

Szacowanie plonów roślin uprawnych na podstawie naziemnych pomiarów spektralnych

Estimating crop yields on the basis of ground hyperspectral measurements

Jan PIEKARCZYK

Słowa kluczowe: Teledetekcja, naziemne pomiary hiperspektralne, rzepak ozimy, orkisz ozimy, wskaźniki roślinne, plon
Key words: Remote Sensing, ground hyperspectral measurements, winter oilseed rape, winter spelt, vegetation indices, yield

Otrzymano: 5 listopada 2010; **Zaakceptowano:** 14 czerwca 2011

Received: 5 November 2010 **Accepted:** 14 June 2011

The objective of the study was to compare the variability of hyperspectral characteristics of winter oilseed rape and winter spelt in the early growing season and to determine the usefulness of vegetation indices obtained during the ground-based hyperspectral measurements to predict the yield of these crops. Field hyperspectral measurements were taken from the experimental plots of three varieties of winter oilseed rape and four winter spelt varieties during the first part of the growing season. The oilseed rape plots were sown at four dates in the autumn and the spelt plots were fertilized in six schemes. Vegetation indices were calculated on the basis of the reflectance factors of the visible and near-infrared bands and their logarithmic

and first derivative transformations. Then, relationships between the vegetation indices and oilseed rape and spelt yields were analyzed. Among the unprocessed indices the highest R^2 values (0.86) were obtained for the relationship between the winter rape yield and $NDVI_{550-775}$ recorded at the beginning of the flowering stage. The transformation of the spectral data improved the relationship between the $NDVI_{675-775}$, $NDVI_{820-980}$, $SRWI_{870-1260}$ and yield up to 0.86. The winter spelt yield was most strongly correlated with $NDVI_{550-775}$ ($R^2=0.80$) at the stem elongation stage and the transformation of the spectral data did not improve the relationship.

Wstęp

Technologie produkcji stosowane w rolnictwie precyzyjnym wymagają szczegółowej kontroli upraw, w wyniku której uzyskuje się informacje dotyczące przestrzennej i czasowej zmienności najważniejszych właściwości agronomicznych roślin, ich stanu zdrowotnego, poziomu odżywienia oraz wysokości spodziewanego plonu. Prognozowanie plonów można określić jako przewidywanie wysokości plonu danego gatunku roślin po zbiorze przy założeniu, że warunki środowiskowe do tego momentu będą zbliżone do średnich wieloletnich. Terminowe i dokładne prognozy zbiorów głównych gatunków roślin uprawnych przed żniwami w skali regionalnej, krajowej i międzynarodowej mają kluczowe znaczenie dla rynków żywności (Justice i Becker-Reshef, 2007). Do prognozowania plonów stosowane są różne metody, począwszy od wizualnej oceny pól, poprzez wielokrotne w sezonie pobieranie prób roślinnych, korzystanie z analogii z poprzednimi latami, a skończywszy na zastosowaniu modeli symulujących rozwój roślin i modeli regresyjnych

(Doraiswamy i in., 2003; Maselli i in., 2001; Wall i in., 2007).

Kontrola produkcji rolniczej z poziomu lotniczego i satelitarnego, a w tym prognozowanie plonów jest przedmiotem badań od lat siedemdziesiątych (Wall i in., 2007) a jej przydatność została potwierdzona w zastosowaniach w różnych skalach i regionach geograficznych (Funk i Budde, 2009; Rojas, 2007; Salazar i in., 2007;). Metody teledetekcyjne, dzięki szybkości, powtarzalności, obiektywności i niskim kosztom, mogą być bardzo przydatne pośrednio i bezpośrednio do prognozowania plonów (Manjunath i in., 2002; Prasad i in., 2006). Przy szacowaniu plonów z użyciem biofizycznych modeli symulujących rozwój roślin, dane spektralne są wykorzystywane do określania parametrów wzrostu roślin i do kalibracji tych modeli. Główną wadą takich modeli jest konieczność przygotowania dużej liczby danych wejściowych, takich jak charakterystyki glebowe, informacje o agrotechnice i dane meteorologiczne (Moriondo i in., 2007). Najczęściej do prognozowania plonów stosuje się modele regresyjne oparte na empirycznych zależnościach

między wartościami wskaźników roślinnych obliczonych na podstawie danych spektralnych oraz wysokością uzyskanych plonów (Wall i in., 2007). Takie modele są łatwe do zastosowania i nie wymagają wielu danych wejściowych. Główną ich wadą jest to, że zależności plonu z charakterystykami spektralnymi roślin mają charakter lokalny i opracowane modele trudno zastosować w innych regionach niż te dla których zostały opracowane (Doraiswamy i in., 2003; Moriondo i in., 2007).

