Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki¹ Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny²

doi:10.15199/48.2019.01.14

Wykorzystanie tensometrii oporowej do przestrzennej identyfikacji zróżnicowania wybranych właściwości gruntu

Streszczenie. Współczesne rolnictwo stawiające automatyzację i mechanizację na jednym z pierwszych miejsc wymaga rozpoznania jak największej ilości parametrów eksploatacyjnych w czasie rzeczywistym. Celem badań był pomiar oraz określenie przestrzennej zmienności podstawowych parametrów eksploatacyjnych (opór roboczy) agregatu składającego się z ciągnika i głębosza biernego. Zastosowany system pomiarowy umożliwił precyzyjne wyznaczenie podstawowych wielkości eksploatacyjnych w czasie rzeczywistym natomiast integracja z GPS pozwoliła na przestrzenną wizualizację mierzonych wielkości umiejscawiając uzyskane wartości w określonym miejscu pola

Abstract. Since contemporary agricultural operations place automation and mechanization as one of the priorities, they require a sufficient knowledge of possibly largest operational parameters in real time. The purpose of research was to determine spatial variation of the basic operational parameters (working resistance) in the unit comprising a tractor and a passive subsoiler. The applied measuring system made it possible to precisely determine basic operational values in real time, while an integration with GPS allowed to provide spatial visualization of the measured parameters, placing the obtained values in particular locations of the field (The use of resistance tensometry to space identification of differentiation of selected properties of soil).

Słowa kluczowe: agregat uprawowy, głębosz, opór roboczy, mapa zmienności Keywords: cultivating unit, subsoiler, working resistance, map of variations

Wstęp

Wyodrębnienie obszarów na powierzchni pola jest bardzo złożone i wymaga zaawansowanych środków technicznych potrafiących realizować swoje funkcje w czasie rzeczywistym. Uwzględnić należy wiele czynników a dużym wyzwaniem jest jak największe uproszczenie wyznaczania granic tych obszarów na podstawie jednego czynnika i określenie jego korelacji ze zmiennością danego parametru produkcyjnego [1]. Wśród najważniejszych czynników znajdują się właściwości gleby. Badanie zmienności środowiska glebowego dla celów realizacji rolnictwa precyzyjnego. Niektóre parametry gleby są zmienne w czasie i przestrzeni i uchwycenie tej zmienności metodami tradycyjnymi jest czasochłonne, pracochłonne i kosztowne. Z tego powodu powstało wiele technologicznie zaawansowanych urządzeń, dzięki którym w trybie pomiaru ciągłego (on-the-go) z wykorzystaniem detekcji zbliżeniowej (proximal sensing) można w czasie rzeczywistym pozyskać duże ilości danych w warunkach polowych [2,3]. Jednym z bardziej istotnych i mało rozpoznanych właściwości pól uprawnych jest identyfikacja miejsc o nadmiernym podpowierzchniowym zagęszczeniu gleby. Do identyfikacji wykorzystuje się różne czujniki w tym te, które wykorzystują czujniki tensometryczne. Tensometry oporowe w porównaniu z innymi tensometrami wyróżniają się dużą czułością, co pozwala mierzyć bardzo małe odkształcenia z dużą dokładnością. Wynika to z ich charakterystyki liniowej i wiąże się z możliwością stosowania w układach pomiarowych wzmacniaczy. Niewielkie wymiary tensometru pozwalają badać zjawiska spiętrzenia naprężeń, a z powodu małych mas nadają się do badania procesów dynamicznych. Nie są wrazliwe na drgania i wstrząsy, mogą pracować w wysokich temperaturach i ciśnieniach, można je również stosować na powierzchniach zakrzywionych ponadto zapewniają łatwość sterowania i rejestracji badanych wielkości.

Układ pomiarowy

Opory robocze narzędzia wzorcowego (rys. 1) zmierzono wykorzystując ramę wyposażoną w czujniki tensometryczne zintegrowane z komputerem pomiarowym umożliwiającym rejestrację i wizualizację wyników w czasie rzeczywistym [4]. Zastosowano komputer pomiarowy Panasonic klasy CF 29 wyposażony w procesor Intel Pentium 1200 MHz i pamięć operacyjną wynoszącą 248 MB, który zintegrowano z 16 bitową kartą pomiarową firmy IOtech DaqBook 2000A charakteryzującą się błędem liniowości przetwarzania wynoszącym±1 LSB.



