

PORÓWNANIE WYBRANYCH BŁĘDÓW PRZEJAZDÓW AGREGATU ROLNICZEGO PROWADZONEGO MANUALNIE ORAZ AUTOMATYCZNIE

Karol Garbiak, Jan Jurga

*Katedra Budowy i Użytkowania Urządzeń Technicznych,
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie*

Streszczenie. W artykule porównane zostały dwa systemy prowadzenia ciągnika rolniczego. Pierwszy z nich, tradycyjny sposób prowadzenia agregatu ciągnikowego, polegający na aktywnej kontroli toru jazdy przez operatora. System automatyczny wykorzystywał nawigację satelitarną i był wyposażony w układ automatycznego prowadzenia pojazdu po polu. Badania zostały przeprowadzone w gospodarstwie rolnym położonym w województwie zachodniopomorskim w kwietniu i maju 2012 roku. Celem pracy było porównanie manualnego oraz automatycznego systemu prowadzenia ciągnika rolniczego pod względem odchyłeń odległości od pożądanego toru jazdy po polu oraz pól powierzchni nakładek i omijaków. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że system automatycznego prowadzenia ciągnika wykorzystujący nawigację satelitarną był dokładniejszy i pozwolił ograniczyć powierzchnię nieobrobioną do 0,20%, zaś dwukrotnie obrobioną do 0,21% powierzchni pola.

Słowa kluczowe: GPS, systemy prowadzenia pojazdów rolniczych, nakładka, omijak, rolnictwo precyzyjne

Wstęp

Rozwój współczesnego rolnictwa następuje przede wszystkim w oparciu o nauki biologiczne, techniczne i społeczne. O ile w dobie zielonej rewolucji w rozwoju tym dominowały nauki biologiczne, to obecnie obserwuje się wyraźny zwrot ku zdobyczom techniki. Wynika to z drogi, jaką przeszło rolnictwo w ostatnich latach oraz z miejsca w jakim się teraz znajduje. Celem dalszego rozwoju jest oczywiście utrzymanie tempa wzrostu produkcji rolniczej, pozwalającego na wyżywienie ludności przy pełnym odtworzeniu zasobów. Ten model rozwoju jest znany pod nazwą rozwoju zrównoważonego. Orientacja rolnictwa na postęp techniczny uzasadnia stwierdzenie, że rolnictwo precyzyjne staje się lokomotywą i nieodzownym warunkiem rozwoju zrównoważonego. Biorąc pod uwagę zadania stawiane przed rolnictwem precyzyjnym, takie jak: minimalizacja nakładów, poszanowanie środowi-

ska, ochrona zasobów naturalnych i ludzkich oraz dbałość o godne i bezpieczne warunki pracy, a następnie dostrzegając ich zbieżność z ogólnym celem rozwoju zrównoważonego należy uznać, że rolnictwo precyzyjne jest ważnym, jeśli nie najważniejszym, narzędziem gwarantującym ten rozwój [Doruchowski 2008; Gozdowski i in. 2007; Zalewski 2000].

Jednym z narzędzi rolnictwa precyzyjnego są systemy automatycznego prowadzenia agregatów maszynowych. Obecnie dostępnych jest kilka takich systemów, różniących się swoimi możliwościami, przez co można wybrać odpowiedni system do prowadzonej działalności rolniczej. Do głównych zalet stosowania automatycznych systemów prowadzenia należą przede wszystkim redukcja błędów przejazdów, wydłużony czas pracy przy złych warunkach widoczności, a co za tym idzie zwiększenie efektywności wykonywanych zabiegów agrotechnicznych i zmniejszenie kosztów występujących podczas pracy agregatów rolniczych [Dreszer 2005; Kaszkowiak 2007; Macák i in. 2011].

Według Huyghebeart'a i in. [2007] podczas wykonywania wybranych zabiegów agrotechnicznych agregatem o szerokościach roboczych 8 i 20 m, systemy prowadzenia wykorzystujące nawigację satelitarną pozwalają zmniejszyć powierzchnie nieobrobione oraz powierzchnie obrobione dwukrotnie do poziomu od 2 do 8%.

Na potrzeby niniejszej pracy powierzchnię, która podczas wykonywania sąsiednich przejazdów roboczych, została obrobiona dwukrotnie nazwano „nakładką”. W przypadku, gdy sąsiednie przejazdy robocze były od siebie oddalone i w konsekwencji część powierzchni pola nie została obrobiona, używano terminu „omijak”.

Celem pracy było porównanie manualnego oraz automatycznego systemu prowadzenia ciągnika rolniczego pod względem odchyień odległości od pożądanego toru jazdy po polu oraz pól powierzchni nakładek i omijaków. Ciągnik obsługiwany był przez doświadczonego operatora. W przypadku systemu manualnego jego zadanie polegało na prowadzeniu ciągnika zagregatowanego z „wirtualny” narzędziem o szerokości roboczej 20 m. Podczas przejazdów roboczych prowadzonych w systemie automatycznym, rola operatora ograniczała się do wykonywania nawrotów oraz nadzorowania urządzeń technicznych.

Materialy i metody

Badania zostały przeprowadzone w indywidualnym gospodarstwie rolnym położonym w województwie zachodniopomorskim, powiat choszczeński, gmina Drawno, w dniach od 25 kwietnia do 5 maja 2012. Badania przeprowadzono na łące o powierzchni 9,08 ha. Obszar, na którym przeprowadzono doświadczenie znajdował się około 300 m od granicy lasu, a na jego terenie nie występowały przeszkody, które mogłyby wpływać na dokładność wykonywania przejazdów.

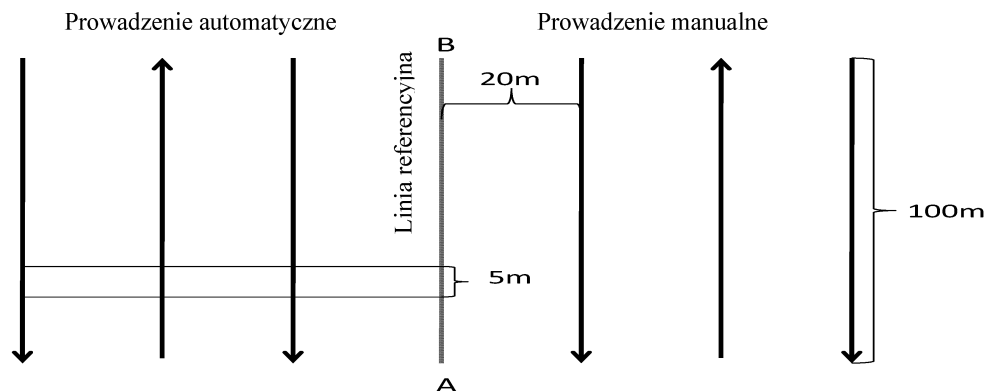
W badanym gospodarstwie zabiegi agrotechniczne tj. nawożenie użytków zielonych i przedsiewne nawożenie zbóż prowadzi się rozsiewaczem o szerokości roboczej 20 m. Podczas takiego zabiegu uprawowego agregat nie ma wytyczonego toru jazdy np. w postaci ścieżek technologicznych i porusza się jedynie w oparciu o umiejętności operatora. W trakcie takiego prowadzenia mogą występować błędy, których efektem jest nadmierne nawożenie (nakładki) lub brak nawozu (omijaki).

Do przeprowadzenia badań wykorzystano ciągnik rolniczy John Deere 7430 Premium, który zagregatowano poprzez trzypunktowy układ zawieszenia z narzędziem składającym

się z ramy i zamocowanego do niej kroju tarczowego, wykorzystywanego jako znacznik toru jazdy. Za pomocą elektronicznego systemu sterowania podnośnikiem ciągnika podnoszono lub w przypadku pozycji roboczej opuszczano urządzenie. Krój tarczowy usytuowany był w osi ciągnika i podczas przejazdów roboczych pozostawiał na łące ślad toru przejazdu ciągnika.

W badaniach zastosowano dwa systemy prowadzenia pojazdu rolniczego. Pierwszy system prowadzenia oparty był wyłącznie na umiejętnościach operatora (system manualny). Drugi system korzystał z nawigacji satelitarnej GPS-NAVSTAR i był wyposażony w układ automatycznego prowadzenia pojazdu po polu firmy John Deere. Układ składał się z wyświetlacza GreenStar 2630 i zestawu kierowania AutoTrack Universal 200 [Materiały firmowe John Deere]. Tor przejazdu w systemie automatycznym był programowany przez operatora. Zastosowane urządzenie do nawigacji satelitarnej korzystało z sygnału korekcyjnego SF1. Antena odbiornika sygnałów nawigacyjnych była umieszczona w centralnym punkcie dachu kabiny ciągnika. Dzięki przyjętym rozwiązaniom, zakładana dokładność prowadzenia pojazdu wynosiła $\pm 30\text{cm}$ [Dawidowski i in. 2011].

Podczas wykonywanych badań agregat poruszał się z prędkością od 7 do 8 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$. Długość odcinków pomiarowych wynosiła 100 m. Pierwszym etapem doświadczenia było wykonanie w pełni manualnego przejazdu pomiędzy oznaczonymi końcami A i B linii referencyjnej (rys. 1). Dane dotyczące lokalizacji punktów A i B oraz przyjętej szerokości roboczej zostały wprowadzone do pamięci automatycznego układu prowadzenia. W dalszej kolejności, przy użyciu każdego wariantu prowadzenia pojazdu, zostały wykonane po trzy kolejne przejazdy o zakładanej szerokości roboczej 20 m.



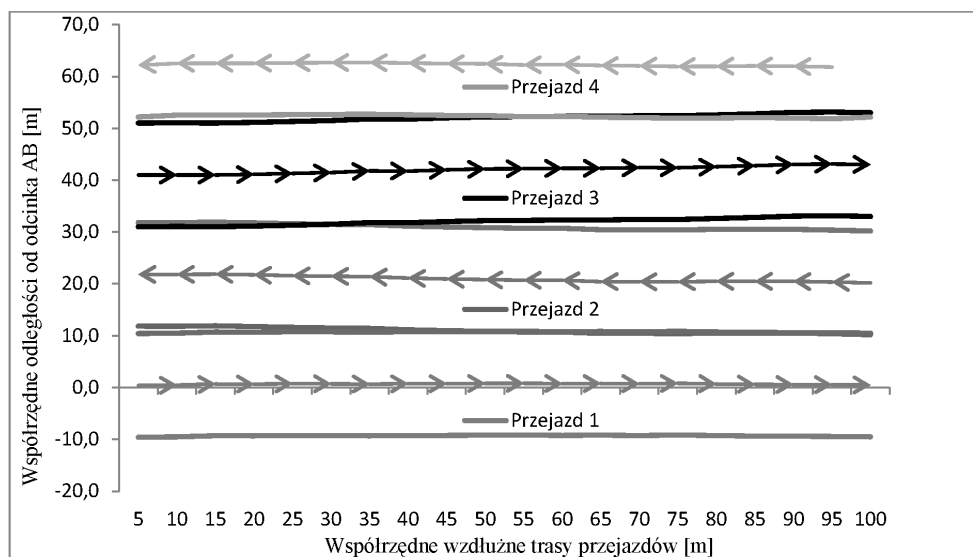
Rys. 1. Schemat badania z wykorzystaniem dwóch systemów prowadzenia
 Fig. 1. Schematic representation of the research with the use of two steering systems

W następnym etapie, na odcinku \overline{AB} , szpilkami geodezyjnymi wyznaczono w odległości co 5 metrów 19 dodatkowych punktów pomiarowych. Do precyzyjnego rozmieszczenia punktów wzdłuż odcinka \overline{AB} , wykorzystano pionową część krzyża znajdującego się w układzie optycznym niwelatora geodezyjnego. Następnie z każdego zaznaczonego

punktu, przy użyciu węgielnicy pryzmatycznej wyznaczono linię prostopadłą do odcinka \overline{AB} . Punkty przecięcia linii z kolejnymi śladami przejazdów zaznaczono szpilkami geodezyjnymi. Następnie przeprowadzono pomiary odległości kolejnych szpilek od odpowiednich punktów odcinka \overline{AB} . Do pomiaru odległości nieprzekraczających 1 m zastosowano przymiar metrowy Proline 1383. W przypadku większych odległości korzystano z dalmierza laserowego Leica Disto D5. Wszystkie pomiary wykonywane były z dokładnością 1 mm. Ostatni etap obejmował obliczanie współrzędnych krawędzi symulowanych przejazdów roboczych o szerokości 20 m. Pomimo wspólnej linii referencyjnej, do oceny prowadzenia manualnego oraz automatycznego przyjęto dwa oddzielne układy współrzędnych prostokątnych.

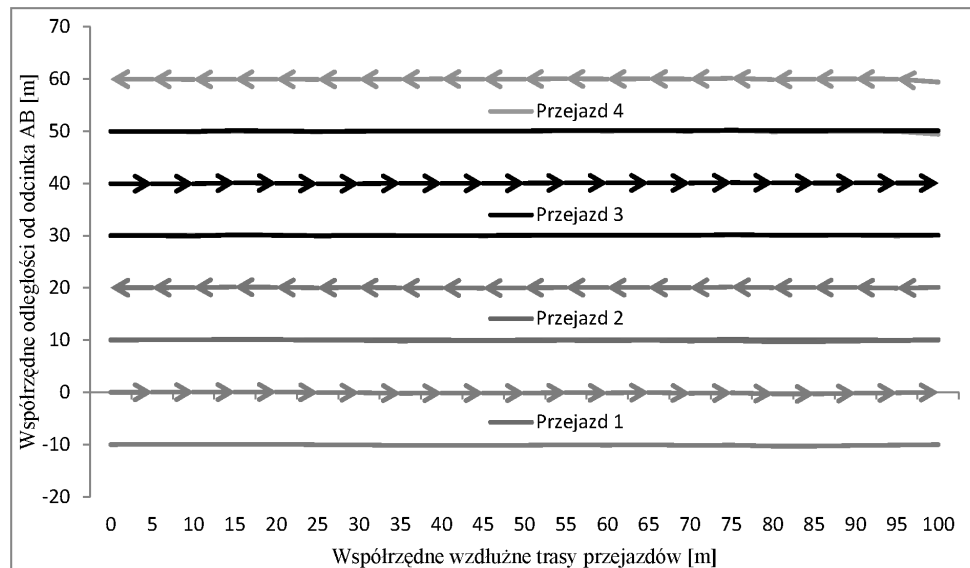
Wyniki i dyskusja

W wyniku przeprowadzonych badań otrzymano szereg współrzędnych punktów pomiarowych, na podstawie których wykonano obliczenia oraz rysunki (2 i 3) przedstawiające tory ruchu ciągnika rolniczego (linie ciągłe ze strzałkami) i krawędzie kolejnych przejazdów roboczych (linie ciągłe, równoległe do torów ruchu). Z rysunków wyraźnie wynika, że trasy większości przejazdów nie były wzajemnie równoległe. Granice sąsiednich przejazdów roboczych były w niektórych miejscach oddalone od siebie, a w innych wzajemnie się przenikały. W wyniku błędów prowadzenia powstały omija ki i nakładki o zróżnicowanych polach powierzchni.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 2. Tory przejazdów ciągnika prowadzonego manualnie
Fig. 2. Tracks of the tractor steered manually



Źródło: opracowanie własne

Rys. 3. Tory przejazdów ciągnika prowadzonego automatycznie
 Fig. 3. Tracks of the tractor steered automatically

Przystępując do wyznaczania błędów równoległości kolejnych przejazdów przyjęto, że odległość pomiędzy sąsiednimi torami przejazdów powinna wynosić 20 metrów. Analizując wyniki dotyczące przebiegu kolejnych przejazdów można stwierdzić, że podczas prowadzenia manualnego wystąpiły znaczne odchylenia od teoretycznego toru jazdy, a ich maksymalna wartość w drugim przejeździe wynosiła 1,425 m, w trzecim 2,829 m, zaś w czwartym 1,557 m (tab. 1). Maksymalne odchylenia od teoretycznego toru jazdy podczas prowadzenia przy wykorzystaniu systemu automatycznego były średnio pięciokrotnie mniejsze, a ich największą wartość 0,672 m zaobserwowano w czwartym przejeździe.

Na podstawie wartości odchylenia średniego, można ocenić przeciętną odległość między rzeczywistym i teoretycznym torem przejazdu. W przypadku prowadzenia manualnego odległość między osiami sąsiednich torów mieściła się w przedziale 0,582–1,390 m. Analogiczna wartość uzyskana przy wykorzystaniu prowadzenia automatycznego była znacznie mniejsza i wynosiła 0,053–0,138 m. Oznacza to, że pojazd prowadzony automatycznie, pomimo miejscowych odchyłeń, poruszał się około dziesięciokrotnie bliżej osi toru teoretycznego niż pojazd prowadzony manualnie.

Dodatkowych informacji dotyczących rozrzutu wartości odległości rzeczywistego toru przejazdu od toru teoretycznego dostarcza odchylenie standardowe. Im większe są jego wartości, tym bardziej oddalone są poszczególne punkty pomiarowe od wyżej opisanego, średniego odchylenia. We wszystkich podanych przypadkach (tab.1) znacznie mniejsze wartości odchylenia standardowego zanotowano w przypadku automatycznego systemu prowadzenia. W kolejnych przejazdach uzyskano wartości 0,102; 0,036; 0,138 m. Przy

przewodzeniu manualnym największą wartością odchylenia standardowego na poziomie 0,851 m charakteryzował się trzeci przejazd, zaś najmniejsza wartość wynosząca 0,402 m wystąpiła w drugim przejeździe.

Tabela 1. Wyniki obliczeń błędów równoległości torów przejazdów
Table 1. Results of calculations of parallelism errors of tracks

Wariant	Numer przejazdu	Odchylenie maksymalne [m]	Odchylenie średnie [m]	Odchylenie standardowe [m]
Prowadzenie manualne	Przejazd 2	1,425	0,582	0,402
	Przejazd 3	2,829	1,390	0,851
	Przejazd 4	1,557	0,829	0,491
Średnia	wartość	1,937	0,934	0,581
Prowadzenie automatyczne	Przejazd 2	0,357	0,138	0,102
	Przejazd 3	0,128	0,053	0,036
	Przejazd 4	0,672	0,112	0,138
Średnia	wartość	0,386	0,101	0,092

Źródło: opracowanie własne

Obliczenia powierzchni omijaków oraz nakładek wykonano metodą analityczną przy wykorzystaniu współrzędnych x , y punktów położonych na obrzeżach przejazdów roboczych o wirtualnej szerokości 20 m. W przypadku, gdy krawędzie sąsiednich przejazdów wzajemnie się przenikały, czyli gdy występowały jednocześnie omijaki i nakładki, wyznaczano współrzędne punktów przecięcia dwóch granicznych krawędzi. W obliczeniach pól powierzchni uwzględniano wszystkie dodatkové współrzędne. Obliczenia przeprowadzono w oparciu o poniżej przedstawioną zależność [Wyznaczanie pola powierzchni]:

$$S = 0,5 \cdot \sum_{i=1}^n (x_{i+1} - x_i) \cdot |(y_{bi} - y_{ai}) + (y_{bi+1} - y_{ai+1})| \quad (1)$$

gdzie:

- S – pole powierzchni omijaka lub nakładki [m^2],
- x – współrzędna wzdłużna odcinka referencyjnego \overline{AB} [m],
- y_a – współrzędna dotycząca odległości pomiędzy punktem pomiarowym na dalszej krawędzi powierzchni przejazdu roboczego oraz odcinkiem referencyjnym \overline{AB} [m],
- y_b – współrzędna dotycząca odległości pomiędzy punktem pomiarowym na bliższej krawędzi powierzchni następnego przejazdu roboczego oraz odcinkiem referencyjnym \overline{AB} [m],
- i – numer punktu pomiarowego na odcinku referencyjnym \overline{AB} [m],
- n – liczba przejazdów.

Tabela 2. Pola powierzchni omijaków i nakładek
Table 2. Surface area of underlaps and overlaps

Wariant		Powierzchnia S_o [m ²]	Powierzchnia S_p [m ²]	Udział w powierzchni S_c [%]	
				S_o	S_p
Prowadzenie manualne	Między przejazdami 1-2	33,38	23,14	1,67	1,16
	Między przejazdami 2-3	118,13	18,69	5,91	0,93
	Między przejazdami 3-4	56,32	25,68	2,82	1,28
Suma trzech pomiarów		207,83	67,51	3,46	1,13
Łączna powierzchnia S_o i S_p		275,34		4,59	
Prowadzenie automatyczne	Między przejazdami 1-2	9,85	0	0,49	0,00
	Między przejazdami 2-3	2,41	2,63	0,12	0,13
	Między przejazdami 3-4	0,0	9,98	0,00	0,50
Suma trzech pomiarów		12,26	12,61	0,20	0,21
Łączna powierzchnia S_o i S_p		24,87		0,41	

Źródło: opracowanie własne

Analizując pola powierzchni omijaków i nakładek można stwierdzić, że we wszystkich przypadkach mniejsze wartości uzyskano przy zastosowaniu systemu automatycznego prowadzenia pojazdu. Największa powierzchnia omijaków wystąpiła pomiędzy przejazdem pierwszym, a drugim i wynosiła 9,85 m², co stanowi około 0,49 % powierzchni całkowitej S_c przejazdu roboczego (tabela 2). W kolejnych przejazdach roboczych podczas prowadzenia automatycznego, łączne powierzchnie omijaków były znacznie mniejsze i wyniosły 2,41 m² (0,12%) między przejazdem 2 i 3. Między przejazdami 3 i 4 nie stwierdzono żadnych omijaków. System automatyczny charakteryzował się również małymi polami powierzchni nakładek (tab. 2). Wystąpiły one jedynie w dwóch przypadkach, a ich wartości zawierały się w przedziale 2,63–9,98 m². Łączna powierzchnia omijaków i nakładek wyniosła 24,87 m², co stanowi 0,41% całkowitej powierzchni przejazdów roboczych.

Analizując wyniki uzyskane w drugim wariantcie doświadczenia, w którym system prowadzenia oparty był na manualnym kierowaniu ciągnikiem przez operatora można zaobserwować, że powierzchnie omijaków i nakładek podczas wykonywania poszczególnych przejazdów były znacznie większe, niż w przypadku prowadzenia automatycznego i wynosiły łącznie 275,34 m² (4,59% powierzchni całkowitej) (tab. 2). Największą powierzchnię omijaków zaobserwowano między 2 i 3 przejazdem (118,13 m²), co stanowiło 5,91% powierzchni przejazdu roboczego. Sumaryczne błędy prowadzenia w 3 i 4 przejeździe spowodowały wystąpienie nakładek o największej powierzchni, tj. 25,68 m² (1,28%).

Podsumowując można stwierdzić, że stosowanie automatycznego systemu prowadzenia agregatu rolniczego, w porównaniu z prowadzeniem manualnym, charakteryzuje się większą dokładnością przejazdów po wyznaczonej trasie. W przeprowadzonych badaniach łączne pole powierzchni omijaków oraz nakładek spowodowanych przejazdami agregatu prowadzonego automatycznie było 11-krotnie mniejsze.

Wnioski

1. Przejazd po zaplanowanym torze agregatu rolniczego wyposażonego w system automatycznego prowadzenia charakteryzuje się dużą dokładnością, większą niż uzyskiwana w przypadku prowadzenia manualnego.
2. Zastosowany system automatycznego prowadzenia pojazdu rolniczego charakteryzował się małymi wartościami odchyień toru przejazdu od teoretycznego toru ruchu. Maksymalna wartość odchylenia wyniosła 0,128 m podczas wykonywania trzeciego przejazdu.
3. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów i obliczeń dotyczących przejazdów wirtualnego agregatu o szerokości roboczej wynoszącej 20 metrów, stwierdzono że:
 - przy zastosowaniu automatycznego prowadzenia pojazdu, nieobrobiona część stanowi średnio 0,20% powierzchni pola, zaś przy prowadzeniu manualnym 3,46%,
 - w wyniku zastosowania prowadzenia automatycznego 0,21% powierzchni pola obrobiono dwukrotnie; przy wykorzystaniu prowadzenia manualnego uzyskano wartość 1,13%,
 - łączna powierzchnia omijaków i nakładek stwierdzonych po prowadzeniu automatycznym była jedenastokrotnie mniejsza niż przy prowadzeniu manualnym.

Bibliografia

- Dawidowski J. B., Dobek T., Jurga J.** (2011): Współczesna inżynieria rolnicza - badania i zastosowania. Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej, Kraków, 65-85.
- Doruchowski G.** (2008): Postęp i nowe koncepcje w rolnictwie precyzyjnym. Inżynieria Rolnicza, 9(107), 19-31.
- Dreszer K. A.** (2005): Globalny system pozycjonowania i możliwości wprowadzenia go w polskim rolnictwie. Inżynieria Rolnicza, 10(70), 57-63.
- Gozdowski D., Samborski S., Sioma S.** (2007): Rolnictwo precyzyjne. SGGW, Warszawa.
- Huyghebaert B., Dubois G., Bienfait P.** (2007): Comparative study of the precision of six GPS guiding systems in agriculture. II International Symposium Farm Machinery and Process Management in Sustainable Agriculture, Lublin.
- Kaszkowiak J.** (2007): Urządzenia elektroniczne sterujące pracą maszyn rolniczych., Maszyny i narzędzia rolnicze., pod red. E. Jarmocika, Wyd. I, Bydgoszcz, Wydawnictwo Uczelniane UTP, ISBN: 978-83-89334-29-9.
- Macák M., Žitňák M.** (2011): Využitie satelitnej navigácie s autopilotom Príprava pôdy. Mechanizace zemedelstvi, 1-9.
- Zalewski P.** (2000): Problemy rolnictwa precyzyjnego. Inżynieria Rolnicza, 8(19), 15-23.
- Materiały firmowe John Deere. Internet: Dostęp [15.06.2012]. Dostępny w Internecie: http://www.deere.pl/pl_PL/docs/product/equipment/agricultural_management_solutions/guidance_systems/brochure/brochure_guidance_pl.html
- Wyznaczanie pola powierzchni. Internet: Dostęp [16.06.2012]. Dostępny w Internecie: <http://home.agh.edu.pl/~rkrzyzek/zagadnienia/zagadnienie%201.pdf>

COMPARISON OF THE SELECTED ERRORS OF AN AGRICULTURAL AGGREGATE CROSSINGS DRIVEN MANUALLY AND AUTOMATICALLY

Abstract. Two systems of steering a tractor were compared in the article. The first of them, a traditional way of driving a tractor, consisting in an active control of the track by an operator. An automatic system used a satellite navigation and was equipped with automatic driving system of a vehicle on a field. The research was carried out in an agricultural farm located in Zachodniopomorskie province in April and May 2012. The objective of the paper was to compare a manual and an automatic system of steering a farm tractor on account of distance deviation from a desired track and surface areas of overlaps and underlaps. On the basis of the research which was carried out, it was determined that the system of automatic steering of a tractor which uses a satellite navigation was more accurate and allowed to limit the undone area to 0.20% and to double the area which was worked twice to 0.21% of the field area.

Key words: GPS, steering systems of farm vehicles, overlap, underlap, precise agriculture

Adres do korespondencji:

Karol Garbiak; e-mail: kgarbiak@zut.edu.pl
Katedra Budowy i Użytkowania Urządzeń Technicznych
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
ul. Papieża Pawła VI/3
71-459 Szczecin