

OCENA ZALEŻNOŚCI MIĘDZY ZNORMALIZOWANYM RÓŻNICOWYM WSKAŹNIKIEM ROŚLINNOŚCI A PŁONEM ZIEMNIAKA

MATEUSZ PTASZYŃSKI¹, RENATA LESZCZYŃSKA, STANISŁAW SAMBORSKI

¹ Instytut Rolnictwa, Katedra Agronomii, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie,
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa

Synopsis. Celem badań była ocena zależności między znormalizowanym różnicowym wskaźnikiem roślinności – NDVI, a plonem ziemniaka, odmiany Innovator. Badania wykonano od czerwca do września 2021 roku, na wydzielonym do badań obszarze pola produkcyjnego (współrzędne geograficzne: 54°32' N; 17°17' E), o powierzchni 16,9 ha, w województwie pomorskim. Wskaźnik NDVI pozyskano ośmiokrotnie ze zdjęć z satelity Sentinel-2 (European Space Agency). Plon bulw został oceniony ręcznie w 30 punktach rozmieszczonych tak aby uzyskać możliwie równomierne pokrycie całości badanego obszaru pola, oraz przy użyciu systemu mapowania plonu YieldMasterPRO, zamontowanego na 4-rzędowym kombajnie Grimme Varitron 470. Najsilniejsze zależności między wskaźnikiem NDVI, a plonem uzyskano dla wskaźnika NDVI zmierzonego w połowie sierpnia, czyli około 6 tygodni przed zbiorem. Wyższe wartości współczynnika korelacji uzyskano dla zależności między wskaźnikiem NDVI, a plonem ocenionym ręcznie niż między wskaźnikiem NDVI, a plonem z systemu mapowania.

Słowa kluczowe: ziemniak, rolnictwo precyzyjne, przewidywanie plonu, Sentinel-2, NDVI

WSTĘP

W ostatnim 30-leciu znacząco zmieniły się ilości oraz preferencje formy w jakiej spożywane są obecnie ziemniaki w naszym kraju [Stańko i Mikuła 2019]. Od lat 90. XX wieku obserwowany jest ciągły wzrost spożycia ziemniaków przetworzonych, głównie w formie frytek i chipsów, które wyniosło w 2022 roku – średnio 23,1 kg na mieszkańca [Dzwonkowski 2022]. Natomiast znacząco zmniejsza się spożycie ziemniaka nieprzetworzonego, które obecnie wynosi około 62,1 kg na mieszkańca rok. W roku 2021 produkcja frytek w naszym kraju wyniosła 231 tys. ton [Dzwonkowski 2022].

Przemysł przetwarzający ziemniaki na frytki jak i producenci muszą się mierzyć z coraz większymi wahaniami wysokości plonów spowodowanymi częstszymi suszami. W roku 2019 na skutek suszy miał miejsce niedobór ziemniaka do produkcji frytek. Dlatego też przy obniżonej jakości surowca istotnie zwiększyły się koszty produkcji frytek [Nowacki i Oleksiak 2020]. Aby zminimalizować ryzyko braku dostępności wystarczającej ilości surowca do produkcji przetworów ziemniaczanych istotne jest pozyskanie informacji o wysokości przyszłych plonów na wiele tygodni przed zbiorami ziemniaka. Dokładne szacowanie plonu nawet w skali jednego pola uprawnego może być bardzo utrudnione ze względu na lokalne zróżnicowanie warunków

¹ Adres do korespondencji – *Corresponding address*: mateuszpta@onet.pl

środowiskowych [Al-Gaadi i in. 2016]. Różnice w plonowaniu ziemniaka na jednym polu mogą wynosić nawet kilkadziesiąt ton z hektara [Whelan i Mulcahy 2017].

Teledetekcja pozwala na bezinwazyjną ocenę zróżnicowania kondycji roślin na dużym obszarze, przy użyciu wskaźników roślinnych [Pudełko i in. 2018]. W ostatnich latach zobrazowania z satelity Sentinel-2, do monitorowania wzrostu roślin ziemniaka wykorzystali Al-Gaadi i in. [2016] oraz Gómez i in. [2019, 2021].