Coraz powszechniejsze stosowanie czujników hiperspektralnych skłania do prowadzenia badań nad zależnościami między najważniejszymi parametrami roślinnymi a odbiciem promieniowania w bardzo wielu wąskich zakresach widma. Celem tych badań jest wykrycie subtelnych zmian właściwości spektralnych roślin niemożliwych do zarejestrowania przez stosowane do tej pory czujniki szerokopasmowe. Wyniki dotychczasowych badań potwierdzają większą przydatność danych hiperspektralnych do szacowania właściwości biofizycznych roślin niż danych szerokopasmowych. Broge i Leblanc, (2000) stwierdzili, że zastosowanie danych wąskopasmowych daje lepsze wyniki przy prognozowaniu wielkości LAI (Leaf area index) i koncentracji chlorofilu w modelach symulujących odbicie promieniowania elektromagnetycznego od roślinności.

Celem badań było porównanie zmienności charakterystyk hiperspektralnych rzepaku i orkiszu ozimego w wiosennej części sezonu wegetacyjnego oraz określenie przydatności wskaźników roślinnych uzyskanych w trakcie naziemnych pomiarów hiperspektralnych do prognozowania wysokości plonów tych upraw.

Metodyka

Badania prowadzono na terenie Rolniczego Gospodarstwa Doświadczalnego w Złotnikach oraz Zakładu Doświadczalno-Dydaktycznego Uprawy Roli i Roślin w Swadzimiu należących do Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu. Badania dotyczyły trzech odmian rzepaku ozimego: PR 45D03, PR 46W31 i Californium, wysianego w czterech terminach: 14 i 25 sierpnia (t1 i t2) oraz 4 i 15 września (t3 i t4) z gęstością 30, 40, 50 i 60 roślin na m² oraz trzech odmian orkiszu: Badengold, Schwabenpel, Schwabenkorn i jednej odmiany pszenicy zwyczajnej Turkis wysianych w sześciu schematach nawożenia: (1) 0 kg N/ha, (2) 30 kg N/ha – po ruszeniu wegetacji, (3) 30 kg N/ha – po ruszeniu wegetacji + 30 kg N/ha w fazie strzelania w źdźbło, (4) 30 kg N/ha – po ruszeniu wegetacji + 30 kg N/ha w fazie strzelania w źdźbło + kg N/ha w fazie kłoszenia, (a) 15 t obornika/ha, (b) 30 t obornika/ha.

Naziemne pomiary odbicia wykonywano w następujących terminach:

rzepak ozimy – 19 kwietnia, gdy rośliny znajdowały się w fazie pełni pąkowania (BBCH 55-57) i początku kwitnienia (BBCH 60), 30 kwietnia w fazie końca kwitnienia (BBCH 65-69) oraz 12 maja w fazie rozwoju owoców (BBCH 73 – 74),

orkisz ozimy – 16 kwietnia w fazie końca krzewienia (BBCH 23) oraz 1 i 13 maja w fazie strzelania w źdźbło (BBCH 32-36).

