róż indyjski (nazwy barw przyjęto w miarę możliwości wg zestawu kolorów standardowych pakietu ERDAS IMAGINE). Pola orne tworzą mozaikę plam o różnych barwach, głównie czerwopurpurowej, niebieskiej, niebieskozielonej i żywej zieleni, wody otwarte w kolorze czarnym, a tereny zabudowane w niebiesko-czarnym. Wyróżniają je cechy strukturalne (kompleks zabudowy i zieleni miejskiej), kształt i wzajemne usytuowanie w przestrzeni (linie dróg łączące tereny zabudowane, stawy oddzielone liniami grobli).

Wyniki analizy zmienności wskaźników odpowiadających trzem barwom składowym kompozycji przedstawiono na rysunku 5. w postaci skupień (klastrów) dwuwymiarowych histogramów. Poprzez analizę klastrów reprezentujących poszczególne formy użytkowania ziemi weryfikujemy możliwość ich rozróżnienia za pomocą prezentowanej metody przetwarzania zdjęć satelitarnych. Bagna zarastające krzewami różnią się od użytków zielonych niskimi wartościami *NDVI*; od gruntów ornyczych można je oddzielić na podstawie kombinacji *NDVI* z 2001 r. i wskaźnika struktury pasowej (obie wartości stosunkowo niskie).

Łąki użytkowane, w obu terminach (1987 i 2001) odwzorowane są głównie w kolorze żółtym, rzadziej jasnej zieleni. Charakteryzują się one wysokimi wartościami *NDVI* i niską wartością wskaźnika struktury pasowej (rys. 5). Kolor żółty łąk użytkowanych uzyskano przy wysokich wartościach *NDVI* w obu terminach (średnio: 0,46 w 1987 r. i 0,35 w 2001 r.) – rys. 3. Powiązany był ze stanowiskami zlokalizowanymi na najlepszych łąkach, z dużym udziałem wartościowych rolni-



Rys. 5. Próba scharakteryzowania wybranych form użytkowania ziemi poprzez wartości *NDVI* z dwóch terminów (1987-05-03 i 2001-05-01) i wskaźnika struktury pasowej (*WSP*). Klastry łąk użytkowanych przedstawiono w barwach zbliżonych do ich reprezentacji na rysunku 4.

Fig. 5. An attempt to describe land use forms by the values of *NDVI* calculated from two terms (1987-05-03 and 2001-05-01) and strip structure index (*SSI*). Clusters of productive used grasslands shown in colors close to their representation shown on Fig. 4

czo traw w zbiorowisku (tab. 2, rys. 2). Stanowiska te są położone na wschód od Bełchatowa (nr 23, 24, 3, 4) oraz na zachód (27, 7 i 28b) (rys. 4).

W kompleksie łąk użytkowanych oddanych kolorem żółtym spotyka się łąki również użytkowane, ale zobrazowane w kolorze jasnej zieleni (stanowisko 28a, grupa siedliskowa A, rys. 1 i 2). Łąki te w 1987 r. charakteryzowały się okresowo niewłaściwym (nadmiernym lub niedostatecznym) uwilgotnieniem i niższymi wartościami *NDVI* w porównaniu do łąk użytkowanych, ale zobrazowanych w kolorze żółtym. Wartości *NDVI* podobne do stanowiska 28a (Wysoczyzna Bełchatowska) uzyskano w stanowisku 14, ale ze względu na stosunkowo małą jego powierzchnię i pasowy układ działek użytkowanych i nieużytkowanych trudno było wyróżnić jasną zieleń. W tym przypadku okazało się, że powierzchnia piksela jest zbyt duża (30 m x 30 m) i nie oddaje w pełni całego zróżnicowania występującego na łąkach.

Łąki nieużytkowane odwzorowane są w kolorach: brunatno-zielonym, różu indyjskiego, sieni, oliwkowym, brudnoróżowym, brunatnym i zielonkawym (rys. 4).

Duża różnorodność barw wynika z bardzo zróżnicowanych warunków siedliskowych, przede wszystkim uwilgotnienia. Łąki te według wzrastających wartości *NDVI* z 2001 r., układają się w szereg wilgotnościowy: 1 – bagna zarastające krzewami, 2 – łąki nieużytkowane zabagniane, 3 – łąki nieużytkowane niezabagniane. Kategorie w szeregu wilgotnościowym są wprawdzie trudne do odróżnienia na podstawie wartości *NDVI\_2001*, jednak wizualnie wydzielają się dzięki charakterystycznej strukturze obrazu.

