

ZASTOSOWANIE SATELITARNYCH WSKAŹNIKÓW TELEDETEKCYJNYCH DO MONITOROWANIA UWILGOCENIA BIOMASY W UPRAWACH MISKANTA OLBRZYMIEGO (*Miscanthus x giganteus*)

Streszczenie

Miskant olbrzymi (*Miscanthus x giganteus*) z powodu jego fizjologicznej adaptacji do ścieżki fotosyntezy C4 jest uważany za istotny gatunek upraw na cele energetyczne. Dostępność wody silnie wpływa na jego plony, a wysoki plon biomasy z jednostki powierzchni jest związany z miejscami, w których opady wynoszą co najmniej 762 mm rocznie. Celem pracy było wyznaczenie wskaźników teledetekcyjnych obrazujących zawartość wody w uprawach miskanta olbrzymiego za pomocą zobrazowań satelitarnych Sentinel 2 oraz określenie korelacji tych wskaźników z najpowszechniejszym wskaźnikiem teledetekcyjnym biomasy NDVI oraz z warunkami pogodowymi na wybranym terenie w latach 2016-2018. Analiza zależności warunków pogodowych i wartości teledetekcyjnych wskaźników wodnych w badanych uprawach wykazała dość silną korelację (ok. +0,80) pomiędzy wskaźnikami wodnymi (m.in. NDWI, MSI, NDII, Water Index) a opadami oraz umiarkowaną ujemną korelację (ok. -0,40) z temperaturą.

Słowa kluczowe: fotosynteza C4, miskant olbrzymi, satelita Sentinel-2, warunki pogodowe, wskaźnik wodny, teledetekcja

Wstęp

Miskant olbrzymi należy do rodziny traw (*Poaceae*) i z powodu jego fizjologicznej adaptacji do ścieżki fotosyntezy C4 jest uważany za istotny gatunek upraw na cele energetyczne. Ze względu na bardziej efektywne wykorzystanie energii słonecznej, wody i składników odżywczych w porównaniu z roślinami C3, rośliny C4 charakteryzują się o 50% intensywniejszym wzrostem biomasy [1, 2]. W Europie, miskant uprawiany jest od około 50 lat. Początkowo był wykorzystywany jako roślina ozdobna, ale obecnie jest coraz częściej sadzony jako roślina bioenergetyczna. Wytwarza grubą, sztywną, gąbczastą łodygę o wysokości 200-350 cm. Najczęściej uprawianą odmianą jest miskant olbrzymi (*Miscanthus x giganteus*), który nie wytwarza płodnych nasion i dlatego musi być rozmnażany wegetatywnie. Miskant osiąga pełną dojrzałość produkcyjną w trzecim roku po posadzeniu [3].

Susza jest główną przyczyną ograniczonej produktywności rolnictwa i niepewności plonów roślin na całym świecie [4]. Z tego powodu susza rolnicza jest bardzo dużym zagrożeniem, które można określić niedoborem zaopatrzenia w wodę. Dostępność wody silnie wpływa na plony miskanta olbrzymiego, a wysoki plon biomasy z jednostki powierzchni jest związany z miejscami, w których opady wynoszą co najmniej 762 mm rocznie [5]. Monitorowanie teledetekcyjne kondycji i warunków wodnych uprawy miskanta jest ważną procedurą zarówno w celu uzyskania pożądanej jakości i ilości upraw pod względem wykorzystania tych roślin do celów bioenergetycznych jak i ze względów ekologicznych.

Stosowanie metod teledetekcji w monitorowaniu upraw jest uważane za cenne narzędzie do prognozowania plonów i zarządzania produkcją w rolnictwie. Liczne badania wskazują, że faza rozwoju roślin, warunki stresowe i plony są wyrażone w zmianach intensywności odpowiedzi widmowej z pokrywy roślinnej i mogą być wyrażone ilościowo za pomocą wskaźników roślinności spektralnej [6, 7]. Systemy teledetekcji są

narzędziem do rejestrowania wielospektralnych obrazów biomasy roślin uprawnych w całym sezonie wegetacyjnym w przeszłości lub w czasie zbliżonym do czasu rzeczywistego, co pozwala na zarządzanie uprawami w celu uwzględnienia lokalnych warunków biotycznych i abiotycznych [8, 9].