Odbite od poletek promieniowanie rejestrowano za pomocą radiometru hiperspektralnego FieldSpec3 firmy ASD. Radiometr ten, o polu widzenia 25°, rejestruje odbite promieniowanie z rozdzielczością spektralną 3 nm w zakresie długości fali λ od 350 do 1000 nm i 10 nm w przedziale od 1000 do 2500 nm. Pomiary były wykonywane z wysokości 2 m nad uprawami w godzinach południowych w bezchmurne dni. Na podstawie wartości współczynników odbicia fal z zakresu czerwonego oraz bliskiej (NIR) i środkowej (SWIR) podczerwieni obliczono następujące wskaźniki roślinne:

$$\begin{aligned} \text{NDVI}_{675-775} &= (R_{775} - R_{675}) / (R_{775} + R_{675}) \\ \text{NDVI}_{550-775} &= (R_{775} - R_{550}) / (R_{775} + R_{550}), \\ \text{NDVI}_{820-980} &= (R_{980} - R_{820}) / (R_{980} + R_{820}), \\ \text{SRWI} &= R_{870} / R_{1260}, \end{aligned}$$

gdzie R_{550} , R_{675} , R_{700} , R_{775} , R_{820} , R_{870} , R_{980} , R_{1260} , to współczynniki odbicia fal o długościach wynoszących odpowiednio: 550, 675, 700, 775, 820, 870, 980 i 1260 nm.

Wyniki

Wegetacja roślin w roku 2009, w zachodniej części Polski, rozpoczęła się pod koniec marca a prace polowe rolnicy rozpoczęli z dwutygodniowym opóźnieniem w stosunku do lat przeciętnych. Do połowy kwietnia warunki agrometeorologiczne sprzyjały rozwojowi roślin. Stopień uwilgotnienia ornej warstwy gleby po obfitych marcowych opadach był bardzo wysoki. Natomiast później, stosunkowo wysokie temperatury powietrza występujące w drugiej i trzeciej dekadzie kwietnia, przy bardzo małych opadach spowodowały pogorszenie warunków wilgotnościowych gleby. W takich warunkach rzepak ozimy wykształcił nieco mniejszą liczbę rozgałęzień drugiego i trzeciego rzędu, co mogło mieć wpływ na jego plonowanie.

We wszystkich trzech terminach pomiarowych największe różnice odbicia między rzepakiem i orkiszem ozimym występowały w zakresie NIR (750 – 1130 nm) (Ryc. 1).

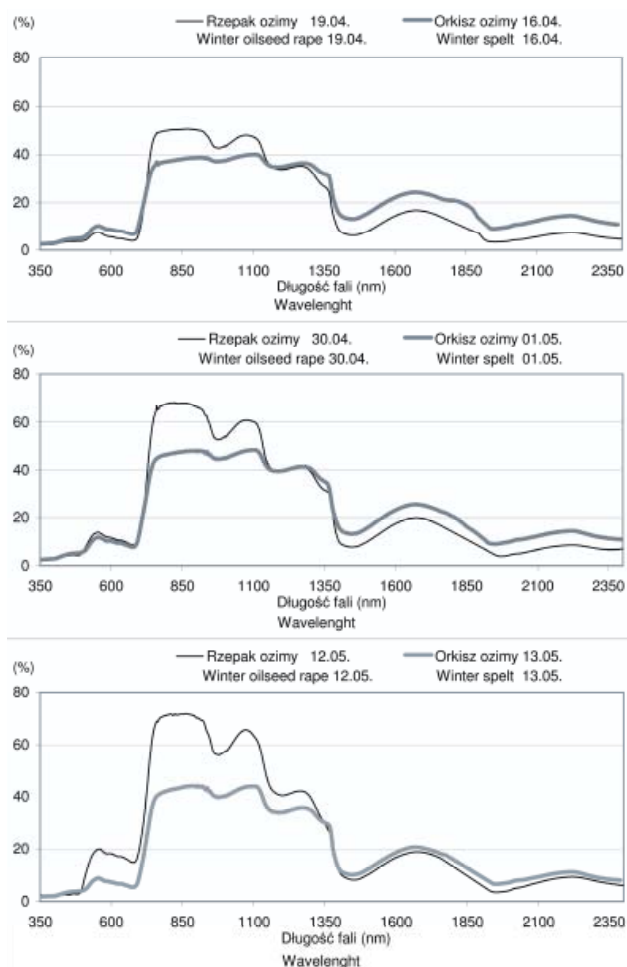
Rośliny rzepaku pokrywały w znacznie większym stopniu glebę (Tabela 1) i ich biomasa była większa niż roślin orkiszu. Z tego powodu odbicie fal NIR od poletek rzepaku było o około 12% wyższe i o około 5% niższe w zakresie SWIR niż od poletek orkiszu. Wielkość odbicia promieniowania NIR jest zależna od ilości powietrza w przestworach międzykomórkowych miększu gąbczastego liści i zwiększa się wraz z przyrostem zielonej masy roślin. Natomiast duża ilość uwodnionej masy zielonej powoduje silne pochłanianie promieniowania z zakresu SWIR. Na początku drugiej dekady maja różnica w wielkości odbicia fal NIR między poletkami rzepaku i orkiszu wynosiła około 30%. Do początku fazy kwitnienia rzepaku odbicie fal z zakresu widzialnego

