

Jerzy CHOJNACKI, Marcin PAWLISZYN, Andrzej GRIEGER

OCENA NIEDOKŁADNOŚCI PROWADZENIA AGREGATU CIĄGNIKOWEGO ZA POMOCĄ NAWIGACJI SATELITARNEJ

Streszczenie

W artykule zaprezentowano wyniki pomiarów różnic pomiędzy rzeczywistymi odległościami torów jazdy ciągnika rolniczego po polu a założoną ich odległością. Niedokładności powstały podczas prowadzenia ciągnika za pomocą odbiornika GPS.

WSTĘP

Za pomocą globalnego systemu pozycjonowania (*Global Positioning System – GPS*) w nowoczesnym rolnictwie możliwe jest określenie położenia maszyn rolniczych na polu oraz przeprowadzanie jednoczesnej rejestracji takich danych, jak pomiar wielkości plonu lub zasobność gleby w składniki mineralne. W oparciu o te dane, dzięki technikom Systemu Informacji Geograficznej (*Geographic Information System – GIS*) możliwe jest precyzyjne dawkowanie nawozów mineralnych i pestycydów według wcześniej sporządzonych map pól i przyjętych dawek. Dokonuje się tego czasie wykonania zabiegów maszynami sterowanymi przy pomocy GPS [4].

Najprostsze prowadzenie ciągnika za pomocą nawigacji satelitarnej polega na wyznaczeniu toru ruchu pojazdu przesuniętego równolegle do poprzedniego o szerokość pracy maszyny a operator na podstawie wskazań odbiornika stara się jak najdokładniej kierować agregatem. Zaawansowane systemy prowadzenia ciągników pozwalają na połączenie modułów odbierających sygnały z satelitów i wyznaczających na ich podstawie trasy, do dodatkowych urządzeń sterujących jazdą ciągnika, zastępujących pracę operatorów. Są to serwomotory mechaniczno-elektryczne lub układy hydrauliczne utrzymujące kierunek jazdy oraz w niektórych systemach, dodatkowo kierujące ciągnikiem podczas wykonywania uwojów. Połączenie satelitarne sterowania ruchem ciągnika z automatyką układów dobierających wartość promienia skrętu maszyny w zależności od objętości ładunku znajdującego się w zbiornikach maszyn umożliwia wykonywanie najbardziej optymalnych uwojów, ograniczając w ten sposób straty paliwa i zabezpiecza agregaty przed przewróceniem [1]. Inną zaletą tych urządzeń, poza dokładnością jest to, że operator pojazdu może się skupić na kontrolowaniu innych parametrów pracy wykonanych zabiegów poza utrzymywaniem właściwego kierunku jazdy. Ponieważ dodatkowe urządzenia prowadzące automatycznie ciągniki są drogie, najpowszechniej więc stosowane są proste, tanie systemy prowadzenia agregatów ciągnikowych po polu, które wykorzystują jedynie przenośne odbiorniki GPS montowane w kabinach ciągników [2].

Precyzja wykonanych zabiegów za pomocą odbiorników GPS na polu zależy od dokładności prowadzenia agregatu. To zaś zależy od:

- dokładności systemu pozycjonowania wynikającej m.in. z ilości satelitów biorących udział w pozycjonowaniu,
- jakości wykonania odbiornika i jego zegara wewnętrznego oraz wprowadzonego oprogramowania,
- jakości i miejsca zamontowania na pojeździe anteny i kompensacji błędów wynikających z kąta nachylenia agregatu,
- błędów jonosferycznego i troposferycznego,
- efektu wielotorowości sygnałów GPS, które mogą docierać do odbiornika zarówno bezpośrednio, jak i po odbiciu od innych obiektów, takich jak: drzewa, budynki, inne pojazdy, instalacje przemysłowe lub wynikają z rzeźby terenu [6].
- źródła korekcji sygnału.