Celem badań było określenie możliwości przewidywania plonu, przy użyciu wskaźnika roślinnego – NDVI, pozyskanego ośmiokrotnie w trakcie okresu wegetacji, ze zdjęć z satelity Sentinel-2. Oceniono zależności między NDVI, a plonem zebrany ręcznie i zarejestrowany przez system mapowania plonu.

MATERIAŁ I METODY

Lokalizacja miejsca badań

Badania z ziemniakiem (*Solanum tuberosum* L.), odmiany Innovator wykonano w roku 2021, na wydzielonym do badań obszarze pola o powierzchni 16,9 ha, w gospodarstwie Farm Frites Poland Dwa, zlokalizowanym (współrzędne geograficzne: 54°32' N; 17°17' E), w miejscowości Damno, w powiecie słupskim, w województwie pomorskim.

Wybór miejsc pomiarów

Do wyznaczenia miejsc ręcznej oceny plonu ziemniaka wykorzystano mapę glebowo-rolniczą (skala 1:5000) i informację z archiwalnych zdjęć (Google Earth Pro). Przy wyborze 30 miejsc pomiarów przyjęto założenie, że miejsca te rozmieszczone będą na obszarze pola o różnym potencjale plonowania. Środki miejsc pomiarów odpowiadały środkom pikseli (10 m x 10 m), na zdjęciach z satelity Sentinel-2 (European Space Agency). Do dokładnego wyznaczenia środka obszaru oceny plonu wykorzystano odbiornik GPS-RTK (Emlid Ltd., Hong Kong). Obszary te wyznaczono tak, aby uniknąć bliskości ścieżek technologicznych oraz obszarów wymokniętych lub wyschniętych. Powierzchnia każdego obszaru oceny plonu wyniosła 3 m²; był to 3,33 metrowy odcinek redliny o szerokości 0,90 m.

Ocena zróżnicowania ładu roślin ziemniaka przy użyciu zdjęć z satelity Sentinel-2

Do oceny zróżnicowania ładu roślin ziemniaka wykorzystano bezpłatne zdjęcia z satelity Sentinel-2, o rozdzielczości przestrzennej 10 x 10 m, pozyskane z serwisu: <https://eos.com/landviewer>. W badaniach wykorzystano 8 zobrazowań, wykonanych w bezchmurne dni, tj.: 9, 14 i 17 czerwca; 14 i 24 lipca; 13 i 23 sierpnia oraz 7 września 2021 r. (tab. 1). Do wyliczenia znormalizowanego różnicowego wskaźnika roślinności – NDVI (ang. Normalized Difference Vegetation Index), wykorzystano % odbicia światła czerwonego (665 nm ± 10 nm) i podczerwonego (842 nm ± 10 nm), od powierzchni ładu i gleby, zarejestrowanego przez satelitę. Obliczenia NDVI dla pikseli 10 x 10 m, wykonano przy użyciu kalkulatora rastra w programie QGIS 3.16.14, ze wzoru [Rouse i in. 1973]:

$$NDVI = (NIR_{842} - VIS_{665}) / (NIR_{842} + VIS_{665})$$

gdzie:

NIR₈₄₂ – odbicie w paśmie bliskiej podczerwieni,

VIS₆₆₅ – odbicie w paśmie czerwieni (światło widzialne).

Ocena plonu bulw

Bulwy ziemniaka wykopano ręcznie 27 września 2021 r., przy użyciu motyki, w 30 wyznaczonych obszarach. Następnie próbki bulw oznaczone etykietą z kodem miejsca pobrania próbki dostarczono do laboratorium Farm Frites Poland SA, w miejscowości Nowa Wieś Lęborska. Próbki bulw zważono, co pozwoliło na wyliczenie plonu bulw brutto z 1 ha.

