

AUTONOMICZNE POJAZDY ROLNICZE – POSZUKIWANIE NOWYCH ROZWIĄZAŃ

Streszczenie

Automatyzacja i robotyzacja prac polowych rozwija się w ostatnich latach bardzo szybko dzięki wykorzystaniu nowych technik: nawigacji satelitarnej, wizyjnych, radiowych oraz elementów sztucznej inteligencji. W artykule przedstawiono przegląd rozwiązań stosowanych w autonomicznych pojazdach rolniczych obrazujący kierunki ich rozwoju.

Słowa kluczowe: pojazdy rolnicze, pojazdy autonomiczne, tendencje rozwojowe

Szybko postępująca, w ostatnich latach, automatyzacja i robotyzacja prac polowych, skutkująca upowszechnieniem rolnictwa precyzyjnego możliwa jest dzięki dynamicznemu rozwojowi technik: nawigacji satelitarnej, wizyjnych, radiowych oraz elementów sztucznej inteligencji. Zastosowanie tych technik w układach sterowania pojazdów rolniczych zaowocowało powstaniem szeregu nowych rozwiązań ułatwiających pracę operatora, a nawet sprowadzających ją do zdalnego nadzoru. W początkowym okresie techniki nawigacji satelitarnej ułatwiały operatorowi prowadzenie ciągnika po ścieżce technologicznej. W miarę coraz szerszego stosowania nowych technik i aplikacji rola operatora w coraz większym stopniu sprowadzała się do nadzoru i kontroli wykonywanych przez ciągnik zabiegów.

Na obecnym etapie automatyzacji i robotyzacji procesów produkcyjnych w rolnictwie prace nad systemami sterowania i kontroli zaowocowały powstaniem szeregu zaawansowanych technicznie konstrukcji występujących pod wspólną nazwą pojazdów autonomicznych. Nad projektami takich maszyn pracują niemal wszyscy czołowi producenci ciągników i maszyn rolniczych oraz bardzo wiele jednostek naukowo-badawczych. Poniżej przedstawiono przykłady rozwiązań autonomicznych pojazdów rolniczych obrazujące główne kierunki prowadzonych w ostatnich latach prac.



Rys. 1. Autonomiczny ciągnik rolniczy New Holland NH Drive podczas przejazdu transportowego (a) i w trakcie wykonywania zabiegu agrotechnicznego (b) [1]

Fig. 1. New Holland NH Drive autonomous tractor during transport (a) and in the course of performing the agrotechnical treatment (b) [1]

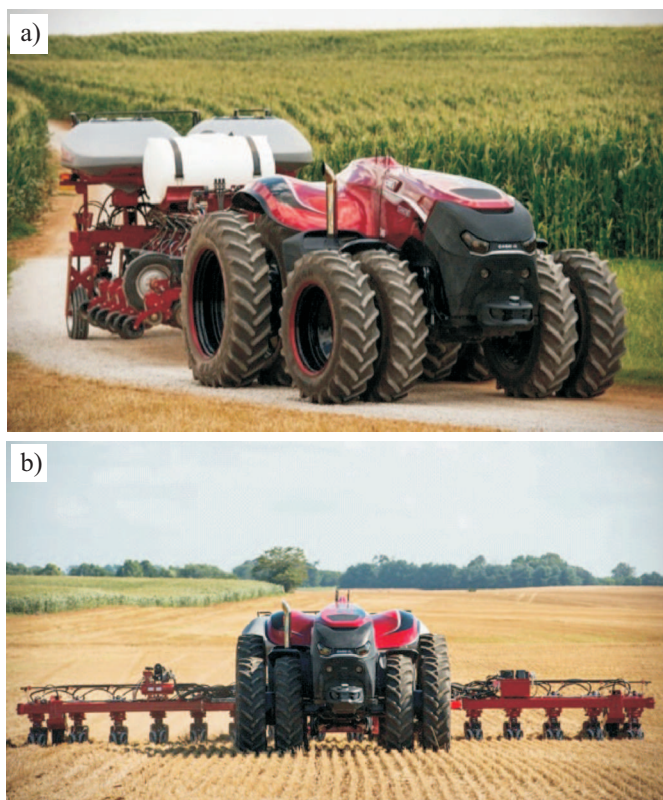
Podczas amerykańskich targów Farm Progress Show 2016, koncern CNH przedstawił dwa koncepcyjne autonomiczne ciągniki New Holland NH Drive oraz Case IH New Autonomous Concept Vehicle. Oba pojazdy zbudowano we współpracy z firmą Autonomous Solutions Incorporated (ASI). Autonomiczny ciągnik New Holland NH Drive (rys. 1) zbudowano na bazie tradycyjnego modelu T8 Blue Power (silnik ZS, 8,7 dm³, 301 kW). Może on wykonywać bez operatora szereg prac rolniczych. Potrafi samodzielnie dotrzeć na pole, poruszając się po wewnętrznych drogach w gospodarstwie oraz współpracować z innymi samoprowadzającymi się lub tradycyjnymi ciągnikami. Może też być kierowany tradycyjnie z poziomu kabiny przez operatora [1].

Autonomiczna bezzałogowa maszyna może być monitorowana i sterowana przy pomocy komputera lub tabletu. Umożliwia to rolnikowi dostęp z dowolnego miejsca i w każdej chwili do danych dotyczących ciągnika i narzędzia niezależnie od ich miejsca pracy. Ułatwia to podejmowanie decyzji w czasie rzeczywistym oraz pozwala zwiększyć efektywność i wydajność pracy. Ponadto, rolnik zachowuje prywatność i pełną kontrolę nad danymi maszyn. Na jednym ekranie wyświetlane są ścieżki prowadzenia i postęp pracy pojazdu, a na drugim wyświetlany jest obraz z kamery przedstawiający w czasie rzeczywistym maksymalnie cztery widoki – dwa z przodu i dwa z tyłu maszyny. Kolejny ekran umożliwia monitorowanie i modyfikację głównych parametrów roboczych ciągnika i narzędzia, takich jak prędkość obrotowa silnika, poziom paliwa i ustawienia narzędzia, takie jak np. prędkość robocza lub nacisk narzędzia na glebę. Trasę przejazdu na pole można zaplanować, również po drogach prywatnych.

Ciągnik koncepcyjny NH Drive zagregowany z siewnikiem może samodzielnie przygotować uprawę zaraz po przejeździe kombajnu. Za pomocą aplikacji zainstalowanej na urządzeniu przenośnym (będącym wygodnym rozwiązaniem dla operatora prowadzącego kombajn) lub na komputerze domowym w gospodarstwie można stale monitorować i sterować parametrami roboczymi ciągnika i narzędzia i w razie potrzeby modyfikować je.

Według firmy New Holland ciągnik może pracować przez 24 godziny na dobę i 7 dni w tygodniu, co pozwala ograniczyć ryzyko ludzkiej omyłki, gdyż maszyna pracuje według wcześniej przygotowanych i zoptymalizowanych planów pracy. Dzięki możliwości pracy ciągłej przez całą dobę ciągnik NH Drive może w pełni wykorzystać okresy dobrej pogody na wykonywanie prac rolniczych. W przyszłości ciągnik NH wyposażony w przyczepę będzie w stanie w pełni zautomatyzować transport i przeładunek ziarna w czasie żniw.

Drugi z pojazdów Case IH New Autonomous Concept Vehicle (rys. 2) do uprawy rzędowej zbudowany został na bazie produkowanego konwencjonalnego ciągnika Case IH Magnum (silnik ZS, 8,7 dm³, 301 kW).



Rys. 2. Autonomiczny ciągnik rolniczy Case IH New Autonomous Concept Vehicle podczas przejazdu transportowego (a) i w trakcie wykonywania zabiegu agrotechnicznego (b) [1]

Fig. 2. Case IH New Autonomous Concept Vehicle during transport (a) and in the course of performing the agrotechnical treatment (b) [1]

Autonomiczny ciągnik koncepcyjny posłużył do zaprezentowania możliwości zainstalowania układów automatycznego prowadzenia oraz systemów telematycznych do zdalnego zarządzania maszynami rolniczymi oraz pracownikami. Technologia ta umożliwia większą wydajność operacyjną przy pracach takich jak orka, sadzenie, opryskiwanie czy zbiór plodów rolnych.