Uzyskiwane obecnie dokładności rzędu 1-2 centymetrów umożliwiają bardzo precyzyjne prowadzenie agregatów. Czułość odbiorników GPS pozwala na dokładne mierzenie prędkości przemieszczania się obiektu w czasie rzeczywistym. W badaniach przeprowadzonych nad wykorzystaniem odbiorników do pomiaru prędkości jazdy ponad 90% błędów w prędkości była mniejsza niż 0,05 m/s, [3]. Poza czynnikami technicznymi typowymi dla odbiorników GPS, na dokładność prowadzenia agregatów może mieć wpływ również stan techniczny pojazdów a w szczególności ich układów kierowniczych, umiejętności operatorów oraz czytelność systemów przekazywania informacji urządzenia prowadzącego. Czytelność ta wiąże się z dokładnością ustawienia sygnalizacji panelu z diodami świetlnymi lub ekranu urządzenia, które powinny precyzyjnie informować o rozmiarze zboczenia agregatu z ustalonego toru. Na dokładność prowadzenia ciągnika pływać może również czynnik psychologiczny. Dotychczasowe metody sterowania agregatem ciągnikowym po polu wykorzystują do tego celu znacznik mechaniczny, który rysuje na powierzchni pola znaki, po których prowadzi się koło ciągnika, lub na który nastawia się „system celowniczy” pojazdu. Urządzenia GPS wyznaczają natomiast wirtualne linie na małych ekranach, wg których powinien poruszać się pojazd. Sterowanie ciągnikiem tak, aby dokładnie poruszał się po wyznaczonym torze może sprawiać problemy kierowcom.

PRZEBIEG BADAŃ I WYNIKI

Celem badań była ocena dokładności ręcznego sterowania agregatem ciągnikowym z przyczepionym opryskiwaczem polowym na podstawie informacji uzyskiwanych z typowego modułu do nawigacji satelitarnej.

Do badań użyto odbiornika Centerline 220 firmy TeeJeet, który był zamontowany w nowym ciągniku Same Iron 200. Do ciągnika przyczepiony był opryskiwacz polowy. Dokładność przejazdów oceniano na podstawie pomiarów odległości pomiędzy śladami wyznaczanymi przez badany agregat na polu. Do wykonywania śladów przejazdu pojazdu użyty został znacznik, którym był żab sprężynowy, przykręcony na środku ramy, zamontowanej do trypunktowego układu zawieszenia narzędzi, z przodu ciągnika (rys. 1). Odbiornik Centerline 220 był umieszczony w środkowym miejscu na przedniej szybie pojazdu za pomocą przyssawki tak, aby wyświetlacz był na wprost operatora. Kabinę ciągnika wraz z urządzeniem przedstawiono na rys. 2. Do odbiornika były doprowadzone dwa przewody. Pierwszy z nich to kabel zasilania 12 V podłączony do gniazda zapalniczki. Drugi to przewód połączony z anteną o częstotliwości 5 Hz, zamocowaną na zewnątrz, na dachu ciągnika w środkowym miejscu. Agregatem sterował rolnik z dwunastoletnim doświadczeniem w prowadzeniu ciągników rolniczych po polu. Do wykonania doświadczenia opracowano tor poruszania się agregatu oraz zaznaczono miejsca wykonywania pomiarów odległości pomiędzy śladami pozostawionymi na glebie przez znacznik. Schemat toru z miejscami wykonywania pomiarów przedstawiono na rys. 3.



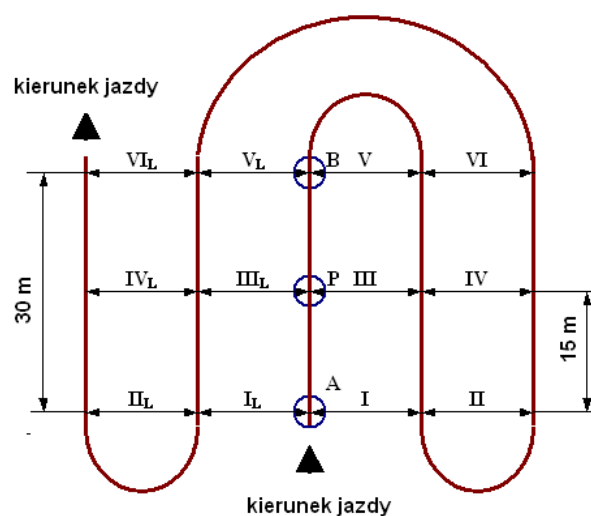
Rys. 1. Ciągnik Same Iron 200 ze znacznikiem: 1 – podnośnik hydrauliczny, 2 – rama znacznika, 3 – ząb sprężynowy

Źródło: Badania własne.



Rys. 2. Odbiornik Centerline 220 zamocowany na szybie ciągnika

Źródło: Badania własne.