W dniach 27 i 28 września 2021 r., dokonano zbioru ziemniaka z badanego obszaru pola przy użyciu 4-rzędowego, samojezdnego kombajnu Grimme Varitron 470, wyposażonego w system mapowania plonu YieldMasterPRO, wersja 3.00, firmy Precision Makers B.V. System mapowania plonu skalibrowano ważąc bulwy oraz ich zanieczyszczenia na 3 przyczepach. Następnie wprowadzono do oprogramowania informację o średniej ilości (%) zanieczyszczeń znajdujących się w zbieranym plonie.

WYNIKI I DYSKUSJA

Zależności między wskaźnikiem NDVI, a plonem ocenionym przez system mapowania

Siła zależności między wskaźnikiem NDVI, a plonem ocenionym przez system mapowania, zwiększała się od pierwszego do przedostatniego terminu oceny, zarówno gdy uwzględniono wszystkie piksele, jak i gdy do analizy regresji użyto tylko dane (NDVI i plonu) z pikseli bez ścieżek technologicznych (tab. 1).

Tabela 1. Zróżnicowanie współczynnika korelacji (r), miary siły zależności między wskaźnikiem NDVI wygenerowanym ze zobrażeń satelity Sentinel-2, a średnim plonem dla danego piksela zmierzonym przy użyciu systemu mapowania plonu, z uwzględnieniem wszystkich pikseli i po wyłączeniu z analizy pikseli, które obejmowały ścieżki technologiczne

Table 1. Variation of the correlation coefficient (r), a measure of the strength of the relationship between the NDVI generated from Sentinel-2 satellite images and the average yield for a given pixel measured using the yield mapping system, including all pixels and after excluding from the analysis pixels that included tramlines

Termin wykonania zobrażenia z satelity Sentinel-2 Dates of Sentinel-2 satellite imagery acquisition	Wszystkie piksele All pixels	Piksele bez ścieżek technologicznych Pixels without tramlines
9.06.2021	0,00	-0,02
14.06.2021	0,06*	0,02
17.06.2021	0,07*	0,03
14.07.2021	0,17*	0,21*
24.07.2021	0,19*	0,27*
13.08.2021	0,28*	0,41*
23.08.2021	0,31*	0,41*
7.09.2021	0,30*	0,38*

* – zależności istotne przy $\alpha=0,05$, wartość krytyczna $r=0,050$, dla wszystkich pikseli, wartość krytyczna $r=0,069$, dla pikseli bez ścieżek technologicznych

* – relationships significant at $\alpha=0.05$, critical value of $r=0.050$, for all pixels, critical value of $r=0.069$, for pixels without tramlines

Podobnie jak w przypadku wyników badań Al-Gaadi'ego i in. [2016], najwyższe wartości współczynnika korelacji dla danych plonu z wskaźnikiem NDVI, dla całego sezonu wegetacyjnego, stwierdzono około 70 dni po wschodach (13 i 23 sierpnia 2021 r.). Miało to miejsce w okresie intensywnego przyrostu masy bulw, gdy jagody na częściach nadziemnych roślin były jeszcze zielone. Współczynnik korelacji na początku września nieznacznie się zmniejszył względem sierpniowych pomiarów, co mogło być oznaką rozpoczynającego się procesu dojrzewania roślin ziemniaka. Wówczas wskaźnik NDVI, który charakteryzuje w sposób pośredni stan ładu roślin, już w mniejszym stopniu odzwierciedla spodziewany plon roślin. Podobną prawidłowość obserwowali Al-Gaadi i in. [2016], gdyż wartość współczynnika korelacji dla zależności wskaźnik NDVI i plon po 91. dniu wegetacji roślin zmniejszyła się z 0,25 do 0,12. Jednak w badaniach własnych silniejsze, istotne zależności ($r=0,21-0,41$), między wskaźnikiem NDVI, a plonem zmierzonym przy użyciu systemu mapowania, uzyskano dopiero po usunięciu danych zarejestrowanych w pobliżu ścieżek technologicznych. Ta obserwacja może potwierdzać wyniki zaprezentowane w pracy Ptaszyńskiego i Samborskiego [2023], wskazujące na rejestrację błędnych danych plonu w pobliżu ścieżek technologicznych, ze względu na brak wprowadzania przez operatora kombajnu do oprogramowania informacji o zmniejszonej szerokości roboczej kombajnu.

Zależności między wskaźnikiem NDVI, a plonem ocenionym ręcznie

Silne i bardzo silne zależności między wskaźnikiem NDVI, a plonem ocenionym ręcznie stwierdzono od połowy lipca (pełnia kwitnienia) do ostatniego terminu pomiaru NDVI na początku września (tab. 2). Wyższe wartości współczynnika korelacji dla zależności między wskaźnikiem NDVI, a plonem ocenionym ręcznie niż między wskaźnikiem NDVI, a plonem z systemu mapowania, mogą świadczyć o większej dokładności oceny plonu tą pierwszą metodą. Przypuszczenie to potwierdza też fakt, że w przypadku plonu ocenionego za pomocą systemu mapowania dla jednego piksela, był on średnią z 8 do 41 pomiarów zarejestrowanych przez ten system dla tego piksela. Natomiast plon metodą ręczną oceniono dla 3 m², zaś wartość NDVI odzwierciedlała obszar jednego piksela – 100 m², dla obu metod oceny plonu.

Tabela 2. Zróżnicowanie współczynnika korelacji (r), miary siły zależności między wskaźnikiem NDVI wygenerowanym ze zobrażeń satelity Sentinel-2, a plonem ocenionym ręcznie w 30 obszarach pomiarowych
Table 2. Variation of the correlation coefficient (r), a measure of the strength of the relationship between the NDVI generated from Sentinel-2 satellite images and the yield assessed manually in 30 sampling areas

Termin wykonania zobrażenia z satelity Sentinel-2 Dates of Sentinel-2 satellite imagery acquisition	Wartość współczynnika korelacji (r) Correlation coefficient value (r)
9.06.2021	0,15
14.06.2021	0,08
17.06.2021	0,09
14.07.2021	0,51*
24.07.2021	0,48*
13.08.2021	0,69*
23.08.2021	0,73*
7.09.2021	0,73*

* – zależności istotne przy $\alpha=0,05$, wartość krytyczna $r=0,361$

* – relationships significant at $\alpha=0.05$, critical value of $r=0.361$

Najdokładniejszą ocenę plonowania uzyskano dla wskaźnika NDVI zmierzonego w połowie sierpnia, czyli około 6 tygodni przed zbiorem. Termin ten jest zbliżony z ręczną oceną plonowania wykonywaną na plantacjach ziemniaków przez rolników, na potrzeby zakładów kontraktujących ziemniaki do produkcji frytek.

WNIOSKI

1. Największą dokładność przewidywania plonu uzyskano dla wskaźnika NDVI zmierzonego w połowie sierpnia, czyli około 6 tygodni przed zbiorem.
2. Wyższe wartości współczynnika korelacji dla zależności między wskaźnikiem NDVI, a plonem ocenionym ręcznie niż między wskaźnikiem NDVI, a plonem z systemu mapowania, mogą świadczyć o większej dokładności oceny plonu metodą ręczną.
3. Usunięcie ze zbioru danych, plonów zarejestrowanych przez kombajn w pobliżu ścieżek technologicznych wpłynęło na zwiększenie zależności: wskaźnik NDVI i plon bulw.

PIŚMIENNICTWO

- Al-Gaadi K.A., Hassaballa A.A., Tola E., Kayad A.G., Madugundu R., Alblewi B., Assiri F. 2016. Prediction of potato crop yield using precision agriculture techniques. *PloS one* 11(9), e0162219. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0162219>.
- Dzwonkowski W. 2022. Rynek ziemniaka, stan i perspektyw. Wyd. Instytut Ekonomiki Rolnictw i Gospodarki Żywnościowej, Państwowy Instytut Badawczy, 49, ss. 44.
- Gómez D., Salvador P., Sanz J., Casanova J.L. 2019. Potato yield prediction using machine learning techniques and Sentinel 2 Data. *Remote Sensing* 11, 1745. <https://doi.org/10.3390/rs11151745>.
- Gómez D., Salvador P., Sanz J., Casanova J.L. 2021. New spectral indicator Potato Productivity Index based on Sentinel-2 data to improve potato yield prediction: a machine learning approach. *Int. J. Remote Sensing* 42(9): 3426–3444. <http://doi.org/10.1080/01431161.2020.1871102>.
- Nowacki W., Oleksiak T. 2020. Produkcja i podaż ziemniaków w Polsce. Analizy rynkowe. Rynek ziemniaka, stan i perspektywy 47, 11.
- Ptaszyński M., Samborski S. 2023. Ocena poprawności mapowania plonu ziemniaka. *Fragm. Agron.* 43(1): 33–43. doi: 10.26374/fa.2023.40.4.
- Pudęłko R., Dobers S. 2018. Ocena właściwości gleby i roślin z wykorzystaniem teledetekcji. W: *Rolnictwo precyzyjne*. Samborski S. (red.). Zespół autorów: Dobers E.S., Elliot S., Gnatowski T., Gozdowski D., Kozyra J., Nieróbca A., Pudęłko R., Samborski S., Stępień M., Szatyłowicz J.. Wyd. Naukowe PWN SA, Warszawa, 153–190.
- Rouse J.W., Haas R.H., Schell J.A., Deering D.W. 1973. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. 3rd ERTS Symposium, NASA SP-351, Washington DC, 10-14 December 1973, 309–317.
- Samborski S. 2018. Mapowanie plonów. W: *Rolnictwo precyzyjne*. Samborski S. (red.). Zespół autorów: Dobers E.S., Elliot S., Gnatowski T., Gozdowski D., Kozyra J., Nieróbca A., Pudęłko R., Samborski S., Stępień M., Szatyłowicz J.. Wyd. Naukowe PWN SA, Warszawa, 275–295.
- Stańko S., Mikuła A. 2021. Zmiany w produkcji, handlu zagranicznym i zużyciu krajowym ziemniaków w Polsce w latach 2001–2019. *Zesz. Nauk. SGGW – Problemy Rolnictwa Światowego* 21(1): 33–51.
- Whelan B.M., Mulcahy F. 2017. A strategy to instigate SSCM in Australian potato production. *Adv. Anim. Biosciences* 8(2): 743–748. <https://doi.org/10.1017/S2040470017000401>.

M. PTASZYŃSKI, R. LESZCZYŃSKA, S. SAMBORSKI
EVALUATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN NORMALIZED
DIFFERENCE VEGETATION INDEX AND POTATO YIELD

Summary

The aim of the research was to evaluate the relationship between normalized vegetation index (NDVI) and potato yield, variety *Innovator*. The research was conducted from June to September 2021 on a separate field area (latitude: 54°32' N, longitude: 17°17' E) of 16.9 ha in a Pomorskie voivodeship. The NDVI was derived from the satellite Sentinel-2 (European Space Agency) images. Yield was determined manually in thirty locations and with the use of a yield mapping system – YieldMasterPRO (Precision Makers B.V.), installed on a Grimme Varitron 470, 4-row harvester. The strongest relationship between NDVI and yield was observed in mid-August, about six weeks before harvest. A higher value of correlation coefficient was obtained for the relationship between NDVI and yield determined manually than for the relationship between NDVI and yield registered by the yield mapping system.

Key words: potato, precision farming, yield prediction, Sentinel-2, NDVI.

Zaakceptowano do druku – *Accepted for print* – 25.07.2023

Do cytowania – *For citation*:

Ptaszyński M., Leszczyńska R., Samborski S. 2023. Ocena zależności między znormalizowanym różnicowym wskaźnikiem roślinności, a plonem ziemniaka. *Fragm. Agron.* 40(1): 44–49.