Bagna zarastające krzewami można zidentyfikować na podstawie niskich (a nawet ujemnych) wartości *NDVI* z obu terminów (0,14 w 1987 r. i – 0,09 w 2001 r.). Dodatkowym kryterium wyróżniającym bagna jest obecność niebieskich plam na wyrobiskach potorfowych.

Łąki nieużytkowane zabagnione i niezabagnione (druga i trzecia kategoria w szeregu wilgotnościowym) oddane są w kolorach różu indyjskiego, sieni, oliwkowym i brudnoróżowym. Łąki niezabagniane wyróżniają się jako kompleks struktur pasowych o charakterystycznej kombinacji barw (rys. 4, na zachód od Bełchatowa i od stanowiska 14), natomiast łąki zabagniane przyjmują strukturę plamistą (na zachód od Bełchatowa, stanowiska 12, 11, 8, 9 – rys. 4).

Grądy zubożałe suche widoczne są jako struktury plamiste i oddane są kolorami zielonkawym i brunatnym. Z jednej strony są trudne do odróżnienia od średnich i słabych łąk, ale o różnym uwilgotnieniu, a z drugiej – są nie do odróżnienia od samozadarnień porolnych. Grądy zubożałe i samozadarnienia gruntów rolnych charakteryzują się na kompozycji barwnej współwystępowaniem plam o barwach odpowiadających różnym stopniom posuszości i różnym stadiom sukcesji zbiorowisk darniowych. Grądy zubożałe charakteryzowały się zbliżonymi wartościami *NDVI* w 1987 r. do łąk użytkowanych oddanych w kolorze jasnej zieleni oraz dużym obniżeniem wartości *NDVI* w 2001 r. (rys. 5), co umożliwiło ich wydzielenie. Jednak postawienie wyraźnej granicy pomiędzy słabszymi łąkami użytkowymi (jasna zieleń) a grądami zubożałymi suchymi (kolor zielonkawy) jest dosyć trudne, gdyż grądy zubożałe zajmują stosunkowo małe powierzchnie, reprezentowane na zdjęciu tylko przez kilka pikseli. Duże obniżenie wartości *NDVI* w 2001 r. na nieużytkowanych polach ornych i suchych grądach zubożałych może wynikać z zaniedbania użytkowania oraz samozadarniania pól ornych i ich upodabniania się do suchych łąk grądowych (rys. 5). Efektem tego były trudności odróżnienia jednych od drugich.

Odróżnianie wśród łąk nieużytkowanych siedlisk mokrych i zabagnianych od umiarkowanie wilgotnych jest możliwe jedynie na podstawie analizy cech strukturalnych obrazu. Struktura pasowa i kolor oliwkowy na przemian z jasno beżowo-żółtym i pomarańczowym odzwierciedla pasowy układ użytkowania łąk. W terenie często spotyka się pasy łąk użytkowanych na przemian z nieużytkowanymi, o uwilgotnieniu umożliwiającym ich rolnicze użytkowanie. Natomiast układ plamisty i barwa sieni po czerwień odzwierciedla naturalne zróżnicowanie warunków

siedliskowych, w tym przypadku wyróżniają się plamy łąk nadmiernie uwilgotnionych i zabagnionych.

W siedliskach o żyznych glebach mineralnych (Wysoczyzna Bełchatowska) sporadycznie występowały łąki nieużytkowane o dużym uwilgotnieniu wiosną. Łąki te były zdominowane przez trzcinnika lancetowatego *Calamagrostis canescens* (Weber) Roth (około 80%), który wiosną rozwija się późno i powoli. Zostały więc wyjątkowo odwzorowane w kolorze zielonym o tonacji bardzo podobnej do samozadarnień na gruntach ornych. Łąki te (nieużytkowane), zmiennie uwilgotnione (okresowo mokre lub suche) w okresie wykonywania zdjęć satelitarnych były przykryte dużą, uschniętą biomasa, która na klastrach odwzorowała się podobnie jak samozadarnienia gruntów ornych, gdyż wartości *NDVI* w 2001 r. w obu przypadkach były zbliżone (ok. 0,12).