Rys. 1. Narzędzie wzorcowe na którym mocowano tensometry

W pomiarach wykorzystano autorskie oprogramowanie [5] częściowo zmodyfikowane w części funkcjonalnej (rys. 2).



Rys. 2. Interfejs programu obsługującego system pomiarowy

Wzmacniacz tensometryczny zasilano z akumulatora napięciem 12V poprzez mostek Gretza, umożliwiał jednoczesny pomiar wielkości z sześciu kanałów. Wzmocnienie sygnału z czujników tensometrycznych realizowano poprzez mostek Wheatstonea, a sam pomiar oparty był na sygnale niezrównoważenia (rys. 3). Wymiary ramy tensometrycznej odpowiadały położeniom punktów układu zawieszenia maszyny na ciągniku, a jedynie narzędzie odsunęło się nieznacznie ku tyłowi (0,11 m). W układzie tym mierzono poziome i pionowe składowe sił działających w punktach połączenia maszyny z ciągnikiem.



źródło: opracowanie wspólne z Akademią Górniczo-Hutniczą Rys. 3. Schemat montażowy układu tensometrów

Rama tensometryczna w kształcie trójkąta, została wyposażona w czujniki mierzące siłę w cięgłach, wieszakach i łączniku trzypunktowego układu zawieszenia narzędzi na ciągniku [4] (rys. 4).



Rys. 4. Widok ogólny ramy tensometrycznej: Fx – siła pozioma działająca w łączniku, FxI – siła pozioma działająca w cięgle lewym, Fxp – siła pozioma działająca w cięgle prawym, FzI – siła pionowa działająca w wieszaku lewym, Fzp – siła pionowa działająca w wieszaku prawym, Fy – siła pozioma działająca w kierunku prostopadłym do kierunku jazdy



Rys. 5. Układ łączników na których naklejano tensometry

Czujniki umieszczone w ramie tensometrycznej stanowiły tensometryczne przetworniki pomiarowe pracujące w układzie półmostkowym, a sygnał pomiarowy był proporcjonalny do wartości naprężeń wzdłużnych specjalnych łączników, na których naklejono tensometry (rys. 5). Zastosowano tensometry foliowe TFx-6 o oporności 354 ±0,2% Ω i współczynniku czułości odkształceniowej K=2,15±0,5% zbudowane z Constantanu i przyklejone na elementy wykonawcze (łączniki) klejem TB1731.

Czujniki cięgieł zbudowano z czterech tensometrów dwa tensometry pomiaru siły i dwa tensometry eliminujące wpływ temperatury na dokładność pomiarów. Zakres pomiarowy tensometrów wynosił od 0,01 kN do 20 kN. Przyjęto założenie, że w całym okresie pomiarowym składowe sił pozostają poziome i pionowe w konsekwencji czego wyeliminowano pomiar kątów. Wszystkie długości niezbędne do obliczeń są wielkościami konstrukcyjnymi, niezmiennymi w czasie pomiaru. Stosując więc, przy elektryczne płaszczyznowym dynamometrowaniu, wielkości sumowanie sił uzyskano maksymalne uproszczenie wzorów przeliczeniowych wykorzystywanych do podstawowej oceny badanego agregatu. Zastosowane tensometry oporowe wymagały skalowania, które przeprowadzano przed każdą serią pomiarową, jak również po wykonaniu pomiarów w celach kontrolnych. Skalowanie polegało na zadawaniu znanych wartości wielkości mierzonej i odczytaniu odpowiadających im wielkości sygnału wyjściowego. Zadawano obciążenia wynoszące kolejno: 10-20-...100% maksymalnego zakresu wielkości mierzonej. W tym celu skonstruowano i pozytywnie zweryfikowano stanowisko badawcze [6], gdzie w trakcie pomiarów opierano się na wskazaniach czujników ciśnienia i odległości.