Tabela 1. Stopień pokrycia gleby przez rośliny w trzech terminach oraz plon zebrany z poletek rzepaku ozimego wysianego w czterech terminach i orkisz ozimego nawożonego według sześciu schematów

Table 1. The degree of soil cover by plants on three dates and harvested yield from plots of winter oilseed rape sown in four dates and winter spelt fertilized in six schemes

Rzepak ozimy Winter oilseed rape		Terminy siewu Sowing date				
Data	Date	t1	t2	t3	t4	Średnio Mean
		Pokrycie gleby przez rośliny (%) Ground cover (%)				
07.04.		64.5	52.8	65.1	19.9	50.6
19.04.		72.8	81.9	76.1	40.8	67.9
30.04.		72.9	74.4	77.0	68.2	73.1
Średni plon (dt/ha) Average yield (dt/ha)		49.3	53.9	50.8	40.0	48.5

Orkisz ozimy Winter spelt		Schemat nawożenia Fertilization scheme						
Data	Date	1	2	3	4	a	b	Średnio Mean
		Pokrycie gleby przez rośliny (%) Ground cover (%)						
02.04.		31.7	36.8	34.8	35.9	34.1	33.0	34.4
16.04.		53.9	62.9	59.5	63.7	52.0	54.4	57.7
01.05.		40.0	53.2	57.4	60.6	47.1	51.4	51.6
Średni plon (t/ha) Average yield (t/ha)		2.9	3.5	3.8	3.5	3.6	3.4	49.3



od rzepaku nieznacznie różniło się od odbicia tych fal od orkisz. W czasie kwitnienia odbicie w tym zakresie od rzepaku wyraźnie wzrosło dochodząc do 20% i 15% odpowiednio dla fal zielonych i czerwonych.

Najwyższy plon nasion rzepaku (średnio 53,9 dt/ha) uzyskano z poletek obsianych w drugim terminie, optymalnym dla regionu Wielkopolski, a najniższy plon (40,0 dt/ha) z poletek, które obsiano najpóźniej (Tabela 1). Na tych poletkach występowało również odpowiednio największe i najmniejsze pokrycie gleby przez rośliny w dniu 19 kwietnia. Najwyższy plon ziarna orkisz zebrano z poletek nawożonych wyłącznie mineralnie w dwóch dawkach, zgodnie ze schematem trzecim. Plony uzyskane na 48 poletkach rzepaku ozimego i 96 poletkach orkisz ozimego zestawiono z wartościami wskaźników roślinnych obliczonymi na podstawie danych hiperspektralnych uzyskanych w trakcie pomiarów polowych. Na początku sezonu wegetacyjnego, gdy rozpoczynało się kwitnienie roślin rzepaku (19.04.), najsilniejszą zależność z plonem ($R^2=0,86$) wykazywał wskaźnik $NDVI_{550-775}$, obliczony z wykorzystaniem współczynników odbicia fal zielonych (550 nm) (Tabela 2).

Ryc. 1. Krzywe spektralne poletek rzepaku i orkisz ozimego sporządzone na podstawie średnich wartości współczynników odbicia uzyskanych w sześciu terminach.

Fig. 1. The mean spectral reflectance curves of winter rape oilseed and winter spelt from six dates.