Rys. 3. Schemat toru przejazdu agregatu: A, B, C – punkty na linii pomiarowej; I, II, III, V, VI – odległości pomiędzy pomiarami na linii śladu z prawej strony; I_L, II_L, III_L, IV_L, V_L, VI_L – odległości pomiędzy pomiarami na linii śladu z lewej strony

Źródło: Badania własne.

Długość odcinka pomiarowego wynosiła 30 m. Pomiaru dokonywano za pomocą taśmy pomiarowej pomiędzy kolejnymi śladami w trzech liniach: na początku toru, w połowie toru i na końcu.

Tor podzielono na część lewą i prawą. Założona odległość pomiędzy śladami, którą należało wyznaczyć posługując się odbiornikiem GPS, wynosiła 18 m i wynikała z szerokości pracy opryskiwacza.

Przejazd agregatem był wykonany z prędkościami 3,6, 7,6, i 10,0 km/h. Operator przed wykonaniem zadania trenował wcześniej sterowanie przejazdami za pomocą odbiornika Centerline przez ok. dwie godziny. Komputer odbiornika GPS został zaprogramowany na szerokość 18,0 m i jazdę równoległą po linii prostej. Kierunek jazdy pojazdu utrzymywano na podstawie ilości świecących się na panelu odbiornika diod i wskazań na ekranie odbiornika wartości odchyłki od wyznaczonego kursu (rys. 4). Wyniki pomiarów odległości pomiędzy śladami zaznaczonymi na powierzchni pola podczas przejazdów, wg wskazań odbiornika Centerline, przedstawiono w tabeli 1.



Rys. 4. Widok odbiornika Centerline 220: a – panel z diodami, b – ekran odbiornika
Źródło: Badania własne.

Tab. 1. Wyniki pomiaru odległości pomiędzy śladami dla różnych prędkości jazdy

Punkty pomiarowe	Wyniki pomiarów odległości [m] dla:		
	3,6 km/h	7,6 km/h	10,6 km/h
I	18,9	18,8	18,3
II	18,3	19,6	18
III	18,75	19,25	18,4
IV	18,8	18,29	17,6
V	18,25	19,15	18,55
VI	18	17,4	17,6
I _L	17	19,4	17,4
II _L	18,3	18	18,9
III _L	17,8	19,7	17,9
IV _L	17,6	18,05	17,8
V _L	17,8	17,7	18,2
VI _L	17,7	18,86	17,4
Średnio	18,1	18,68	18

Źródło: Opracowanie własne.

Aby określić średnią niedokładność bezwzględną wykonania przejazdu, posłużono się wzorem służącym do obliczania odchylenia standardowego – niedokładności bezwzględnej [5].

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (1)$$

gdzie:

- s – niedokładność bezwzględna,
- n – liczba powtórzeń,
- x_i – wartość pomiaru,
- \bar{x} – wartość zaprogramowana – 18,0 m
- $i = 1, 2, \dots, n$.

Do oceny średniej niedokładności względnej posłużono się wzorem (2) służącym do obliczenia współczynnika zmienności.

$$CV = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100\% \quad (2)$$

gdzie:

CV – niedokładność względna.

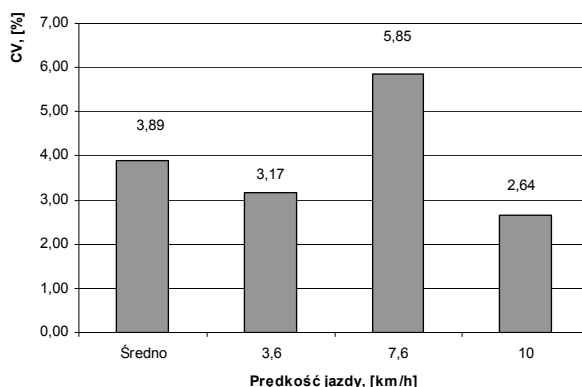
W tabeli 2 przedstawiono wyznaczone za pomocą wzoru 1 wyniki niedokładności względnej. Różnice pomiędzy założoną odległością pomiędzy śladami a rzeczywistymi odległościami dochodziły do 1,7 m. Były to różnice dodatnie i ujemne.

Tab. 2. Wartości średnich niedokładności względnych pomiędzy śladami przejazdów

Prędkości jazdy [km/h]	Niedokładność bezwzględna [m]
3,6	0,57
7,6	1,05
10	0,48

Źródło: Opracowanie własne.