Do wyznaczenia współrzędnych geograficznych wykorzystano odbiornik NovAtel zasilany z instalacji elektrycznej ciągnika. Odbiornik NovAtel umieszczono na dachu ciągnika i połączono z komputerem pokładowym poprzez złącze RS232 konfigurowano przy pomocy programu GPS Monitor. Wszystkie układy pomiarowe były zintegrowane z komputerem przenośnym klasy CF-29 współpracującym z kartą pomiarową DaqBook/200A.

Tworzenie map cyfrowych

Do interpolacji mierzonych wielkości traktowanych, jako zmienne deterministyczne wykorzystano najprostszą, szybką i niewymagającą modelowania [7,8] metodę odwrotnych odległości IDW (Inverse Distance Weighted).

W metodzie IDW rola otaczających punkt estymowany danych jest w liczonej średniej zróżnicowana w zależności od odległości.

$$\hat{Z}_{j} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{Z_{i}}{h_{ij}^{\beta}}}{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{h_{ij}^{\beta}}}$$

gdzie: Zj- wartość cechy Z estymowanej w punkcie j, Zi – wartość cechy Z zmierzona w punkcie i (jednym z n punktów danych w otoczeniu), hij – efektywna odległość między punktami i i j, β - wykładnik potęgowy – waga odległości.

Zaleta takiego podejścia iest możliwość odzwierciedlenia miejscowego zróżnicowania atrybutów interpolowanej powierzchni. W obliczeniach bierze udział tvlko pewna ograniczona liczba punktów pomiarowych znajdujących się w zadanym otoczeniu punktu interpolacji, algorytm zyskuje możliwość przetwarzania dużych zbiorów danych. Do interpolacji danych punktowych, wizualizacji map wektorowych i rastrowych, wykonania stosownych operacji na mapach w postaci logicznych zapytań i wynikającej z nich przestrzennej selekcji danych jak również nakładania wzajemnie zależnych danvch poszczególnych map zrealizowano z wykorzystaniem oprogramowania ERSI ArcView GIS 3.3 (rys. 6). Przy rozdzielczość interpolacji zastosowano 10m. Przy wykonywaniu map przestrzennego zróżnicowania mierzonych wielkości przyjęto takie same parametry interpolacji, tj. wagę wynoszącą 2, natomiast jako liczbę sąsiadujących punktów przyjęto 12 [9].



Rys. 6. Okno programu wykorzystanego dorysowania map cyfrowych

Zastosowane oprogramowanie umożliwiało zapisywanie sporządzonych map wektorowych w formacie "shp", co jest szczególnie istotne w przypadku map operacyjnych będących mapami wynikowymi stosowanymi do precyzyjnego prowadzenia agregatu po polu.

Wyniki badań

Zagęszczenie gleby identyfikowano w sposób ciągły, prowadząc narzędzie wzorcowe w systemie siłowej regulacji głębokości, przy czym wartość początkową siły granicznej wyznaczono doświadczalnie. Przebieg wartości siły wypadkowej oporu na przykładowym odcinku pomiarowym przedstawiono na rysunku 7.



Rys. 7. Układ łączników na których naklejano tensometry

Największe zróżnicowanie w wartości siły wypadkowej wystąpiło pomiędzy 20 a 30 metrem odcinka pomiarowego, gdzie skrajne wartości siły wynosiły odpowiednio 1,6 kN – minimalna i 2,8 kN maksymalna. Należy jednocześnie zwrócić uwagę na sporadyczny charakter skrajnych wartości sił odnosząc go do czasu trwania. Wahania w wartości siły wypadkowej wynikają ze zmienności glebowej, na której przeprowadzano badania.

Natomiast na rysunku 8 przedstawiono przestrzenny rozkład wartości siły odnotowanej w łączniku górnym trzypunktowego układu zawieszenia narzędzia podczas głęboszowania ścierniska. Odnotowano że średnia wartość odnotowanej siły plasowała się na poziomie 3,45 kN o zwrocie działania zgodnym z kierunkiem jazdy agregatu, dlatego znak przy wartości siły był ujemny. Wartość siły charakteryzowała się wysokim współczynnikiem zmienności wynoszącym 26 %, co świadczy o dużym zróżnicowaniu ośrodka glebowego, w którym pracował lemiesz głębosza. Analizując przestrzenny rozkład zmienności mierzonej siły można zaobserwować, że wartości maksymalne sił wynoszące ok. 5 kN odnotowywane były głownie w środkowej części pola.



Rys. 8. Przestrzenny rozkład zmienności wartości siły w łączniku TUZ – cięgło Fx

Na rysunku 9 przedstawiono przestrzenny rozkład poziomej wartości składowej siły oporu roboczego głębosza odnotowanej w cięgle prawym (Fxp). Średnia wartość zmierzonej siły wynosiła 4 kN i była o 65 % większa w stosunku do zarejestrowanej minimalnej wartości siły. Współczynnik zmienności plasował się na poziome 23 %, co świadczy o znacznym zróżnicowaniu siły odnotowanej w cięgle prawym trzypunktowego układu zawieszenia narzędzia ciągnika.



Rys. 9. Przestrzenny rozkład zmienności wartości siły w cięgle prawym TUZ (Fxp)

Analizując zwizualizowany przestrzenny rozkład wartości siły (rys. 9) odnotowanej w prawym cięgle TUZ narzędzia zaobserwowano ze zakres oscylacji mierzonej wielkości wynosił 1,5 kN do ok. 6 kN, niemniej istotnym jest fakt że minimalne wartości siły odnotowywano głównie w jednym miejscu pola (kolor jasno czerwony) natomiast maksymalne wartości wstępowały najczęściej na obrzeżach pola i miały charakter incydentalny.

Na rysunku 10. przedstawiono przestrzenny rozkład wartości siły odnotowanej w prawym wieszaku TUZ ciągnika zagregatowanego z głęboszem (Fzp).

Odnotowano że średnia wartość odnotowanej siły w prawym wieszaku TUZ ciągnika plasowała się na poziomie 1,22 kN i wynikała głównie z kopiującego sposobu regulacji głębokości pracy lemiesza. Wartość siły charakteryzowała się niewielkim współczynnikiem zmienności wynoszącym

36 %, co świadczy o małym zróżnicowaniu ośrodka glebowego, w którym pracował lemiesz głębosza. Analizując przestrzenny rozkład zmienności mierzonej siły (rys. 9) można zaobserwować, że wartości maksymalne sił wynoszące ok. 2,7 kN odnotowywane były głownie w skrajnej części pola (kolor ciemno brązowy). Natomiast najmniejsze wartości sił plasujące się na poziomie 0,6 kN odnotowano przede wszystkim w północnej części pola. Zaobserwowano że zarówno w ujęciu liczbowym jak i przestrzennym zmienność wartości zmierzonej siły jest znikoma i wynika głównie ze kopiującego sposobu regulacji głębokości pracy narzędzia, w której wieszaki trzypunktowego układu zawieszenia narzędzia ciągnika są obciążane w nieznacznym stopniu lub wcale.



Rys. 10. Przestrzenny rozkład zmienności wartości siły w wieszaku prawym TUZ (Fzp)



Rys. 11. Przestrzenny rozkład zmienności wartości siły wypadkowej oporu roboczego głębosza w TUZ

Na rysunku 11 przedstawiono przestrzenny rozkład wartości siły oporu roboczego odnotowanego podczas głęboszowania w przypadku zastosowania kopiującego sposobu regulacji głębokości pracy lemiesza głębosza. Średnia wartość oporu roboczego odnotowana w badanej kombinacji doświadczenia wynosiła 5,4 kN i charakteryzowała się 23% współczynnikiem zmienności.

Zakres oscylacji wartości mierzonej plasował się na poziomie 7 kN a wartość średnia odnotowanej siły jest o 60% wyższa w stosunku do minimalnej wartości siły odnotowanej w obrębie badanego pola. Zaobserwowano dużą zmienność w wartościach mierzonej siły. Wyższym oporem roboczym charakteryzowały się obszary położone na krańcach pola natomiast mniejsze wartości oporu roboczego odnotowywano w centralnej części pola. Duże zróżnicowanie w wartościach oporu roboczego wynikać może bezpośrednio z właściwości fizycznych gleby, na której przeprowadzono doświadczenie, ponadto zastosowany system regulacji głębokości pracy narzędzia uniemożliwiał ingerencję w wartość oporu, ponieważ stała głębokość pracy i stała prędkość jazdy ciągnika była gwarantem odwzorowania mozaikowatości gleby poprzez siłę oporu roboczego narzędzia.

Podsumowanie

Zastosowana metoda pomiaru dała zadowalające efekty praktyczne a odniesiona do powierzchni pola generuje efekty poznawcze w określaniu charakterystyki zmienności zagęszczenia gleby. Istnieje zatem możliwość identyfikacji przestrzennej mierzonych wielkości, co pozwala na automatyzację technologii eliminacji anomalii zwięzłości gruntu. Tak sporządzone mapy pola mogą stanowić podstawę do map wykonawczych realizowanych przez układy mechatroniczne ciągników, które są wyposażone w systemy do jazdy autonomicznej, tj. bez udziału operatora.

Autorzy: dr hab. inż. Paweł KIEŁBASA, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, ul. Balicka 116B, 30-149 Kraków, E-mail: Pawel.Kielbasa@urk.edu.pl, dr inż. Tomasz DRÓŻDŻ, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, ul. Balicka 116B, 30-149 Kraków, E-mail: Tomasz.Drozdz@ur.krakow.pl, dr inż. Mirosław ZAGÓRDA, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, ul. Balicka 116B, 30-149 Kraków, E-mail: Miroslaw.Zagorda@urk.edu.pl, prof. dr hab. inż. Sławomir KURPASKA, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, ul. Balicka 116B, 30-149 Kraków, E-mail: rtkurpas@cyf-kr.edu.pl, Zdzisław POSYŁEK, Politechnika Częstochowska, Wydział elektryczny, ul. J.H. Dąbrowskiego 69, 42-200 Częstochowa E-mail: zdzichu@el.pcz.czest.pl;

LITERATURA

- Corwin D.L., Lesch S.M. 2010. Delineating site-specific management units with proximal sensors. W: Geostatistical Applications for Precision Agriculture, Oliver M. (Ed.) Springer Science+ Business Media B.V., rozdz. 6, 139-165.
- [2] Maria Walczykova, Paweł Kiełbasa, Mirosław Zagórda. 2016. Pozyskanie i wykorzystanie informacji w rolnictwie precyzyjnym. Polskie Towarzystwo Inzynierii Rolniczej – Monografia. ISBN 978-83-64377-03-7.
- [3] Kiełbasa, P. 2007. Pomiar wybranych parametrów eksploatacyjnych agregatu uprawowego. Inżynieria Rolnicza, 7(95), 79-86.
- [4] Kiełbasa P. 2011. Zintegrowana metoda oceny nakładów energetycznych na uprawę podstawową w aspekcie mozaikowatości gleby. Inżynieria Rolnicza. Nr 3(128).
- [5] Kiełbasa P., Budyn P., Rad M. 2005. Program komputerowy do pomiaru parametrów eksploatacyjnych agregatów rolniczych. Inżynieria Rolnicza, nr. 10 (70), s. 161-170
- [6] Kiełbasa P., Budyn P., Nykliński Grodny K. 2005. Stanowisko skalowania sił w cięgłach trzypunktowego układu zawieszenia narzędzi. Inżynieria Rolnicza, nr. 10 (70), s. 151-159.
- [7] Faber A. 1998c. System rolnictwa precyzyjnego. II. Analiza i interpretacja map plonów. Praca przeglądowa. Fragmenta Agronomica (XV). Nr 1(57). s. 16-27.
- [8] Mirosław Zagórda, Tadeusz Juliszewski, Paweł Kiełbasa, Piotr Nawara, Tomasz Dróżdż, Karolina Trzyniec. 2017. Control of electrovalve assembly based on signal from trimble cfx-750 navigation panel with field-iq module. Przegląd Elektrotechniczny, nr 12, s. 199-203.
- [9] Walczykova M., Zagórda M., Aboud Z. 2005b. Zmienność przestrzenna gleby w aspekcie jej wybranych właściwości fizycznych. Inżynieria Rolnicza. Nr 10(70). s. 385-394