Tabela 2. Wartości współczynników determinacji (R^2) dla zależności między plonem rzepaku i orkisz ozimego a wartościami czterech nieprzetworzonych wskaźników roślinnych

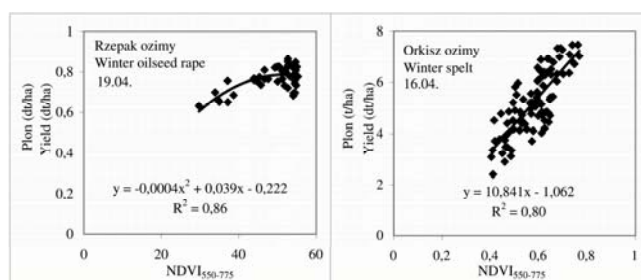
Table 2. The values of determination coefficients for the correlation between the yield of winter oilseed rape and winter spelt, and the values of four untreated vegetation indices

Wskaźniki roślinne Vegetation indices	Rzepak ozimy Winter oilseed rape			Orkisz ozimy Winter spelt		
	19.04.	30.04.	12.05.	16.04.	01.05.	13.05.
NDVI ₆₇₅₋₇₇₅	0.82	0.43	0.07	0.62	0.65	0.71
NDVI ₅₅₀₋₇₇₅	0.86	0.35	0.01	0.67	0.66	0.80
NDVI ₈₂₀₋₉₈₀	0.83	0.70	0.66	0.59	0.55	0.25
SRWI ₈₇₀₋₁₂₆₀	0.83	0.71	0.41	0.62	0.33	0.35

W późniejszych terminach wskaźniki, obliczone z użyciem fal widzialnych dawały słabszą zależność z plonem. Obecność kwiatów na roślinach rzepaku w terminach drugim i trzecim powodowała wzrost odbicia w zakresie widzialnym nie wpływając na wielkość odbicia w zakresie NIR. Stosunkowo wysoka zależność występowała nadal ze wskaźnikami obliczonymi na podstawie odbicia fal z zakresu NIR i SWIR. Na początku drugiej dekady maja (12.05.) wartości współczynników determinacji obliczone dla zależności między plonem i wskaźnikami NDVI₈₂₀₋₉₈₀ oraz SRWI₈₇₀₋₁₂₆₀ miały wartości odpowiednio 0,66 i 0,41

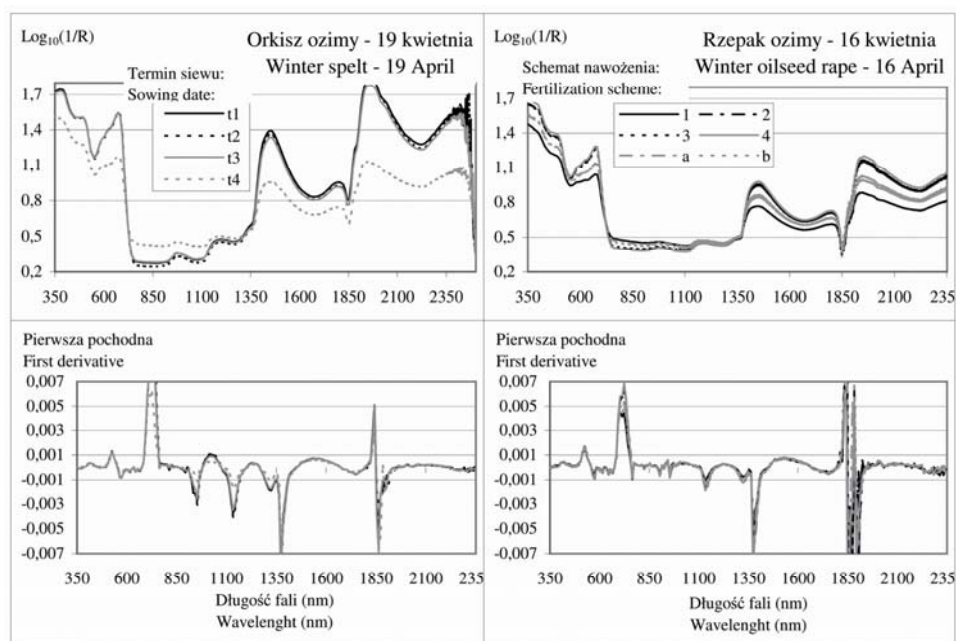
Biomasa roślin orkisz, oceniana na podstawie wielkości odbicia fal z zakresu NIR wzrastała w całym okresie, gdy wykonywano pomiary spektralne: na poletkach nawożonych mineralnie szybciej a na pozostałych wolniej. Zależność danych spektralnych z plonem orkisz zwiększała się w przypadku wskaźników obliczonych z użyciem fal widzialnych osiągając nieco niższe wartości ($R^2=0,80$) niż w przypadku rzepaku.