W rolnictwie, teledetekcja z wykorzystaniem danych satelitarnych jest użytecznym narzędziem do mapowania uwodnienia gleby i biomasy wielkoobszarowych upraw w różnych rozdzielczościach przestrzennych i czasowych. W polskim rolnictwie wykorzystuje się teledetekcję w celu uzyskania informacji i wsparcia systemów zarządzania w rolnictwie precyzyjnym. Do mapowania kondycji upraw i warunków wilgotnościowych użyteczne jest zastosowanie wskaźników teledetekcyjnych obrazujących zawartość wody w biomacie. Wskaźniki roślinne są kombinacją co najmniej dwóch wartości współczynnika odbicia światła zmierzonego w terenie, laboratorium lub zarejestrowanego z pokładu samolotu lub satelity. Wskaźniki roślinne są tworzone w oparciu o spektralne właściwości roślin. Teledetekcyjne metody hiperspektralne umożliwiają tworzenie wskaźników roślinnych z użyciem wąskich kanałów spektralnych obejmujących całe spektrum elektromagnetyczne (350-2500 nm) zamiast, jak dotychczas, koncentrować się jedynie na zakresie czerwonym i bliskiej podczerwieni [10, 11]. Dzięki temu, że w krzywej spektralnej roślinności zidentyfikowano fragmenty widma obrazujące zawartość wody, możliwe jest oszacowanie warunków wilgotnościowych upraw za pomocą danych pozyskanych ze scen satelitarnych.

Celem pracy było wyznaczenie wskaźników teledetekcyjnych obrazujących zawartość wody w dwóch uprawach miskanta olbrzymiego w północno-zachodniej Polsce za pomocą zobrazowań satelitarnych wykonywanych w ramach serii europejskich misji kosmicznych Sentinel oraz określenie korelacji tych wskaźników z najpowszechniejszym wskaźnikiem teledetekcyjnym biomasy NDVI oraz z warunkami pogodowymi na wybranym terenie w latach 2016-2018.

Tab. 1. Wybrane wskaźniki teledetekcyjne do zobrazowania stanu uwodnienia biomasy uprawy miskanta olbrzymiego oraz plonu (NDVI)

Table 1. Selected remote sensing indicators to signal the hydration status of the giant miscanthus biomass and yield (NDVI) biomass

SR	Simple Ratio = 800 nm / 640 nm
MSI	Simple Ratio = 1600 nm / 820 nm
NDWI	Normalized Difference = (860 nm-1240 nm)/(860 nm+1240 nm)
WBI	Simple Ratio = 970 nm / 900 nm
ND860	Normalized Difference = (860 nm-1640 nm)/(860 nm+1640 nm)
SR550-680	Simple Ratio = 550 nm / 680 nm
NDII	Normalized Difference = (819 nm-1649 nm)/(819 nm+1649 nm)
WI	Water Index = 900 nm / 970 nm
NDVI	Normalised Difference Vegetation Index = (800 nm-680 nm)/(800 nm+680 nm)

Źródło: dane IMGiW / Source: IMGiW data

Materialy i metody

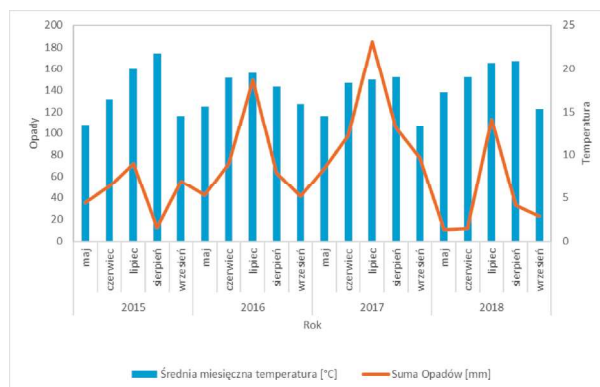
Dane do wyznaczenia wskaźników teledetekcyjnych pozyskano ze scen satelitarnych Sentinel 2 z lat 2015 (lipiec-wrzesień), 2016, 2017 i 2018 (czerwiec-wrzesień) z obszaru dwóch upraw *Miscanthus giganteus* z okolic Chojnic. Dane GPS i powierzchnia upraw: 53°41'00.9"N 17°36'00.8"E (2,8 ha) oraz 53°41'05.6"N 17°35'40.7"E (1,8 ha). Dla obu upraw wyznaczono wartości wskaźników teledetekcyjnych obrazujących kondycję upraw (NDVI - *Normalised Difference Vegetation Index*) [12] oraz charakteryzujących stan uwodnienia biomasy według tab. 1. Wybrane wskaźniki i sposób ich obliczania zostały pobrane z ogólnodostępnej bazy Index DataBase (IDB - *database for remote sensing*) (<https://www.indexdatabase.de/db/a-single.php?id=26>), a następnie dla każdego wskaźnika wodnego wykonano analizę korelacji (Pearsona) za pomocą oprogramowania R w celu określenia zależności wartości wskaźników teledetekcyjnych zawartości wody w biomacie uprawy miskanta od średniej miesięcznej temperatury oraz opadów w sezonie wegetacyjnym. Obliczono także korelacje tych wskaźników z indeksem NDVI obrazującym plon biomasy.

Dane meteorologiczne (opady i temperatura) dla danego obszaru pozyskano z okresu od maja do września dla każdego z badanych lat. Dane pobrano z serwisu danych publicznych IMGiW.

Wyniki badań

Analiza danych temperatury i opadów w sezonie wegetacyjnym 2015-2018 wykazała najwyższe średnie temperatury dla roku 2015 w sierpniu (21,8°C przy średniej temperaturze sierpnia w latach 2010-2018 - 8,9 (±1,4)°C) oraz w lipcu i sierpniu 2018 roku (odpowiednio 20,7 i 20,9°C przy średnich w latach 2010-2018 odpowiednio 19,6 (±1,17)°C oraz 18,9 (±1,4)°C) przy niższych opadach, co świadczy o tym, że wśród analizowanych sezonów były to lata suche. Wyższe miesięczne sumy opadów były obserwowane w sezonie wegetacyjnym 2016 i 2017 roku przy jednocześnie umiarkowanych temperaturach letnich i w tych latach nie obserwowano zjawiska suszy (rys. 1).

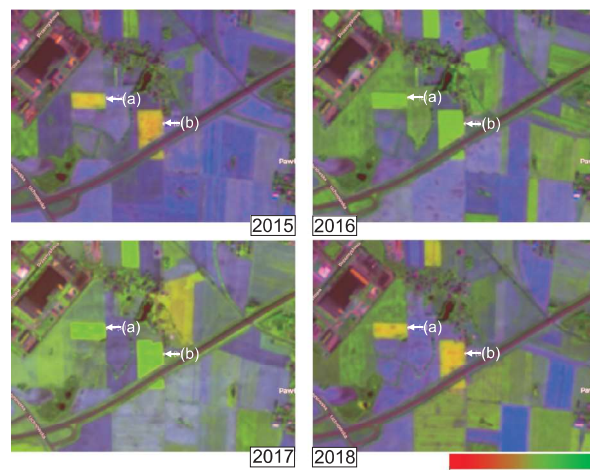
Analiza statystyczna wykazała dodatnią korelację pomiędzy satelitarnymi wskaźnikami zawartości biomasy a miesięczną sumą opadów (silna korelacja, średnio na poziomie +0,78) oraz wskaźnikiem plonu NDVI (silna korelacja, średnio na poziomie +0,66). Ujemna korelacja była obserwowana pomiędzy wskaźnikami satelitarnymi a temperaturą z wartością średnią -0,38 natomiast rozrzut tych wartości dla poszczególnych wskaźników satelitarnych był dość szeroki. W przypadku wskaźnika WBI nie zaobserwowano żadnej korelacji z temperaturą (0,00, zob. tab. 2).



Źródło: dane IMGiW / Source: IMGiW data

Rys. 1. Rozkład temperatury i opadów od maja do września 2015-2018

Fig. 1. Distribution of temperature and precipitation from May to September 2015-2018



Źródło: opracowanie własne / Source: own study

Rys. 2. Przykładowe zobrazowanie stanu wilgotności biomasy upraw miskanta olbrzymiego - dwa pola uprawne oznaczone (a) i (b) za pomocą wskaźnika NDWI w sezonie 2015-2018

Fig. 2. Example depiction of the biomass moisture status of the gigantic mullet crops - two arable fields marked (a) and (b) using the NDWI indicator in the 2015-2018 season

Omówienie wyników badań

Zastosowanie metod teledetekcyjnych oraz obliczenie wskaźników wodnych i ich zobrazowania są użytecznym narzędziem w mapowaniu wilgotności biomasy uprawy miskanta olbrzymiego. Dzięki temu, przy wykorzystaniu zdjęć satelitarnych, możliwe jest w sposób regularny monitorowanie warunków wilgotnościowych roślin i wprowadzanie systemów

Tab. 2. Wartości korelacji wybranych wskaźników teledetekcyjnych z parametrami pogody oraz NDVI dla uprawy miskanta olbrzymiego w sezonie wegetacyjnym 2015-2018

Table 2. Correlation values of selected remote sensing indicators with weather parameters and NDVI for the cultivation of *Miscanthus giganteus* in the growing season of 2015-2018

Wskaźnik teledetekcyjny / Wskaźnik korelacji Pearsona	SR	MSI	NDWI	WBI	ND860	SR550-680	NDII	WI	średnia
Opad [mm]	0,92	0,74	0,91	0,68	0,74	0,90	0,74	0,66	0,78
Temperatura [°C]	-0,19	-0,45	-0,86	0,00	-0,45	-0,53	-0,45	-0,10	-0,38
NDVI	0,84	0,54	0,92	0,48	0,54	0,98	0,54	0,44	0,66

Źródło: opracowanie własne / Source: own study

precyzyjnego zarządzania uprawą w przeszłości i teraźniejszości. Ogromną zaletą tej metody jest dostępność danych satelitarnych w serwisach publicznych oraz możliwość zastosowania ich do upraw wielkoobszarowych.

Analiza zależności warunków pogodowych i wartości teledetekcyjnych wskaźników wodnych w uprawie miskanta, wykazała dość silną korelację (ok. +0,8) pomiędzy wskaźnikami wodnymi a opadami oraz umiarkowaną ujemną korelację (ok. -0,4) z temperaturą. Takie zależności związane są z właściwościami tej trawy do efektywnego korzystania z wody także z głębszych poziomów glebowych. Im wyższa temperatura tym ewapotranspiracja jest wyższa, dlatego zawartość wody w biomacie przy bardzo ciepłych latach spada, co odzwierciedlały wartości wskaźników teledetekcyjnych. Natomiast, dzięki silnie rozbudowanemu, podziemnym kłączom i rozległemu systemowi korzeniowemu rozrastającemu się nawet do 2,5 m w głąb gleby, miskant dobrze sobie radzi w warunkach stresowych i ma małe wymagania uprawne. Dodatkowo należy zauważyć, że wzrost miskanta jest obserwowany na obrazowaniach satelitarnych głównie we wrześniu. W cieplejszych miesiącach (czerwiec, lipiec) ważnym czynnikiem wpływającym na refleksję jest widoczna pomiędzy sadzonkami gleba. Ten czynnik również wpływa na ujemną korelację pomiędzy średnimi temperaturami a wskaźnikami.

Dodatnią korelację (ok. +0,70) stwierdzono pomiędzy zawartością wody w biomacie a wskaźnikiem NDVI obrazującym ogólną kondycję rośliny oraz jej plon. Wskaźnik NDVI jest wrażliwy na zawartość chlorofilu w roślinie, a jego zawartość pośrednio zależy od dostępności wody, co potwierdzają badania literaturowe [13, 14, 15].

Satelitarne metody teledetekcji dostarczają narzędzi użytecznych do poprawy plonów upraw miskanta, strategii zarządzania produkcją biomasy, systematycznego dostarczania biomasy roślin energetycznych i wsparcia dla krajowego systemu statystycznego w skali globalnej, krajowej lub regionalnej. Uzyskane zdalnie dane satelitarne mogą być stosowane do prognozowania plonu biomasy miskanta (NDVI) obejmujących zmienne warunki uprawy, takie jak rodzaj gleby, wilgotność i dane klimatyczne [12]. Ponadto analiza danych teledetekcyjnych na dużą skalę może być wykorzystana w modelowaniu matematycznym w celu oceny plonów i bilansu wodnego w uprawach roślin energetycznych miskanta, a także

w celu oceny efektywności wykorzystania wody, w zależności od rodzaju uprawianego ekosystemu.

Bibliografia

- [1] Naidu S.L., Long S.P.: Potential mechanisms for low-temperature tolerance of C4 Photosynthesis in *Miscanthus x giganteus*: an in vivo analysis. *Planta*, 2004, 220: 145-155. Doi:10.1007/s00425-004-1322-6.
- [2] Wang C., Guo L., Li Y., Wang Z.: Systematic comparison of C3 and C4 plants based on metabolic network analysis. *BMC Sys. Biol.*, 2012, 6 (2): 9. Doi:10.1186/1752-0509-6-S2-S9.
- [3] Jeżowski S.: Yield traits of six clones of *Miscanthus* in the first 3 years following planting in Poland. *Indust. Crops Products*, 2008, 27(1): 65-68.
- [4] Martínez-Fernández J., González-Zamora A., Sánchez N., Gumuzzio A., Herrero-Jiménez C.M.: Corrigendum to Satellite soil moisture for agricultural drought monitoring: Assessment of the SMOS derived Soil Water Deficit Index Remote Sensing of Environment, Volume 183, 15 September 2016.
- [5] Heaton E.A., Boersma N., Caveny J.D., Voigt T.B., Dohleman F.G.: *Miscanthus* for biofuel production. Univ. Georgia Cooperative Extension, 2011. (<http://www.extension.org/pages/26625/miscanthus-for-biofuel-production>). Accessed April 15, 2011.
- [6] Aparicio N., Villegas D., Casadesus J., Araus J.L., Royo C.: Spectral vegetation indices as non-destructive tools for determining durum wheat yield. *Agron. J. Abstr. Agroclimat*, 2000, 92(1): 83-91. Doi:10.2134/agronj2000.92183x.
- [7] Nordberg M.L., Evertson J.: Vegetation index differencing and linear regression for change detection in a Swedish mountain range using Landsat TM and ETM+ imagery. *Land Degrad. Dev.*, 2003, 16: 139-149. Doi:10.1002/ldr.660.
- [8] Basso B., Cammarano D., Carfagna E.: Review of crop yield forecasting methods and early warning systems, in: Proc. 1st Meet. Sci. Adv. Comm. of Global Strategy to Improve Agricultural and Rural Statistics, FAO Rome, Italy, 2013, 1-56.
- [9] Lopatina A.: Rapid assessment of energy biomass resources using aerial photographs from unmanned aerial vehicles. Master's thesis in Forestry and Environmental Engineering, Finnish-Russian Cross-Border University (CBU), Faculty of Science and Forestry, University of Eastern Finland, 2013.
- [10] Zwijacz Kozica M.: Zróżnicowanie kosodrzewiny w Tatrach, w świetle badań teledetekcyjnych. *Teledetekcja Środowiska*, 2010, 44: 1-61.
- [11] Kacprzak M., Kotlarz J., Kubiak K., Rotchimmel K., Tkaczyk M.: Metodyka oszacowania defoliacji *Quercus robur* L. na podstawie analizy refleksyj w zakresie 0,64-0,73 μm. *Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna*, 2018, 1: 15-19.
- [12] Richter G.M., Agostini F., Barker A., Costomiris D., Qi, A.: Assessing on-farm productivity of *Miscanthus* crops by combining soil mapping, yield modelling and remote sensing. *Biomass Bioen.*, 2016, 85, 252-261. doi:10.1016/j.biombioe.2015.12.024.
- [13] Valentin H.M., Florin S., Boldea M.S., Relation of normalized difference vegetation index with some spectral bands of satellite images. March 2015, AIP Conference Proceedings, 2015, 1648(1): 670003. doi: 10.1063/1.4912898.
- [14] West H., Quinn N., Horswell M., White P.: Assessing Vegetation Response to Soil Moisture Fluctuation under Extreme Drought Using Sentinel-2. *Water*, 2018, 10: 838. Doi:10.3390/w10070838.
- [15] Zhang F., Zhou G.: Estimation of vegetation water content using hyperspectral vegetation indices: a comparison of crop water indicators in response to water stress treatments for summer maize. *BMC Ecol.*, 2019, 19: 18. Doi.org/10.1186/s12898-019-0233-0.

APPLICATION OF SATELLITE REMOTE SENSING INDICATORS TO MONITOR THE MOISTURE OF BIOMASS IN GIANT MISCANTHUS CROPS (*Miscanthus x giganteus*)

Summary

Miscanthus x giganteus due to its physiological adaptation to the C4 photosynthesis pathway is considered as an important species of the crop for energy purposes. The availability of water strongly affects its yield, and the high biomass yield per unit area is associated with places where rainfall is at least 762 mm per year. The work aimed to determine remote sensing indicators showing the water content in *Miscanthus x giganteus* cultivars using Sentinel 2 satellite imagery and to determine the correlation of these indicators with the most common remote-sensing NDVI biomass and weather conditions in a selected area in 2016-2018. Analysis of the relationship between weather conditions and remote sensing values of water indicators in the studied crops showed quite strong correlation (about +0.80) between water indicators (including NDWI, MSI, NDII, Water Index) and precipitation and moderate negative correlation (about -0.40) with temperature.

Keywords: C₄ carbon fixation, *Miscanthus x giganteus*, Sentinel 2 satellite, weather conditions, water index, remote sensing