Pola uprawne drobnopowierzchniowe tworzą na kompozycji mozaikę plam, a raczej pasów o różnych barwach, z przewagą czerwonopurpurowej, niebieskiej, niebieskozielonej i żywej zieleni. W większości przypadków różnią się od użytków zielonych niższymi wartościami *NDVI* i często wyższymi wartościami wskaźnika struktury pasowej (rys. 5). Najwyższe wartości tego wskaźnika odpowiadają barwom: niebieskozielonej i czerwonopurpurowej. Udział struktur o takich barwach w mozaice przestrzennej jest charakterystyczny dla gruntów ornych drobnopowierzchniowych. Spośród nich łatwo wydzielają się grunty orne wielkopowierzchniowe. Odróżnienie obrazu łąk od pól uprawnych możliwe jest przede wszystkim dzięki odmiennym jego cechom strukturalnym, głównie struktury pasowej.

Pola uprawne wielkopowierzchniowe różnią się od podobnych kolorystycznie łąk nieużytkowanych (kolor pomarańczowy) lub łąk użytkowanych, ale okresowo nadmiernie lub niedostatecznie wilgotnych (zielen) przede wszystkim zgeometryzowanym kształtem, podczas gdy łąki mają granice nieregularne i często rozmyte.

Samozadarnienia gruntów ornych występują jako pasowe lub plamiste układy w kolorze pomarańczowym, zielonkawym i brunatnym. Niejednorodność kolorystyczna samozadarnień wynika z różnego okresu zaniechania uprawy i zróżnicowanego rozwoju zbiorowisk trawiastych oraz nalotów drzew i upraw leśnych. Samozadarnienia gruntów ornych różnią się wyraźnie od lasów, których zobrazowania mają bardziej wyrównaną zielen z wyraźnymi liniami podziału powierzchniowego. Samozadarnienia te również dobrze kolorystycznie odróżniają się od pól ornych, gdyż mają inną skalę barw i strukturę. Jednak trudności mogą wystąpić w oddzieleniu ich z jednej strony od łąk użytkowanych z okresowym nadmiarem lub niedoborem wilgoci oraz upraw polowych wielkopowierzchniowych (oddane w kolorze zieleni), a z drugiej – od łąk nieużytkowanych zabagnianych i bardzo suchych (grądów zubożałych). Grądy zubożałe suche trudno odróżnić od samozadarnień porolnych, gdyż ich zmienności sezonowe odbicia spektralnego są bardzo podobne, a czasami nawet identyczne.

## PODSUMOWANIE

W pracy przedstawiono metodę analizy wartości wskaźnika *NDVI* i jego przestrzennego rozkładu w celu interpretacji przeobrażeń roślinności łąkowej pod wpływem zmian użytkowania i zmiany warunków wodnych. Metoda ta może być wykorzystana w monitoringu zmian zachodzących w zbiorowiskach i siedlisk łąkowych.

Dotychczas była znana zależność wartości wskaźnika *NDVI* od wielkości biomasy [TÜCKER, 1979], natomiast w tej pracy wykazano związek wartości wskaźnika *NDVI* z uwilgotnieniem siedlisk łąkowych oraz poziomem użytkowania zbiorowisk łąkowych.

Najwyższe wartości wskaźnika *NDVI* uzyskano dla siedlisk umiarkowanie wilgotnych i okresowo posusznych. Zarówno zwiększanie jak i zmniejszanie uwilgotnienia siedlisk łąkowych powodowało obniżanie wartości *NDVI*. Wysokie wartości wskaźnika *NDVI* związane były również z rolniczo wartościowymi zbiorowiskami łąkowymi, w tym z dużym udziałem traw rolniczo wartościowych. Zmniejszenie ich udziału powodowało spadek wartości wskaźnika *NDVI*.

Istnienie zależności między wartością wskaźnika *NDVI* a uwilgotnieniem siedlisk i składem botanicznym zbiorowisk łąkowych potwierdza bardzo dużą przydatność tego wskaźnika do badań relacji wielkości odbicia spektralnego, siedliska i roślinności, chociaż trzeba pamiętać, że wartości wskaźnika *NDVI* nie wykazują zależności od rodzaju gleb. Zarówno na glebach mineralnych jak i organicznych uzyskano niskie oraz wysokie wartości wskaźnika *NDVI*.

Na fotomapie w skali 1:50 000 (rys. 4) wyróżniono łąki oraz pozostałe podstawowe formy użytkowania ziemi: lasy, wody, tereny zabudowane, drogi, pola orne. W takiej skali opracowania kartograficznego dokładne oddzielenie łąk od gruntów ornych na powszechnie stosowanych kompozycjach kanałów Landsat 4,5,3 nie zawsze jest możliwe [PAWLAK, 1999], ponieważ wartości *NDVI* częściowo się pokrywają. Na oddzielenie tych dwóch form użytkowania pozwoliło dopiero zastosowanie wskaźnika struktury pasowej. Wydzielono łąki, następnie podzielono je na rolniczo użytkowane i nieużytkowane. Wśród łąk nieużytkowanych, wyróżniono 1) łąki zabagniane i bagienne oraz 2) łąki niezabagnione, na których zaniechano rolniczego użytkowania z innych względów niż nadmierne uwilgotnienie.