Dla rzepaku najsilniejszą zależność między wskaźnikami roślinnymi i plonem obserwowano, gdy stosowano równania wielomianowe ponieważ występowało wysycenie odbicia tzn. przy dużej biomacie dalszy jej wzrost nie powodował zwiększania wartości wskaźników (Behrens, 2006). Natomiast u orkisz biomasa była mniejsza i najlepsze efekty osiągano stosując równania liniowe (Ryc 2).



Ryc. 2. Zależność między plonem rzepaku ozimego (dt/ha) i orkisz ozimego (t/ha) a wartościami wskaźników roślinnych obliczonych na podstawie wartości współczynników odbicia fal o długości 550 i 775 nm zarejestrowanych w dwóch terminach. Fig. 2. Relationship between the winter oilseed rape yield (dt/ha) and winter spelt (t/ha) and vegetation index NDVI₅₅₀₋₇₇₅ calculated on the basis of reflectance in 550 and 775 nm on two dates.

Zależność z plonem określono również dla wskaźników roślinnych obliczonych na podstawie współczynników odbicia przetworzonych do postaci logarytmu dziesiętnego ($\log_{10}(1/R)$) i pierwszej pochodnej. Według Huang'a i in. (2004) zastosowanie pochodnych współczynników odbicia pozwala ograniczyć wpływ warunków oświetlenia oraz tła glebowego i w konsekwencji umożliwia uzyskanie lepszych zależności między danymi spektralnymi i parametrami biofizycznymi roślin. Rycina 3 przedstawia wartości współczynników odbicia przekształconych do postaci logarytmu dziesiętnego i pierwszej pochodnej zarejestrowanych na poletkach rzepaku ozimego obsianych w czterech terminach oraz na poletkach orkisz nawożonych według sześciu schematów.



Ryc. 3. Średnie wartości współczynników odbicia przekształconych do postaci logarytmu dziesiętnego i pierwszej pochodnej zarejestrowanych na poletkach rzepaku ozimego obsianych w czterech terminach oraz na poletkach orkisz nawożonych według sześciu schematów. Figure 3. Mean values of the reflectance factors transformed to logarithm and first derivative from winter oilseed rape sown at four different dates and winter spelt fertilized in six schemes.

Wartości współczynników determinacji (R^2) dla zależności plonów ze wskaźnikami przetworzonymi $\text{Log}_{10}(1/R)$ $\text{NDVI}_{675-775}$, $\text{Log}_{10}(1/R)\text{NDVI}_{820-980}$, $\text{Log}_{10}(1/R)\text{SRWI}_{870-1260}$ uzyskanymi na początku kwitnienia rzepaku wzrosły w niewielkim stopniu (od 0,02 do 0,04) w porównaniu z wartościami tego współczynnika dla wskaźników roślinnych nie przetworzonych (Tabela 3). Największy wzrost wartości R^2 obserwowano dla danych zebranych w pełni kwitnienia rzepaku. W przypadku wskaźników $\text{Log}_{10}(1/R)\text{NDVI}_{675-775}$ i $\text{Log}_{10}(1/R)\text{NDVI}_{550-775}$ wzrost współczynnika wynosił odpowiednio 0,57 i 0,63.

uprawnej. Najsilniejszy związek między danymi spektralnymi i wysokością plonu orkiszu i rzepaku występował w różnych terminach wiosennej części sezonu wegetacyjnego. Dla rzepaku był to początek fazy kwitnienia (faza BBCH 55-60), która przypadała na koniec drugiej dekady kwietnia a dla orkiszu najsilniejszą zależność między odbiciem i plonem zaobserwowano około trzy tygodnie później, w drugiej dekadzie maja, gdy rośliny znajdowały się w fazie strzelania w źdźbło (BBCH 36).

W zależności od gatunku rośliny uprawnej i fazy rozwojowej do prognozowania plonów przydatne są

Tabela 3. Wartości współczynników determinacji (R^2) dla zależności między plonem rzepaku i orkiszu ozimego a wartościami czterech wskaźników roślinnych obliczonych na podstawie współczynników odbicia przetworzonych do postaci logarytmicznej i pierwszej pochodnej

Table 3. The values of the coefficients of determination (R^2) for the correlation between the yield of winter oilseed rape and winter spelt, and the values of four vegetation indices calculated on the basis of reflectance factors transformed into logarithmic form and the first derivative

Wskaźniki roślinne Vegetation indices	Rzepak ozimy Winter oilseed rape			$\text{Log}_{10}(1/R)$	Orkisz ozimy Winter spelt		
	19.04.	30.04.	12.05.		16.04.	01.05.	13.05.
$\text{Log}_{10}(1/R)\text{NDVI}_{675-775}$	0.86	0.47	0.63		0.60	0.38	0.29
$\text{Log}_{10}(1/R)\text{NDVI}_{550-775}$	0.85	0.42	0.64		0.62	0.58	0.61
$\text{Log}_{10}(1/R)\text{NDVI}_{820-980}$	0.86	0.46	0.71		0.65	0.64	0.61
$\text{Log}_{10}(1/R)\text{SRWI}_{870-1260}$	0.85	0.58	0.71		0.62	0.52	0.36
				Pierwsza pochodna First derivative			
$\text{PpNDVI}_{675-775}$	0.85	0.63	0.71		0.21	0.61	0.22
$\text{PpNDVI}_{550-775}$	0.17	0.23	0.004		0.42	0.74	0.73
$\text{PpNDVI}_{820-980}$	0.75	0.07	0.31		0.33	0.02	0.09
$\text{PpSRWI}_{870-1260}$	0.86	0.61	0.65		0.52	0.67	0.74

Wzrost zależności z plonem orkiszu wykazywały tylko wskaźniki obliczone z użyciem zlogarytmizowanych współczynników odbicia fal z zakresu NIR. Wartości R^2 dla zależności plonu orkiszu z wartościami wskaźnika $\text{Log}_{10}(1/R)\text{SRWI}_{870-1260}$ i $\text{Log}_{10}(1/R)\text{NDVI}_{820-980}$ wzrosły odpowiednio o 0,19 na początku fazy strzelania w źdźbło (01.05) i o 0,36 w pełni tej fazy (13.05) w porównaniu do wartości R^2 uzyskanych dla zależności plonu z wartościami wskaźników nie przetwarzanych.

Wskaźniki roślinne obliczone na podstawie pierwszych pochodnych współczynników odbicia w niewielkim stopniu dały lepszą zależność z plonem zarówno rzepaku jak i orkiszu. Jedynie w przypadku rzepaku wskaźnik $\text{PpNDVI}_{675-775}$ dał wyższą zależność z plonem we wszystkich trzech terminach pomiarowych.

Podsumowanie

W celu prognozowania plonów na podstawie danych spektralnych obserwacje powinny być prowadzone w różnych terminach, w zależności od gatunku rośliny

wskaźniki obliczane na podstawie współczynników odbicia fal o różnych długościach z zakresu widzialnego oraz NIR i SWIR. W fazach rozwojowych, w których nie występowały kwiaty na roślinach rzepaku i orkiszu, najsilniejszą zależność z plonem wykazywały wskaźniki obliczone z użyciem fal zielonych o długości 550 nm i NIR o długości 775 nm. W fazach rozwojowych, w których obecność kwiatów decyduje o wielkości odbicia w zakresie widzialnym, do prognozowania plonów wskazane jest użycie wskaźników obliczanych na podstawie współczynników odbicia fal z zakresu NIR. Również przekształcenie współczynników odbicia do postaci logarytmicznej poprawiło zależność z plonem rzepaku w czasie kwitnienia.

Uzyskana duża zależność między plonem i naziemnymi danymi spektralnymi wskazuje na możliwość wykorzystania zobrażeń z pułapu lotniczego oraz obrazów satelitarnych do prognozowania plonu we wczesnych fazach rozwojowych rzepaku i orkiszu ozimego, jeśli późniejszy rozwój roślin w sezonie wegetacyjnym będzie niezakłócony.

Literatura

- Behrens T., Muller J., Diepenbrock W., 2006, Utilization of canopy reflectance to predict properties of oilseed rape (*Brassica napus* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.) during ontogenesis. *European Journal of Agronomy*, 25, 345–355.
- Broge N.H., Leblanc E., 2000, Comparing prediction power and stability of broadband and hyperspectral vegetation indices for estimation of green leaf area index and canopy chlorophyll density. *Remote Sensing of Environment*, 76, 156–172.
- Doraiswamy P.C., Moulin S., Cook P.W., Stern A., 2003, Crop yield assessment from remote sensing. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 69, 665–674.
- Funk C., Budde M.E., 2009, Phenologically-tuned MODIS NDVI-based production anomaly estimates for Zimbabwe. *Remote Sensing of Environment*, 113, 115–125.
- Huang Z., Turner B.J., Durya S.J., Wallis I.R., Foley W.J., 2004, Estimating foliage nitrogen concentration from HYMAP data using continuum removal analysis. *Remote Sensing of Environment*, 93, 18–29.
- Justice C.O., Becker-Reshef I., 2007, *Report from the workshop on developing a strategy for global agricultural monitoring in the framework of Group on EarthObservations (GEO)*. s 1–67.
- Manjunath K.R., Potdar M.B., Purohit N.L., 2002, Large area operational wheat yield model development and validation based on spectral and meteorological data. *International Journal of Remote Sensing*, 23, 3023–3038.
- Maselli F., Rembold F., 2001, Analysis of GAC NDVI data for cropland identification and yield forecasting in Mediterranean African countries. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 67, 593–602.
- Mika J., Kerenyi J., Rimoczi-Paal A., Merza A., Szinell C., Csiszar I., 2002, On correlation of maize and wheat yield with NDVI: Example of Hungary (1985–1998). *Advances in Space Research*, 30, 2399–2404.
- Moriondo M., Maselli F., Bindi M., 2007, A simple model of regional wheat yield based on NDVI data. *European Journal of Agronomy*, 26, 266–274.
- Prasad A.K., Chai L., Singh R.P., Kafatos M., 2006, Crop yield estimation model for Iowa using remote sensing and surface parameters. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 8, 26–33.
- Rojas O., 2007, Operational maize yield model development and validation based on remote sensing and agro-meteorological data in Kenya. *International Journal of Remote Sensing*, 28, 3775–3793.
- Salazar L., Kogan F., Roytman L., 2007, Use of remote sensing data for estimation of winter wheat yield in the United States. *International Journal of Remote Sensing*, 28, 3795–3811.
- Wall L., Larocque D., Leger P.M., 2007, The early explanatory power of NDVI in crop yield modeling. *International Journal of Remote Sensing*, 29, 2211–2225.



Dr inż. Jan Piekarczyk – jest absolwentem Wydziału Rolniczego Akademii Rolniczej w Poznaniu. Pracując w Instytucie Ochrony Roślin w Poznaniu zajmował się opracowaniem charakterystyk spektralnych roślin uprawnych. W 1996 r. obronił pracę doktorską pt.: *”Dwukierunkowa charakterystyka spektralna odbicia od uprawy rzepaku w sezonie wegetacyjnym”*. Od 1997 r. Jest adiunktem na Uniwersytecie im. Adama Mickiewicza w Poznaniu w Zakładzie Gleboznawstwa i Teledetekcji Gleb. Jego obecne zainteresowania naukowe dotyczą badania charakterystyk spektralnych roślinności w krajobrazie rolniczym oraz możliwości wykorzystania danych teledetekcyjnych do identyfikacji i monitoringu pól uprawnych i nieużytków porolnych. Adres: Uniwersytet im Adama Mickiewicza w Poznaniu, Instytut Geografii Fizycznej i Kształtowania Środowiska Przyrodniczego, ul. Dzięgielowa 27, 61-680 Poznań.

E-mail: piekjan@amu.edu.pl; tel.: (61) 829 6235, fax: (61) 829 6230.