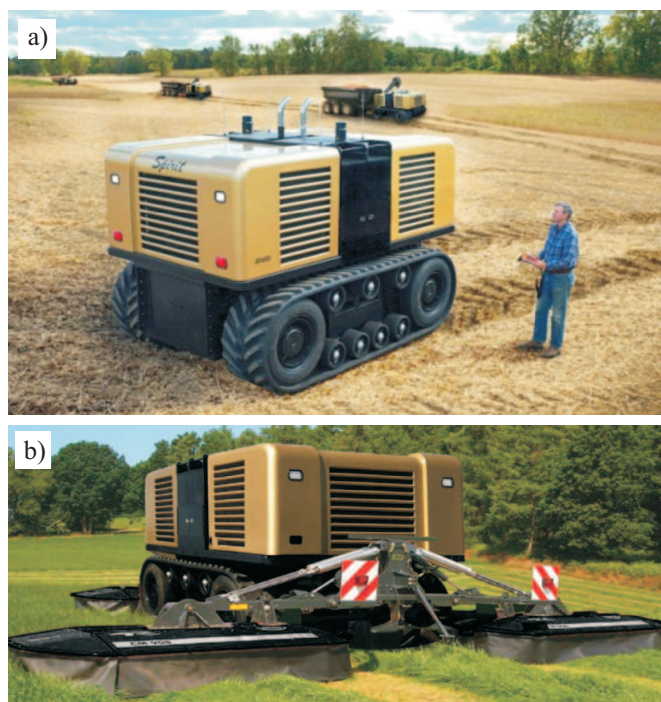
Pojazd został skonstruowany do współpracy z interaktywnym interfejsem, który umożliwia zdalne monitorowanie zaprogramowanych operacji. System pokładowy automatycznie wyznacza najbardziej efektywne ścieżki przejazdu dla danej szerokości narzędzia i pola, w zależności od ukształtowania terenu, przeszkód oraz innych maszyn użytkowanych na tym samym polu. Pracujący zdalnie operator może nadzorować i modyfikować ścieżki przejazdów za pośrednictwem interfejsu w komputerze stacjonarnym lub przenośnym tablecie.

Wykorzystując radar, lidar (*Light Detection and Ranging*) oraz kamery pokładowe, pojazd może wykrywać statyczne lub poruszające się przeszkody na swojej drodze i samodzielnie zatrzymać się na swojej ścieżce dopóki operator, zawiadomiony przez dźwiękowe i wzrokowe komunikaty alarmowe, nie wyznaczy nowej ścieżki. Pojazd zatrzyma się niezwłocznie również w przypadku utraty sygnału GPS, danych dotyczących położenia lub po ręcznym wciśnięciu przycisku stop. Zadania wykonywane przez maszynę mogą również być modyfikowane w czasie rzeczywistym za pośrednictwem zdalnego interfejsu lub automatycznych komunikatów pogodowych.

Zespół autonomicznych ciągników może pracować jako jedna flota lub w wielu flotach podrzędnych, przyporządkowanych do oddzielnych pól, dla których przypisane są zaprogramowane mapy i zalecenia. Na przykład jeden ciągnik może ciągnąć pług, a za nim może podążać kolejny ciągnik, pracujący z siewnikiem. Takie możliwości oferują znaczne zwiększenie wydajności produkcyjnej.

Chociaż pojazd autonomiczny obecnie traktowany jest wyłącznie jako ciągnik koncepcyjny, technologia ta mogłaby być stosowana z powodzeniem we wszystkich standardowych ciągnikach kabinowych, w których umożliwiłaby wykorzystywanie przekazywanych w czasie rzeczywistym danych pogodowych i z satelity do optymalnego aplikowania nawozów, takich jak azot, środki chwastobójcze czy grzybobójcze. Według firmy Case IH - w oparciu o tę samą autonomiczną technologię będą mogły pracować również kombajny oraz inne pojazdy rolnicze [1].

Najnowszą konstrukcją firmy Autonomous Tractor Corporation (ATC) bazującą na doświadczeniu uzyskanym podczas opracowywania wcześniejszych pojazdów autonomicznych jest autonomiczny ciągnik Spirit AT400 (rys. 3). Tradycyjne systemy kierowania GPS działają prawidłowo tylko w granicach poprawnego odbioru, a gdy napotyka zakłócenia i martwe strefy (linie przesyłowe, plamy słoneczne i inne), nie wystarczają już do autonomicznego kierowania pojazdem, dlatego firma ATC wprowadziła w swoich autonomicznych ciągnikach opatentowany system nawigacyjny *AutoDrive*. Łączy on technologię GPS z dwoma indywidualnymi systemami walidacji naziemnej. Do najważniejszych elementów *AutoDrive* należą systemy nawigacji laserowo-radiowej ATC (LRNS) oraz LAN (*Local Area Network*) oparty na technologii RF (*Radio Frequency*) wykorzystujące sztuczną inteligencję (IA) do powtarzania zadań przez ciągnik bez programowania. System *AutoDrive* jest systemem samouczącym się. Dla zapewnienia bezpieczeństwa pracy *AutoDrive* wyposażony jest w system detekcji sonarowej, który natychmiast zatrzymuje ciągnik, gdy wykryty zostanie



Rys. 3. Autonomiczny ciągnik rolniczy Spirit AT 400 podczas przejazdu transportowego (a) i w trakcie wykonywania zabiegu agrotechnicznego (b) [1]

Fig. 3. Spirit AT 400 autonomous tractor during transport (a) and in the course of performing the agrotechnical treatment (b) [1]

nieznany obiekt w odległości 30 stóp (około 10 m). Zostaje wówczas wysłany sygnał do operatora, który przez dwie kamery panoramiczne może zdalnie uzyskać informacje o aktualnej sytuacji wokół ciągnika. AutoDrive wykorzystuje osobne aplikacje do prowadzenia zabiegów uprawy, koszenia, belowania i sadzenia itp.

Uzupełnieniem systemu *AutoDrive* jest układ napędowy z systemem *eDrive* również opracowanym przez firmę ATC. System ten wykorzystuje silniki elektryczne do napędu kół ciągnika. Mimo, że silniki elektryczne zapewniają natychmiastowy maksymalny moment obrotowy, mają dużą trwałość i są idealne do sterowania elektronicznego to mają jednak i wady - niewielką prędkość obrotową i wymagają chłodzenia. Aby pokonać te przeszkody, silniki elektryczne ATC chłodzone są cieczą i wewnętrznie smarowane oraz posiadają własne elektroniczne elementy sterujące, które umożliwiają stałą pracę przy niewielkich prędkościach obrotowych bez wpływu na trwałość silnika [1, 2].

Produkowany przez firmę Precision Makers B.V. autonomiczny ciągnik Greenbot (rys. 4) został zaprezentowany w 2015 roku na targach Agritechnica. Jest to pierwszy oferowany na rynku autonomiczny pojazd rolniczy. Ciągnik wykonywany jest dwóch wersjach: CR12 (szerokość 1,3 m) i CR18 (szerokość 1,8 m).



Rys. 4. Autonomiczny ciągnik Greenbot podczas przejazdu transportowego (a) i w trakcie wykonywania zabiegu agrotechnicznego (b) [1]

Fig. 4. Greenbot autonomous tractor during transport (a) and in the course of performing the agrotechnical treatment (b) [1]

Napęd główny ciągnika zapewnia silnik Perkins P854E (Stage 3B/Tier 4) o mocy 74,5 kW. Moc ta rozdzielana jest na wszystkie cztery skrajne koła za pośrednictwem hydrostatycznego układu napędowego. Zarówno przód i tył ciągnika wyposażone są w trzypunktowy układ zawieszenia narzędzi (TUZ), zewnętrzne gniazda hydrauliki siłowej oraz wał odbioru mocy (WOM). Masa maszyny wynosi 3150 kg (CR18), a prędkość maksymalna 25 km·h⁻¹.

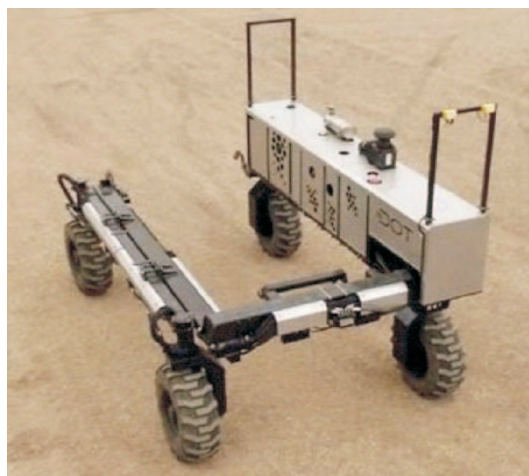
Oprogramowanie steruje hydraulicznym układem napędowym czterech kół. Greenbot można zaprogramować tak, aby działał w pełni niezależnie, ale może również być wykorzystany do powtarzania zadań zarejestrowanych wcześniej za pomocą ciągnika z kierowcą. Programy można również aktywować za pomocą pilota, a pojazd powtarza następnie

instrukcje (tryb „*Teach & Playback*”). Greenbot jest ponadto w stanie samodzielnie zaplanować swoją własną trasę i operacje dla konkretnych zastosowań, takich jak opryskiwanie sadów czy koszenie terenów zielonych. Ciągnik może być także zdalnie sterowany radiowo lub wykorzystywać zainstalowane w programie sterującym mapy GPS i uwzględniając konkretną trasę lub pole określić najbardziej efektywną ścieżkę przejazdu w celu wykonania zadanej pracy. Greenbot wyposażony jest również w system bezpieczeństwa, który po napotkaniu nieznanego przeszkody na swojej drodze natychmiast go zatrzymuje. Następnie zgłasza użytkownikowi wiadomość o zaistniałej sytuacji i oczekuje na dalsze polecenia.

Dzięki małym wymiarom konstrukcji, Greenbot ma korzystny rozkład masy. Niewielka szerokość sprawia, że maszyna nadaje się do pracy w sadach. Ciągnik charakteryzuje się dużą zwrotnością zapewniającą oszczędność czasu i paliwa. Może on być również wyposażony w dodatkowy zbiornik paliwa zwiększający zasięg i umożliwiający 24-godzinną, nieprzerwaną pracę. Aktualizacje i zarządzanie oprogramowaniem odbywa się zdalnie. Greenbot jest dostępny w cenach rozpoczynających się od 120 000 euro (bez VAT i kosztów dostawy) [1].

Zbudowana w firmie Dot Technology Corp. autonomiczna platforma wielozadaniowa DOT (rys. 5), poza zaletami wynikającymi z jej autonomiczności, umożliwia jednocześnie zmniejszenie kosztów inwestycyjnych na zakup maszyn rolniczych. Głównym zespołem platformy, na którym nabywane są wymienne narzędzia i maszyny rolnicze jest rama w kształcie litery U. Na niej zamontowany jest silnik ZS (Cummins QSB 4,5 Tier 4 o pojemności 4,5 dm³ i mocy 120 kW) napędzający pompy hydrauliczne, które stanowią źródło napędu układu jezdnego i zespołów roboczych nabywanych maszyn. Platforma przemieszcza się z prędkością maksymalną 22 km·h⁻¹ na czterech napędzanych hydraulicznie i skrętnych kołach umożliwiających jazdę we wszystkich kierunkach. Masa platformy DOT wynosi 3 855 kg, a maksymalna masa całkowita maszyny 18 143 kg [3].

Podczas pracy platforma DOT wykorzystuje nawigację satelitarną oraz szereg czujników odpowiedzialnych między innymi za bezpieczeństwo podczas przemieszczania. Komunikacja między użytkownikiem a maszyną prowadzona jest za pomocą tabletu przez sieć lokalną. Rolnik po określeniu granic pola i istniejących przeszkód przesyła dane do platformy DOT, której program komputerowy w ciągu około 15 sekund generuje plan ścieżki i maszyna przystępuje do pracy. Maszyna poza trybem autonomicznym może również pracować jako zdalnie sterowana.



Rys. 5. Autonomiczna rolnicza platforma wielozadaniowa DOT [3]

Fig. 5. DOT power autonomous platform [3]

Na autonomicznej platformie DOT mogą być nabudowywane: siewnik (rys. 6) o szerokości roboczej 30 stóp (9,14 m), opryskiwacz o szerokości roboczej 60 stóp (18,29 m) ze zbiornikiem o pojemności 1000 galonów (3 785 dm³), wał polowy o szerokości roboczej 41 stóp (12,5 m) oraz zbiornik na ziarno o pojemności 500 buszli (17 620 dm³) [3].



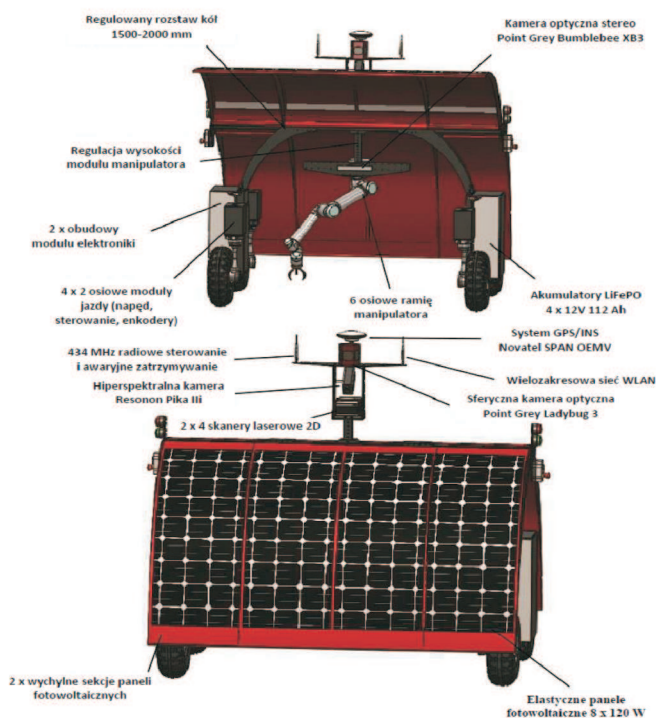
Rys. 6. Autonomiczna rolnicza platforma wielozadaniowa DOT z nabudowanym siewnikiem [3]
Fig. 6. DOT autonomous platform with mounted seeder [3]

Zbudowany w Australian Centre for Field Robotics (ACFR) przy Uniwersytecie Sydney autonomiczny pojazd rolniczy Ladybird (rys. 7) jest robotem zaprojektowanym dla ogrodnictwa, a w szczególności do prac na uprawach warzyw. Jest to rodzaj platformy badawczej umożliwiającej prowadzenie badań nad nowymi metodami upraw. Pojazd porusza się na czterech napędzanych silnikami elektrycznymi i kierowanych kołach (rys. 8), dzięki którym platforma bardzo łatwo manewruje. Źródłem energii do zasilania silników elektrycznych są baterie LiFePO ładowane z elastycznych paneli



Rys. 7. Autonomiczny pojazd rolniczy Ladybird - panele fotowoltaiczne złożone (a) i rozłożone (b) [6, 8]
Fig. 7. Ladybird autonomous vehicle - solar panels close (a) and open (b) [6, 8]

fotowoltaicznych (8x120 W). Mają one za zadanie również osłone kamer i elementów roboczych przed bezpośrednim działaniem światła słonecznego, dzięki czemu uzyskuje się lepszy obraz obserwowanych roślin. Ladybird może przetwarzać obraz roślin za pomocą przetworników optycznych o różnych zakresach widma światła i laserowych skanerów umożliwiających trójwymiarowe obrazowanie. Na platformie robota zamontowany jest manipulator ogólnego przeznaczenia. Można na nim umieścić narzędzia np. do mechanicznego lub chemicznego usuwania chwastów [4, 5, 6].



Rys. 8. Autonomiczny pojazd rolniczy Ladybird podstawowe zespoły [7]
Fig. 8. Ladybird autonomous vehicle construction [7]

Prace badawcze nad autonomicznymi pojazdami rolniczymi prowadzone są również w Polsce. W Przemysłowym Instytucie Maszyn Rolniczych (PIMR) w Poznaniu trwają aktualnie prace nad dwiema takimi maszynami.

Podsumowanie

Autonomiczne pojazdy rolnicze są kolejnym etapem na drodze automatyzacji i robotyzacji prac polowych. Ich upowszechnienie pozwoli skrócić czas wykonywanych operacji, zwiększyć precyzję ich wykonania, zmniejszyć zużycie nawozów, środków ochrony roślin oraz paliwa i tym samym zwiększyć wydajność. Przyczyni się również do poprawy bezpieczeństwa pracy przez wyeliminowanie człowieka z czynności stwarzających największe zagrożenie dla zdrowia i życia ludzkiego. Autonomiczne pojazdy rolnicze są obecnie najbardziej zaawansowanymi technicznie maszynami rolniczymi. Na podstawie dotychczasowych etapów ich rozwoju można stwierdzić, że w zdecydowanej większości wykorzystują one rozwiązania techniczne stosowane wcześniej w pojazdach drogowych, ale również specyficzne charakterystyczne dla rolnictwa. Należy oczekiwać, że w najbliższej przyszłości w rolniczych pojazdach autonomicznych wykorzystywane będą w większym stopniu elementy sztucznej inteligencji sprowadzające do minimum nadzór człowieka nad pracą maszyn. Przepływ nowych technik z motoryzacji, a nawet przemysłu lotniczego zarówno w zakre-

się nawigacji, sterowania i kontroli pracy oraz układów napędowych z całą pewnością będzie kontynuowany i przyczyni się do efektywniejszego gospodarowania zasobami rolnymi.

O upowszechnieniu i praktycznym zastosowaniu nowoczesnych rozwiązań decydować będzie stopień ochrony gleby oraz masa tych maszyn. Zwiększanie nacisków jednostkowych kół maszyn na glebę powoduje bowiem zagęszczanie gleby i obniżenie plonu.

Bibliografia

[1] Materiały firm: New Holland Agriculture, Case IH, Autonomous Tractor Corporation, Precision Makers B.V.

[2] <http://www.tractor.com/features/autonomous-tractors-1792.html> - 24.11.2017 r.

[3] <https://seedotrunk.com/> - 24.11.2017 r.

[4] <http://apal.org.au/challenges-ag-robotics/> - 24.11.2017 r.

[5] <http://robohub.org/robots-ladybird/> - 24.11.2017 r.

[6] <http://www.abc.net.au/news/rural/2014-06-25/farm-robot/5550214> - 24.11.2017 r.

[7] <https://www.freshfruitportal.com/news/2014/07/03/australia-researchers-develop-intelligent-farm-ladybird-robot/> - 24.11.2017 r.

[8] <http://confluence.acfr.usyd.edu.au/display/AGPub/Welcome+to+Agriculture+at+ACFR> - 24.11.2017 r.

AUTONOMOUS AGRICULTURAL VEHICLES – LOOKING FOR NEW SOLUTIONS

Summary

Automation and robotization of field work have been developed very quickly through the use of new techniques: satellite navigation, vision, radio and artificial intelligence. The article presents an overview of the solutions used in autonomous agricultural vehicles illustrating the directions of their development.

Key words: agricultural vehicles, autonomous vehicles, development trends

KAZIMIERZ A. DRESZER, TADEUSZ PAWŁOWSKI, JAN SZCZEPANIAK,
MARIUSZ SZYMANEK, WOJCIECH TANAS

MASZYNY ROLNICZE



ISBN 978-63-940788-1-2

PRZEMYSŁOWY INSTYTUT MASZYN ROLNICZYCH
POZNAŃ 2015

Podręcznik pt. **MASZYNY ROLNICZE** adresowany jest do szerokiego grona pracowników dydaktycznych i słuchaczy uczelni przyrodniczych oraz użytkowników maszyn rolniczych. Zawarto w nim podstawowe informacje z przedmiotu "Technika rolnicza i eksploatacja maszyn rolniczych" wykładanego na ww. Uczelniach. Problematyka wykładów tego przedmiotu obejmuje charakterystykę szerokiego i niezwykle różnorodnego asortymentu maszyn i urządzeń technicznych. Wyczerpujące omówienie czy opisanie całości materiału jest niemożliwe. Z tych też względów w podręczniku przedstawiono ściśle wyselekcjonowane partie materiału - informacje podstawowe oraz te, które są dziełem autorów lub powstały przy znaczącym ich udziale. Stąd też, pomimo że podręcznik ma charakter pozycji dydaktycznej, nosi znamiona pracy monograficznej. Materiał uzupełniający stanowi literatura zamieszczona na końcu każdego z rozdziałów.

Wydawca:
Branżowy Ośrodek Informacji Naukowej, Ekonomicznej i Normalizacyjnej
Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych
60-963 Poznań, ul. Starołęcka 31
tel. 61 87-12-200; fax 61 879-32-62;
e-mail: office@pimr.poznan.pl;
Internet: <http://www.pimr.poznan.pl>

KOSZTY PRACY MASZYN LEŚNYCH



ISBN 978-83-927505-2-9

Książka adresowana jest przede wszystkim do prywatnych przedsiębiorców Leśnych, Służb Leśnych i pracowników technicznych w Nadleśnictwach, Dyrekcjach Regionalnych oraz Dyrekcji Generalnej Lasów Państwowych i ma na celu przedstawienie sposobu wyliczenia kosztów usług maszynowych wykonywanych w lasach.

Wydawca: Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych
60-963 Poznań, ul. Starołęcka 31
tel. 061 87-12-200; fax 061 879-32-62;
e-mail: office@pimr.poznan.pl; Internet: <http://www.pimr.poznan.pl>