Grądy zubożałe suche, odwzorowały się podobnie jak samozadarnienia gruntów ornych. Najtrudniejsze do wydzielenia są układy występujące na pograniczu, mające cechy pośrednie, nawiązujące do dwóch różnych formacji roślinnych. Do takich użytków należą grądy zubożałe suche o cechach zarówno użytków zielonych jak i pól ornych.

Samozadarnienia gruntów ornych wraz z grądami zubożałymi suchymi wydzielono jako odrębną kategorię. Nie można jednoznacznie odróżnić samozadarnień gruntów ornych od łąk zabagnianych, gdyż na początku wegetacji (w maju) mają one bardzo zbliżone wartości *NDVI*. Zaniechanie użytkowania gruntów ornych i



łąk zabagnianych powoduje zatarcie różnic pomiędzy poszczególnymi działkami i zanik struktury pasowej. I w tym przypadku również zastosowanie wskaźnika struktury pasowej nie daje możliwości rozdzielenia tych dwóch grup.

Wskaźnik struktury pasowej uzyskany po filtracji kierunkowej pozwala na dokładniejsze oddzielenie:

- pól od łąk,
- łąk nieużytkowanych niezabagnionych od nieużytkowanych zabagnionych.

## LITERATURA

- BARANOWSKA T., 2002. Wprowadzenie. W: *Koncepcja mapy użytkowania ziemi w skali 1:50 000 dla obszaru Polski*. IGiK seria monograficzna nr 4 s. 7–10.
- CIOŁKOSZ A., POŁAWSKI Z., 1980. Mapa użytkowania ziemi w skali 1:250 000 sporządzona za pomocą wizualnej klasyfikacji treści obrazów satelitarnych. W: *Zastosowanie teledetekcji w badaniach środowiska geograficznego*. Warszawa–Łódź: PWN s. 282–292.
- DĄBROWSKA-ZIELIŃSKA K., 1995. Szacowanie ewapotranspiracji wilgotności gleb i masy zielonej łąk na podstawie zdjęć satelitarnych NOAA. *Pr. Geogr.* nr 165 ss. 82.
- KONDRACKI J., 2002. *Geografia regionalna Polski*. Warszawa: PWN ss. 441.
- 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* z. 13b s. 387–395.
- KOZŁOWSKA T., 1995. Próba wykorzystania zdjęć satelitarnych do określania plonowania użytków zielonych. W: *Kierunki rozwoju łąkarstwa na tle aktualnego poziomu wiedzy w najważniejszych jego działach*. Ogólnopolska konferencja łąkarstwa, Warszawa, 27–28.09.1994. Warszawa: Wydaw. SGGW s. 237–245.
- KOZŁOWSKA T., 2002. Rozpoznanie zbiorowisk łąkowych w siedliskach grądowych i murszowiskowych oraz ich plonowanie. *Fragm. Agron.* nr 2 (74) s. 224–235.
- 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. *Bibl. Wiad. IMUZ* 95. Falenty: Wydaw. IMUZ ss. 111.
- KOZŁOWSKA T., KOSIŃSKI K., SZYMCZAK R., 2003. Metoda badania przestrzennych zmian warunków siedliskowych i zbiorowisk łąkowych przy pomocy zdjęć satelitarnych w rejonie Szczercowa. W: *Geograficzne aspekty globalizacji i integracji Europejskiej*. Opole: Polskie Towarzystwo Geograficzne, Uniwersytet Opolski s. 197–202.
- KOZŁOWSKA T., ROGOWSKI W., 1991. Ocena możliwości zastosowania teledetekcji do inwentaryzacji użytków zielonych. W: *Referaty i doniesienia naukowe na seminarium podsumowującym badania i wdrożenia w CPBR – 10.2.3*. Falenty, kwiecień 1991 s. 25–35.
- PAWLAK A., 1999. Mapa pokrycia terenu opracowana według propozycji czwartego poziomu legendy CORINE Land Cover a zróżnicowanie środowiska dla arkusza N-34-106-D. *Fotointerpretacja w geografii. Problemy telegeoinformacji* nr 30 s. 41–61.
- POŁAWSKI Z. F., 2002. *Koncepcja i zakres tematyczny szczegółowej mapy użytkowania ziemi w skali 1:50 000*. W: *Koncepcja mapy użytkowania ziemi w skali 1:50 000 dla obszaru Polski*. IGiK seria monograficzna nr 4 s. 59–78.
- PROŃCZUK J., 1982. *Podstawy ekologii rolniczej*. Warszawa: PWN ss. 348.
- TÜCKER C. J., 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment* 8 s. 127–150.

*Teresa KOZŁOWSKA, Krzysztof KOSIŃSKI, Renata KWIECIEŃ, Wanda ZIAJA*

**NDVI INDEX APPLICATION TO DISTINGUISH GRASSLANDS  
OF DIFFERENT PRODUCTIVE USE AND SOIL-MOISTURE**

*Key words: distinguishing, satellite image, used and not used grassland*

**S u m m a r y**

The study has been conducted in the Middle-Poland Lowland in two adjacent regions: Szczerców Basin and Belchatów Upland, in the years 1991–2001. Seventeen study sites were established on reclaimed grasslands, representative for three habitat groups: A – fresh and occasionally drying grasslands on mineral soils, B – fresh and occasionally drying grasslands on organic soils, C – excessively moist and wet grasslands on organic soils. Soil type, ground water level and floral structure have been specified.

A satellite map has been constructed from two Landsat images taken in the beginning of May, in the years: 1987 and 2001. A composition of the three color components have been constructed: 1) *NDVI* index calculated for the year 1987, 2) *NDVI* index for the year 2001, 3) strip structure index. The strip structure index has been calculated from the two *NDVI* indexes in double-step processing: 1) calculation of *NDVI* change index, 2) directional and low pass filtering. Field studies have been applied to interpret the satellite map. The results of interpretation have been verified on the basis of two-dimensional clusters that were identified for the indexes used as color components.

The image processing method enables to distinguish 11 land use forms. Strip structure index emphasis the strip farms and grasslands in use. This allows to distinguish more precisely the land use forms e.g. grasslands in use, not used swamping grasslands and fresh and wet grasslands not used.

---

**Recenzenci:**

*prof. dr hab. Andrzej Ciolkosz*

*prof. dr hab. Janusz Ostrowski*

Praca wpłynęła do Redakcji 26.01.2004 r.

**Tabela 1.** Poziom wody gruntowej (cm) w I i II odroście w trzech grupach użytków zielonych w latach 1991–2001

**Table 1.** Ground water level (cm) at the time of I and II cut in three categories of grasslands in the years 1991–2001

Grupa siedliskowa Habitat group	Typ gleby Soil type	1991		1995		1999		2001	
		I	II	I	II	I	II	I	II
A	E	81–110	55–85	65–80	83–116	80–90	95–110	77–120	11–35
B	Mt	70–95	30–63	40–70	60–67	40–64	25–60	33–63	7–44
C	Mt/Mr	40–70	+10–35	14–37	50–67	17–38	+9–60	2–44	+20–3

Objaśnienia: A – użytki zielone umiarkowanie wilgotne i okresowo posuszne na glebach mineralnych (Wysoczyzna Bełchatowska), B – użytki zielone umiarkowanie wilgotne i okresowo posuszne na glebach organicznych (Kotlina Szczercowska), C – użytki zielone nadmiernie uwilgotnione na glebach organicznych (Kotlina Szczercowska); I, II – odrosty; „+” – poziom wody gruntowej powyżej powierzchni terenu

Explanations: A – fresh and occasionally drying grasslands on mineral soils (Bełchatów Upland), B – fresh and occasionally drying grasslands on organic soils, C – excessively moist and wet grassland on organic soils (Szczerców Basin); I or II cut; “+” – water-level above the ground surface

Rys. 4. Formy użytkowania ziemi w Kotlinie Szczercowskiej i na Wysoczyźnie Bełchatowskiej. Kompozycja barwna wartości wskaźnika *NDVI* ze zdjęć landsatowskich wykonanych w dwóch terminach (1987 – składowa czerwona, 2001 – składowa zielona) i wskaźnika struktury pasowej (składowa niebieska)

Fig. 4. Land use forms in the Szczerców Basin and Bełchatów Upland. Color composition of *NDVI* value index calculated from Landsat images taken twice (1987 – red component, 2001 – green component) and the strip structure index (blue component)