Na wykresie 1 przedstawiono średnią niedokładność względną wyznaczenia śladów przejazdu dla przyjętych prędkości poruszania się agregatu. Skrajne niedokładności względne znacznie przekroczyły te wartości i dochodziły do 9,44%. Zaobserwowana różnica pomiędzy wartością prędkości przejazdu wyświetlaną przez odbiornik GPS a wskazaniem prędkościomierza w ciągniku wynosiła 0,3 km/h. Wartości współczynnika zmienności odchyłek pomiędzy rzeczywistą szerokością przejazdów a założoną wartością – (niedokładności względnych) przedstawione zostały na rysunku 5. Jakkolwiek średnie niedokładności bezwzględne i względne nie wskazują na zbyt duże odchyłki rzeczywistych odległości pomiędzy założoną odległością a rzeczywistymi, to skrajne przypadki są na tyle duże, że w przypadku opryskiwania mogą spowodować powstanie miejsc całkowicie pozbawionych osadzonych pestycydów lub miejsc z przesyleniem pestycydów. W jednym i drugim przypadku jest to zjawisko niekorzystne.



Rys. 5. Wartości współczynnika zmienności odchyłek pomiędzy rzeczywistą szerokością przejazdów a założoną wartością

Źródło: Opracowanie własne.

PODSUMOWANIE

Zauważono, że podczas przemieszczania się agregatu z prędkością 7,6 km/h wystąpił największy błąd pomiędzy rzeczywistą szerokością przejazdów a zaprogramowaną jej wartością.

Wystąpienie znacznych niedokładności w prowadzeniu ciągnika mogło to być spowodowane nieuwagą operatora, naprowadzającego maszynę na podstawie wskazań wyświetlacza diodowego składającego się z jedenastu diod, których paląca się ilość podczas jazdy bardzo szybko się zmieniała, co w efekcie prowadziło do powstawania coraz większych błędów.

Ponieważ największa niedokładność w prowadzeniu ciągnika powstała przy środkowej prędkości jazdy uznano, że nie ma zależności pomiędzy prędkością jazdy a uzyskanymi niedokładnościami prowadzenia agregatu po polu za pomocą odbiornika GPS – Centerline 220.

Niedokładności prowadzenia agregatu rolniczego za pomocą Odbiornika GPS mogą spowodować występowanie nierównomierności wykonywanych zabiegów.

BIBLIOGRAFIA

1. Chojnacki J.: *Metody prowadzenia przyczepianych maszyn rolniczych po ścieżkach technologicznych*, Słupskie XIII Forum Motoryzacji. Innowacje w motoryzacji dla ochrony środowiska, Słupsk, 2009, s. 37-44.
2. Chojnacki J.: *Precyzyjne prowadzenie ciągnika rolniczego za pomocą nawigacji satelitarnej*, Słupskie XII Forum Motoryzacji, Innowacje w motoryzacji dla ochrony środowiska, Słupsk, 2009, s. 63-68.
3. Chosa T., Omine M., Itani K.: *Dynamic performance of global positioning system velocity sensor for extremely accurate positioning*, Biosystems Engineering 97, 2007, s. 3-9.
4. Gozdowski D., Samborski S., Sioma S.: *Rolnictwo Precyzyjne*, SGGW, Warszawa, 2007.
5. Januszewicz E. K., Puzio-Idźkowska M.: *Doświadczalnictwo Rolnicze*, UWM, Olsztyn, 2002.
6. Kęska W., Ratajczak P.: *Badania dokładności pomiaru pozycji wyznaczonej za pomocą wybranego odbiornika GPS w warunkach statycznych i dynamicznych*, Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering, 2005, Vol. 50(1) s. 10-15.

EVALUATION OF INACCURACY OF TRACTOR AGGREGATE DRIVING WITH SATELLITE NAVIGATION

Abstract

There were presented in the paper results of measurement of differences between real distances of the drive of a agriculture tractor races on a field and the established distance. These differences were as a result during of drive of the tractor by means of the receiver GPS

Autorzy:

dr inż. **Jerzy Chojnacki** – Politechnika Koszalińska

mgr inż. **Marcin Pawliszyn** – Politechnika Koszalińska

dr hab. inż. **Andrzej Grieger** – Politechnika Koszalińska, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie