

Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska nr 64, 2014: 150–160  
(Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ. 64, 2014)  
Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences No 64, 2014: 150–160  
(Sci. Rev. Eng. Env. Sci. 64, 2014)

**Krzysztof BARTOSZEK**

Katedra Technologii Produkcji Roślinnej i Towaroznawstwa, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie  
Department of Plant Production Technology and Commodities, University of Life Sciences in Lublin

## **Wykorzystanie teledetekcji satelitarnej do monitorowania wzrostu i rozwoju rzepaku ozimego\***

### **The use of satellite remote sensing to monitor the growth and development of the winter oilseed rape**

**Słowa kluczowe:** rzepak ozimy, wskaźniki wegetacyjne, teledetekcja satelitarna, MODIS  
**Key words:** winter oilseed rape, vegetation indices, satellite remote sensing, MODIS

#### **Wprowadzenie**

Zjawisko odbicia promieniowania słonecznego (z zakresu widzialnego lub bliskiej podczerwieni) od części naziemnych roślin wykorzystuje się m.in. do oszacowania stanu uprawy roślin w różnych fazach ich rozwoju. Obecnie dominują pomiary naziemne, gdzie na polach doświadczalnych stosuje się różnego rodzaju spektrometry, a na podstawie wartości współczynników odbicia

fal wyznacza się tzw. wskaźniki wegetacyjne, np. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Red Edge Inflection Point (REIP), Relative Reflectance Index (RRI), Simple Ratio (SR), Photochemical Reflectance Index (PRI).

Rozwój technik satelitarnych w ostatnich latach umożliwił wykorzystywanie informacji na temat odbicia promieniowania elektromagnetycznego w różnych zakresach długości fal, pozwalając określać jednoczesną aktywność fotosyntetyczną roślin na obszarach o dużej powierzchni. Techniki te znalazły zastosowanie m.in. w monitorowaniu dynamiki wzrostu i rozwoju lasów w północno-wschodniej Australii (Bhandari, Phinn i Gill, 2011), określaniu zasięgu procesu pustynnienia na obszarze Kenii (He, Wang i Bie, 2013), detekcji zmian produkcji pierwotnej net-

\*Praca została wykonana w ramach projektu badawczego Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego nr N N310 448738 realizowanego w latach 2010–2011.

to w południowo-wschodnich Chinach (Peng i inni, 2010), przestrzennej zmienności pokrywy śnieżnej na terenie zlewni górnej Biebrzy (Berezowski i Chormański, 2011) oraz predykcji plonów roślin uprawnych w Polsce (Dąbrowska-Zielińska, Kogan i Ciołkosz, 2002).

Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) jest wielospektralnym skanerem znajdującym się na satelitach obsługiwanych przez National Aeronautics and Space Administration (NASA). Dane pochodzące z tego instrumentu były wykorzystane m.in. w szacowaniu plonu pszenicy na obszarze południowych Włoch (Maselli, Moriondo, Angeli, Fibbi i Bindi, 2011), plonu kukurydzy w stanie Indiana w USA (Fang, Liang i Gerrit, 2010) oraz w monitorowaniu uprawy soi w południowej Brazylii (Rizzi, Rudolfe, Shimabukoro i Doraiswamy, 2006). Ograniczenia metody satelitarnej, w porównaniu do spektroskopii polowej, to mniejsza rozdzielczość czasowa i przestrzenna oraz zakłócający wpływ atmosfery na uzyskiwane informacje o stanie roślinności.

Celem niniejszej pracy jest ocena możliwości zastosowania teledetekcji satelitarnej do monitorowania wegetacji rzepaku ozimego na przykładzie dwóch wybranych punktów z obszaru Lubelszczyzny.

## Material i metody

W pracy wykorzystano pięć wskaźników wegetacyjnych, których wartości zostały pozyskane z bazy danych NASA (ORNL DAAC, 2011). Wskaźniki te obliczono na podstawie zobrażeń sate-

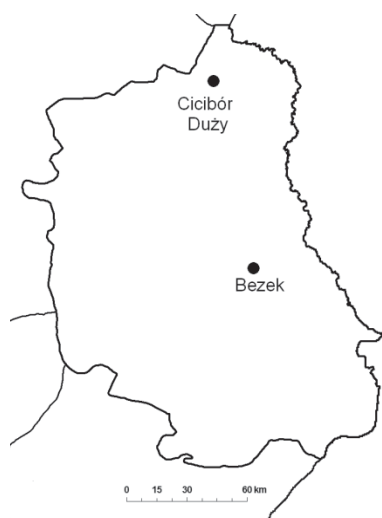
litarnych zarejestrowanych w okresie 2000–2012 przez satelitę środowiskowego Terra, wyposażonego w spektrometr MODIS (produkt MOD13Q1, MOD15A2 i MOD17A2\_51). Do celów porównawczych wartości te zostały podane standaryzacji.

W badaniach zastosowano następujące wskaźniki wegetacyjne:

- Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) – bazujący na różnicy między największym odbiciem promieniowania w paśmie bliskiej podczerwieni i największej absorpcji w paśmie czerwonym. Im większe jest odbicie w podczerwieni i mniejsze w paśmie czerwonym, tym rośliny są bardziej zielone. Duże wartości wskaźnika wiążą się z dużą aktywnością fotosyntetyczną roślin (Jarczyńska i Zagajewski, 2008);
- Enhanced Vegetation Index (EVI) – wyznaczany na podobnych założeniach, jak NDVI, jednakże lepiej odzwierciedla aktualny stan rozwoju roślin, gdyż na uzyskiwane wartości rozpraszanie i odbijanie promieniowania słonecznego w atmosferze mają mniejszy wpływ;
- Leaf Area Index (LAI) – definiowany jako sumaryczna powierzchnia liści mierzona na 1 m<sup>2</sup> powierzchni gleby. Pozwala określić dynamikę wegetacji i pokrycie terenu przez rośliny;
- Fraction of Photosynthetically Active Radiation (fPAR) – stosunek akumulowanego promieniowania fotosyntetycznie aktywnego do łącznego promieniowania bezpośredniego dochodzącego do roślin. Im wskaźnik jest większy, tym więcej energii słonecznej wykorzystują rośliny, a więc wzrasta produkcja biomasy;

- Gross Primary Production (GPP) – produkcja pierwotna brutto, tj. całkowita ilość energii związana przez rośliny w procesie fotosyntezy. Wartości określa się w postaci masy węgla związanego przez rośliny na jednostkę powierzchni w ciągu roku ( $\text{g/m}^2/\text{rok}$ ).

Rozdzielczość czasowa analizowanych zdjęć satelitarnych wynosiła 16 dni, przestrzenna –  $2,25 \times 2,25$  km. Wyselekcjonowano dwa obszary o powierzchni około  $5 \text{ km}^2$ , na których znajdowały się pola doświadczalne rzepaku ozimego (*Brassica napus*), należące do Centralnego Ośrodka Badania Odmian Roślin Uprawnych (COBORU). Jeden z nich położony był w Bezku koło Chełma (punkt centralny obszaru badań:  $51^{\circ}10'55''\text{N}$ ,  $23^{\circ}16'00''\text{E}$ , 224 m n.p.m.), a drugi w Ciciborze Dużym koło Białej Podlaskiej ( $52^{\circ}04'42''\text{N}$ ,  $23^{\circ}06'50''\text{E}$ , 143 m n.p.m. – rys. 1). Do-



RYSUNEK 1. Lokalizacja pól doświadczalnych na obszarze województwa lubelskiego  
 FIGURE 1. Location of experimental fields in the Lublin Voivodeship

świadczania polowe były prowadzone w 4 powtórzeniach na jednym poziomie agrotechniki. W Ciciborze wykonywano je na glebie bielcowej wytworzonej z piasku gliniastego mocnego, a w Bezku na rędzinie mieszanej czarnoziemnej wytworzonej z opoki kredowej.

Wyniki pomiarów i obserwacji roślin rzepaku dotyczyły okresów wegetacji od stycznia 2000 do grudnia 2011 roku. Do badań wybrano odmiany populacyjne i mieszańcowe zarejestrowane przez COBORU, które utrzymywały się w produkcji przynajmniej przez kilka lat. Uśrednione dane dla wszystkich analizowanych odmian odnosiły się do pomiarów biometrycznych (wysokość roślin rzepaku przed zimą) oraz do dat początku kwitnienia roślin<sup>1</sup>. W nawiązaniu do tych charakterystyk zastosowano nieparametryczny test U Manna-Whitneya, który wykazał brak istotnych statystycznie różnic (na poziomie  $\alpha = 0,05$ ) pomiędzy dwoma punktami pomiarowymi.

Okres wegetacji rzepaku ozimego trwa zwykle 10–11 miesięcy, stąd też do oceny warunków termicznych zastosowano klasyfikację kwantylową opracowaną przez Miętusa, Owczarka i Filipiaka (2002), którą odniesiono do wszystkich kalendarzowych pór roku. Wartości temperatury powietrza dotyczyły zbioru danych uzyskanych z posterunków meteorologicznych znajdujących się w pobliżu pól doświadczalnych. Sumy opadów atmosferycznych posłużyły do obliczenia wskaźnika standaryzowanego opadu SPI (Standardized Precipitation Index). Jego wartości pozwoliły dokonać oceny stopnia such-

<sup>1</sup>W celu wykonania obliczeń statystycznych daty początku kwitnienia rzepaku ozimego zamieniono na odpowiadający im numer dnia w roku.

ści kalendarzowych pór roku według klasyfikacji przedstawionej przez Bąka i Łabędzkiego (2002).

W celu określenia współzmienności wartości wskaźników wegetacyjnych z danymi dotyczącymi pomiarów biometrycznych i datami początku kwitnienia rzepaku ozimego zastosowano korelację liniową Pearsona. Istotność statystyczną współczynników korelacji (na poziomie  $\alpha = 0,05$  i  $\alpha = 0,01$ ) sprawdzano testem t-Studenta.

## Wyniki

Analizowane okresy wegetacji rzepaku ozimego charakteryzowały się zróżnicowanym przebiegiem warunków

termicznych w poszczególnych porach roku. W zimie występowały przypadki znacznych, zarówno dodatnich, jak i ujemnych, odchyłeń średniej wartości temperatury powietrza od normy (tab. 1). W pozostałych porach roku, a przede wszystkim w lecie, przeważały okresy cieplejsze niż przeciętnie w wieloletniu 1981–2010.

Na podstawie obliczonych wartości wskaźnika SPI stwierdzono ogólnie niewielką liczbę przypadków występowania silnej suszy meteorologicznej (tab. 1). W okresie 2000–2012 niższe od normy sumy opadów atmosferycznych najczęściej notowano jesienią, najrzadziej zaś zimą i latem.

Na obu stacjach doświadczalnych najwyższe rośliny rzepaku zaobserwo-

TABELA 1. Charakter termiczny oraz ocena stopnia suchości i wilgotności pór roku w analizowanych okresach wegetacji rzepaku ozimego w Bezku i Ciciborze Dużym

TABLE 1. Thermal classification and assess the degree of dryness and humidity of seasons during vegetation period of the winter oilseed rape in Bezek and Cicibór Duży

Okres wegetacyjny Vegetation period	Posterunek meteorologiczny Meteorological station	Charakter termiczny Thermal classification				Stopień suchości Degree of dryness			
		Jesień Autumn	Zima Winter	Wiosna Spring	Lato Summer	Jesień Autumn	Zima Winter	Wiosna Spring	Lato Summer
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2000/01	Bezek	4	2	1	1	-1	1	-1	1
	Cicibór	4	2	1	2	0	0	-1	1
2001/02	Bezek	0	0	5	4	1	-1	-2	0
	Cicibór	1	0	4	4	1	1	-1	-1
2002/03	Bezek	0	-4	0	2	0	-1	0	-1
	Cicibór	-1	-4	0	2	0	-1	-1	-1
2003/04	Bezek	0	-1	-1	-1	-1	1	1	0
	Cicibór	-1	0	-1	0	-1	1	1	0
2004/05	Bezek	3	1	-3	0	-1	0	1	0
	Cicibór	2	1	-3	0	-1	0	0	0
2005/06	Bezek	2	-3	-3	3	-3	0	0	1
	Cicibór	3	-3	-4	3	-2	1	0	2

Tabela 1 cd.  
Table 1 cont.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2006/07	Bezek	5	5	5	4	-2	1	1	1
	Cicibór	5	4	5	3	-1	1	0	0
2007/08	Bezek	-2	3	1	1	0	0	2	0
	Cicibór	-2	3	2	1	-1	0	2	0
2008/09	Bezek	3	0	0	1	1	0	1	1
	Cicibór	4	0	1	1	0	0	0	2
2009/10	Bezek	2	-3	2	4	1	1	0	2
	Cicibór	3	-3	2	5	1	2	1	1
2010/11	Bezek	-1	-1	2	2	1	1	-2	1
	Cicibór	0	-2	2	3	3	1	0	1
2011/12	Bezek	1	-1	3	4	-3	0	-1	0
	Cicibór	2	-1	3	4	-3	0	-1	0

Objaśnienia: Charakter termiczny pory roku: 5 – ekstremalnie ciepła, 4 – anomalnie ciepła, 3 – bardzo ciepła, 2 – ciepła, 1 – lekko ciepła, 0 – normalna, -1 – lekko chłodna, -2 – chłodna, -3 – bardzo chłodna, -4 – anomalnie chłodna, -5 – ekstremalnie chłodna. Ocena stopnia suchości i wilgotności pory roku: 3 – ekstremalnie wilgotna, 2 – bardzo wilgotna, 1 – umiarkowanie wilgotna, 0 – przeciętna, -1 – umiarkowanie sucha, -2 – bardzo sucha, -3 – ekstremalnie sucha/Explanations: The thermal classification of seasons: 5 – extremely warm, 4 – anomaly warm, 3 – very warm, 2 – warm, 1 – slightly warm, 0 – near normal, -1 – slightly cold, -2 – cold, -3 – very cold, -4 – anomaly cold, -5 – extremely cold. The assess the degree of dryness and humidity of seasons: 3 – extremely wet, 2 – very wet, 1 – moderately wet, 0 – near normal, -1 – moderately dry, -2 – very dry, -3 – extremely dry.

wano przed zimą, w okresie wegetacyjnym 2006/07, gdy wystąpiła ekstremalnie ciepła jesień (tab. 1 i 2) i znaczne sumy opadów atmosferycznych w sierpniu (okres siewu). W okresie wegetacyjnym 2002/03 natomiast, w którym przed zimą rośliny była najniższe, sierpień odznaczał się występowaniem niedoborów opadów oraz znaczną liczbą dni gorących ( $t_{\max} > 25^{\circ}\text{C}$ ).

Na późniejszy początek faz rozwojowych wiosną wpływ miały mroźne i śnieżne zimy (2002/03, 2005/06), z kolei na wcześniejszy (np. 2006/07) – anomalnie ciepłe (Bartoszek, 2013). Wartości dotyczące analizowanych cech rzepaku ozimego odznaczały się w badanym okresie wyraźną współzależnością

między obiema stacjami doświadczalnymi (tab. 2).

Przebieg uśrednionych wartości wskaźników wegetacyjnych był zbliżony na obu stacjach doświadczalnych (rys. 2). Największe ich wartości przypadły na okres od końca maja do drugiej dekady czerwca, co oznaczało, że rośliny osiągały wówczas maksymalną aktywność fotosyntetyczną oraz odznaczały się optymalnym wzrostem i rozwojem.

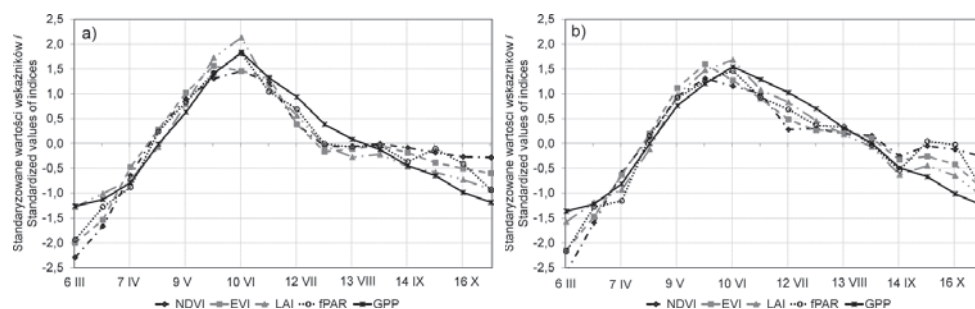
Zahamowanie szybkiego spadku wartości wskaźników wegetacyjnych od ostatniej dekady lipca do połowy sierpnia było najprawdopodobniej spowodowane zmianami w pokryciu gleby (zbiór roślin i przerwa w wegetacji), a w kolejnych tygodniach początkiem wegetacji ozimin.

TABELA 2. Charakterystyki cech wzrostu i rozwoju rzepaku ozimego w okresie 2000/01–2011/12 oraz ocena współzależności między stacjami doświadczalnymi

TABLE 2. Characteristics of the growth and development of winter oilseed rape in the period from 2000/01 to 2011/12 and correlation coefficients between experimental stations

Cechy roślin Characteristics of plants	Stacja doświadczalna Experimental station	Wartości średnie Mean values	Maksimum Maximum	Minimum	Współczynnik korelacji (r) Correlation coefficient (r)
Wysokość roślin przed zimą The plant height before winter [cm]	Bezek	20,8	42,0 (2006/07)	8,6 (2002/03)	0,93**
	Cicibór	19,1	35,2 (2006/07)	8,0 (2002/03)	
Początek kwitnienia The onset of flowering	Bezek	4 V	12 V (2005/06)	26 IV (2006/07)	0,94**
	Cicibór	4 V	14 V (2005/06)	28 IV (2006/07)	

Objaśnienia: \*\* – poziom istotności  $\alpha = 0,01$ ; \* – poziom istotności  $\alpha = 0,05$ . Wartości krytyczne współczynnika korelacji –  $r_{0,05} = 0,573$  oraz  $r_{0,01} = 0,705$ /Explanations: \*\* – significance level  $\alpha = 0.01$ ; \* – significance level  $\alpha = 0.05$ . Critical values of correlation coefficient –  $r_{0,05} = 0.573$  and  $r_{0,01} = 0.705$ .



RYSUNEK 2. Zmienność średnich standaryzowanych wartości wskaźników wegetacyjnych w Bezku (a) i Ciciborze Dużym (b) w okresie od marca do października (2000–2012)

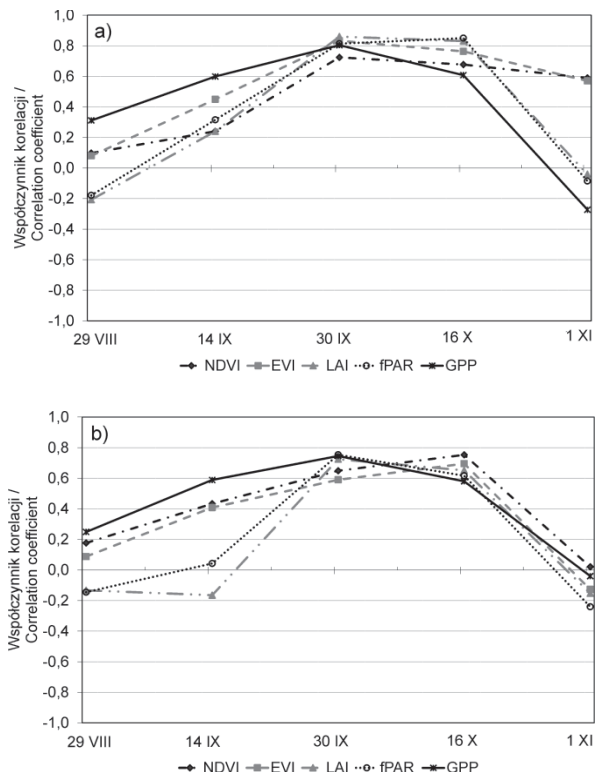
FIGURE 2. Variability of the mean standardized values of vegetation indices in Bezek (a) and Cicibór Duży (b) from March to October (2000–2012)

Bardzo małe wartości wskaźnika GPP jesienią mogły natomiast odzwierciedlać wiązanie niewielkich ilości energii w procesie fotosyntezy przez słabo jeszcze rozwinięte rośliny (rys. 2).

Wysokość roślin rzepaku, zmierzona przed zahamowaniem wegetacji, odznaczała się istotną statystycznie zmiennością z wartościami analizowanych wskaźników wegetacyjnych od

końca września do połowy października (rys. 3; tab. 3).

Charakter przebiegu wartości wskaźników z końca września był w badanym okresie zbliżony w obu stacjach doświadczalnych (rys. 4). Wyraźne ich maksimum wystąpiło w 2006 roku, co odpowiadało również znacznej wysokości roślin rzepaku przed zimą (>30 cm). Mniejsze wartości wskaźników



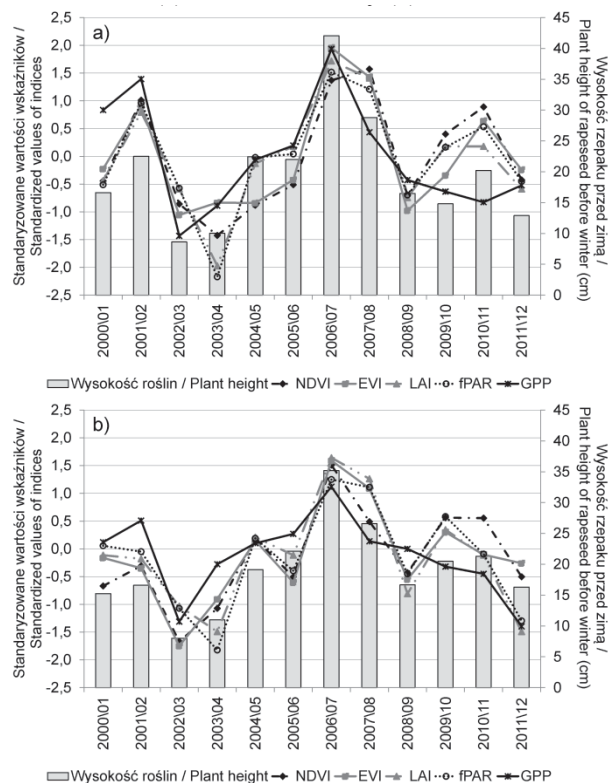
RYSUNEK 3. Zmienność czasowa wartości współczynników korelacji liniowej między wysokością rzepaku przed zimą a wartościami wskaźników wegetacyjnych w Bezku (a) i Ciciborze Dużym (b)  
 FIGURE 3. The temporal variability of correlation coefficients between height of oilseed rape before winter and values of vegetation indices in Bezek (a) and Cicibór Duży (b)

TABELA 3. Współczynniki korelacji między wybranymi cechami wzrostu i rozwoju rzepaku ozimego a wartościami wskaźników wegetacyjnych mierzonych w określonych dniach roku w okresie 2000/01–2011/12 ( $n = 12$ )

TABLE 3. Coefficients of correlation between the selected characteristics of growth and development of winter oilseed rape and values of vegetation indices in specific days from 2000/01 to 2011/12 ( $n = 12$ )

Cechy roślin Characteristics of plants	Daty Dates	Stacja doświadczalna Experimental station	Wskaźniki wegetacyjne/Vegetation indices				
			NDVI	EVI	LAI	fPAR	GPP
Wysokość roślin przed zimą The plant height before winter [cm]	30 IX	Bezek	0,72**	0,83**	0,86**	0,81**	0,81**
		Cicibór	0,65*	0,59*	0,72**	0,75**	0,75**
Początek kwitnienia The onset of flowering	7 IV	Bezek	-0,77**	-0,70*	-0,88**	-0,84**	-0,81**
		Cicibór	-0,81**	-0,72**	-0,75**	-0,74**	-0,90**

Objaśnienia jak pod tabelą 2/Explanations as in Table 2.



RYSUNEK 4. Zmienność wysokości roślin rzepaku przed zimą oraz standaryzowanych wartości wskaźników wegetacyjnych z 30 września w Bezku (a) i Ciciborze Dużym (b)  
 FIGURE 4. The variability of oilseed rape height before winter and standardized values of vegetation indices on 30th September in Bezek (a) and Cicibór Duży (b)

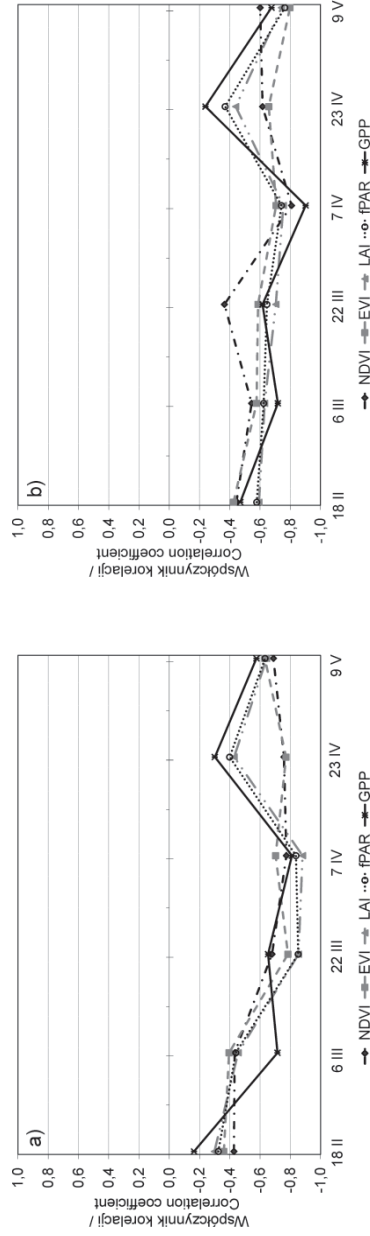
zanotowano pod koniec września w latach 2002 i 2003 – wysokość rzepaku w okresie zahamowania wegetacji wynosiła wówczas jedynie około 10 cm.

Daty początku kwitnienia rzepaku były z kolei wyraźnie skorelowane z dwoma wskaźnikami wegetacyjnymi, tj. NDVI i EVI, których wartości odnosiły się do okresu wczesnowiosennego (rys. 5; tab. 3).

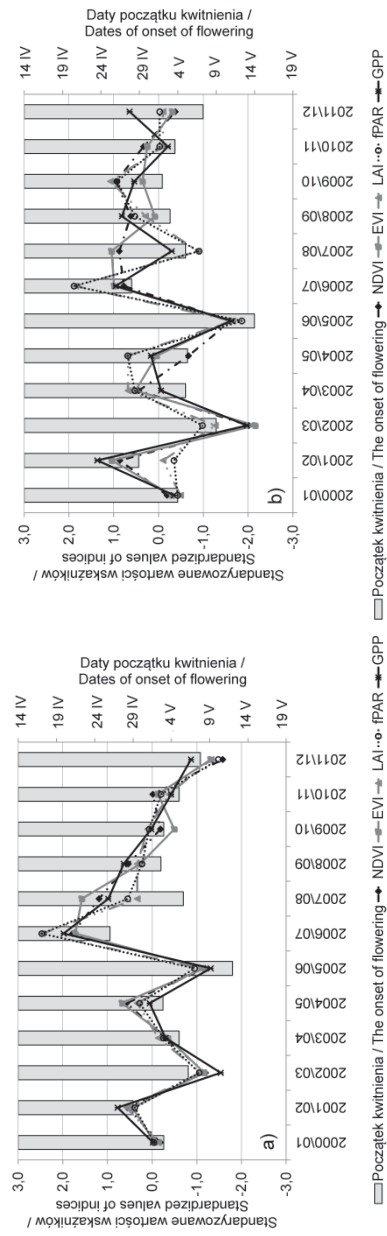
Przebieg dat początku kwitnienia rzepaku w omawianych latach najlepiej obrazowały wartości wskaźników we-

getacyjnych z początku kwietnia (rys. 5 i 6). Zarówno w Bezku, jak i w Ciciborze Dużym, po bardzo chłodnych zimach (2002/03 i 2005/06) zaznaczył się opóźniony rozwój roślin rzepaku, co skutkowało przesunięciem się w czasie początku tej fenofazy. Ekstremalnie ciepła zima i wiosna w sezonie wegetacyjnym 2006/07 (tab. 1) sprzyjała natomiast wczesnemu ruszeniu wegetacji, a więc znacznej aktywności fotosyntetycznej roślin już na początku kwitnienia oraz zakwitaniu rzepaku w trzeciej





RYSUNEK 5. Zmienność czasowa wartości współczynników korelacji liniowej między datami początku fazy kwitnienia rzepaku a wartościami wskaźników wegetacyjnych w Bezku (a) i Cichorze Dużym (b)  
 FIGURE 5. The temporal variability of correlation coefficients between onset of flowering stage and values of vegetation indices in Bezek (a) and Cichor Duży (b)



RYSUNEK 6. Zmienność dat początku fazy kwitnienia rzepaku oraz standaryzowanych wartości wskaźników wegetacyjnych z 7 kwietnia w Bezku (a) i Cichorze Dużym (b)  
 FIGURE 6. The variability of the onset of flowering stage and standardized values of vegetation indices on 7th April in Bezek (a) and Cichor Duży (b)

dekadzie tego miesiąca. Większą zgodność w przebiegu standaryzowanych wartości wskaźników wegetacyjnych wykazywał punkt doświadczalny w Bezku (rys. 6).

## Wnioski

1. Na podstawie wartości wskaźników wegetacyjnych można było w obu punktach doświadczalnych z wyprzedzeniem około miesięcznym próbować określić wysokość rzepaku przed zimą, a także dzień w roku nawiązujący do początku fazy kwitnienia w okresie wiosennym.
2. Dynamika wegetacji roślin, określona przy użyciu teledetekcji satelitarnej, w znacznym stopniu korespondowała z przebiegiem warunków atmosferycznych w okresie poprzedzającym pomiary charakterystyk odbiciowości promieniowania słonecznego. Na przykład słaba kondycja roślin jesienią była obserwowana po gorącym i suchym sierpniu, a w okresie wiosennym po długiej i mroźnej zimie, z kolei znaczne wartości wskaźników wegetacyjnych w maju i czerwcu notowano w latach, gdy wystąpiła bardzo ciepła zima oraz wiosna.
3. Wykorzystane w niniejszej pracy dane mogą stanowić uzupełnienie wyników badań uzyskanych za pomocą spektroskopii polowej, która niewątpliwie charakteryzuje się większą precyzyjnością pomiarów (wykonywanych in situ). Jednakże do ogólnej oceny stanu wegetacji rzepaku ozimego na większym ob-

szarze teledetekcja satelitarna można stanowić jedyne wiarygodne źródło informacji. Wymagana jest jednak kontynuacja tego typu badań, również w odniesieniu do innych ważnych gospodarczo roślin uprawnych.

## Literatura

- Bartoszek, K. (2013). Wpływ warunków meteorologicznych na początek wybranych faz rozwojowych rzepaku ozimego wiosną i latem. *Acta Agroph.*, 20(2), 227-240.
- Bąk, B. i Łabędzki, L. (2002). Assessing drought severity with the relative precipitation index (RPI) and the standardised precipitation index (SPI). *J. Water Land Dev.*, 6, 89-105.
- Berezowski, T. i Chormański, J. (2011). Analiza możliwości wykorzystania zdjęć satelitarnych w celu pozyskania informacji o przestrzennym rozmieszczeniu pokrywy śnieżnej jako parametru w modelu opad-odpływ. *Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ.*, 51, 15-26.
- Bhandari, S., Phinn, S. i Gill, T. (2011). Assessing viewing and illumination geometry effects on the MODIS vegetation index (MOD13Q1) time series: implications for monitoring phenology and disturbances in forest communities in Queensland, Australia. *Int. J. Remote Sens.*, 32(22), 7513-7538.
- Dąbrowska-Zielińska, K., Kogan, F. i Ciołkosz, A. (2002). Modelling of crop growth conditions and crop yield in Poland using AVHRR-based indices. *Int. J. Remote Sens.*, 23(6), 1109-1123.
- Fang, H., Liang, S. i Gerrit, H. (2010). Integration of MODIS LAI and vegetation index products with the CSM-CERES-Maize model for corn yield estimation. *Int. J. Remote Sens.*, 32(4), 1039-1065.
- He, L., Wang, C. i Bie, Q. (2013). Monitoring of desertification dynamic in Kenya during 2001-2010 using MOD13Q1 data. *J. Desert Res.*, 33(1), 46-52.
- Jarocińska, A. i Zagajewski, B. (2008). Korelacje naziemnych i lotniczych teledetekcyjnych wskaźników roślinności dla zlewni Bystrzaneki. *Teledet. Środ.*, 40, 100-124.

- Maselli, F., Moriondo, M., Angeli, L., Fibbi, L. i Bindi, M. (2011). Estimation of wheat production by the integration of MODIS and ground data. *Int. J. Remote Sens.*, 32(4), 1105-1123.
- Miętus, M., Owczarek, M. i Filipiak, J. (2002). Warunki termiczne Pomorza w świetle wybranych klasyfikacji. *Mat. Bad. IMGW, Seria Meteorologia* 35. Warszawa: IMGW.
- ORNL DAAC. (2011). MODIS subsetted land products retrieved from Oak Ridge National Laboratory Distributed Active Archive Center ORNL DAAC Tennessee USA. Pobrano z lokalizacji: <http://daac.ornl.gov/modis/modis.html>
- Peng, D.L., Huang, J.F., Huete, A.R., Yang, T.M., Gao, P., Chen, Y.C., ...Liu, Z.Y. (2010). Spatial and seasonal characterization of net primary productivity and climate variables in southeastern China using MODIS data. *J. Zhejiang Univ. Sci. B.*, 11(4), 275-285.
- Rizzi, R., Rudoife, B.F., Shimabukuro, Y.E. i Doraiswamy, P.C. (2006). Assessment of MODIS LAI retrievals over soybean crop in Southern Brazil. *Int. J. Remote Sens.*, 27(19), 4091-4100.

## Streszczenie

**Wykorzystanie teledetekcji satelitarnej do monitorowania wzrostu i rozwoju rzepaku ozimego.** W artykule przedstawiono ocenę możliwości zastosowania teledetekcji satelitarnej do monitorowania wegetacji rzepaku ozimego na przykładzie dwóch wybranych punktów z obszaru Lubelszczyzny. Do badań wykorzystano pięć wskaźników wegetacyjnych (NDVI, EVI, LAI, fPAR i GPP), których wartości pochodziły z pomiarów wykonywanych w okresie 2000–2012 przez satelitę środowiskowego Terra. Z kolei dane dotyczące wysokości roślin rzepaku przed zimą i dat początku kwitnienia tej rośliny odnosiły się do dwóch obszarów (w rejonie Bezka i Ciciboru Dużego), na których znajdowały się pola doświadczalne Centralnego Ośrodka Badania Odmian

Roślin Uprawnych (COBORU). Uzyskane wyniki wykazały możliwość wykorzystania danych satelitarnych do prognozowania ze znaczną dokładnością obu analizowanych cech rzepaku ozimego. Ponadto na podstawie wskaźników wegetacyjnych stwierdzono, że wzrost i rozwój tej rośliny w znacznym stopniu zależał od przebiegu warunków atmosferycznych.

## Summary

**The use of satellite remote sensing to monitor the growth and development of the winter oilseed rape.** This paper presents an assessment of the applicability of satellite remote sensing data to monitor the growth and development of winter oilseed rape in the Lublin region. The study used five vegetation indices (NDVI, EVI, LAI, fPAR and GPP), whose values were derived from Terra environmental satellite and related to the period between 2000 and 2012. Values of the oilseed rape height before winter and the onset of flowering stage based on field observations from the Experimental Stations for Cultivar Testing (COBORU) in Bezek and Cicibór Duży. The results showed the possibility of using satellite data to predict with a fairly high degree of accuracy both analyzed characteristics of winter oilseed rape. Moreover, based on vegetation indices it has been confirmed that the growth and development of the winter oilseed rape are highly dependent on the course of weather conditions.

### Author's address:

Krzysztof Bartoszek  
 Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie  
 Katedra Technologii Produkcji Roślinnej  
 i Towaroznawstwa  
 Zakład Agrometeorologii  
 ul. Akademicka 15, 20-950 Lublin  
 Poland  
 e-mail: [krzysztof.bartoszek@up.lublin.pl](mailto:krzysztof.bartoszek@up.lublin.pl)