



¹ Wydział Informatyki i Zarządzania, Politechnika Wrocławska,
Wybrzeże Stanisława Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

² Instytut Rolnictwa, Katedra Agronomii, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie,
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa

* Corresponding author: stanislaw_samborski@sggw.edu.pl

MICHAŁ SYNOŚ¹  <https://orcid.org/0009-0006-4234-1470>

STANISŁAW MAREK SAMBORSKI^{2*}  <https://orcid.org/0000-0003-1147-5805>

Zastosowanie nawigacji satelitarnej w pozycjonowaniu pojazdów rolniczych

Application of satellite navigation in the positioning of agricultural vehicles

Abstrakt. Obecnie systemem rolnictwa, w którym wykorzystuje się technologicznie najbardziej zaawansowane rozwiązania, jest rolnictwo precyzyjne. Jednym z najpopularniejszych rozwiązań stosowanych w rolnictwie precyzyjnym są systemy pozycjonowania ciągników, kombajnów i maszyn (ang. guidance systems), nazywane systemami prowadzenia równoległego. Rozwiązania te umożliwiają precyzyjne prowadzenie pojazdów, nawet w trudnych warunkach, takich jak noc, mgła czy kurz, a także gdy nie wytyczono ścieżek technologicznych. Korzystanie z takiego systemu redukuje nakładanie się przejazdów, co zmniejsza zużycie paliwa oraz pozostałych środków produkcji, a w konsekwencji emisję gazów cieplarnianych. Celem opracowania było porównanie aktualnie dostępnych na polskim rynku systemów pozycjonowania pojazdów rolniczych, uwzględniając ich zastosowania, dostępne funkcje, dokładność i łatwość obsługi.

Słowa kluczowe: rolnictwo precyzyjne, prowadzenie równoległe, GNSS, RTK, DGNS, SBAS, PPP

WSTĘP

Rolnictwo to jedna z podstawowych dziedzin gospodarki, której celem jest uzyskiwanie produktów roślinnych i zwierzęcych w wyniku uprawy i hodowli roślin oraz chowu i hodowli zwierząt gospodarskich [Zimny 2003]. Rolnictwo to także dziedzina naszej działalności, w której wprowadzane są nowe technologie. Obecnie systemem, który wykorzystuje technologicznie najbardziej zaawansowane rozwiązania, jest rolnictwo precyzyjne (ang. precision agriculture, precision farming). Według Międzynarodowego Stowarzyszenia Rolnictwa Precyzyjnego (ang. International Society of Precision Agriculture – ISPA) rolnictwo precyzyjne jest strategią gospodarowania, która uwzględnia zmienność czasową i przestrzenną, aby poprawić zrównoważenie produkcji rolnej. W raporcie Government Accountability Office z 2024 r. [<https://www.gao.gov/products/gao-24-105962>] rolnictwo precyzyjne zdefiniowano jako gromadzenie danych mających wskazać lokalizację i określony czas. Celem tych działań jest poprawa gospodarowania zasobami przez precyzyjne stosowanie środków produkcji, takich jak: woda, nawozy, pestycydy i pasze, co prowadzi do bardziej racjonalnej produkcji rolnej. Coraz częściej, jeśli w gospodarstwie wykorzystywane są rozwiązania rolnictwa precyzyjnego, używa się terminów, jak np. rolnictwo cyfrowe (ang. digital agriculture), rolnictwo inteligentne (ang. smart farming) czy rolnictwo

Cytowanie: Synoś M., Samborski S., 2026. Zastosowanie nawigacji satelitarnej w pozycjonowaniu pojazdów rolniczych. *Agron. Sci.* 81(1), 33–48. <https://doi.org/10.24326/as.2026.5619>

4.0 [GeoPard Agriculture 2025]. W rolnictwie precyzyjnym poza wieloma innymi rozwiązaniami wykorzystuje się także dane rejestrowane zdalnie przez satelity dostarczające informacji m.in. o stanie upraw, jakości gleb oraz warunkach atmosferycznych. Odrębną grupą rozwiązań, które również funkcjonują dzięki dostępowi do danych z satelitów, są systemy pozycjonowania ciągników, kombajnów i maszyn (ang. guidance systems) nazywane systemami prowadzenia równoległego. Rozwiązania te wykorzystują nawigację satelitarną do określenia położenia i ruchu odbiorników nawigacyjnych zamontowanych na różnych pojazdach. Nazwa „system prowadzenia równoległego” nawiązuje do wykonywania kolejnych przejazdów ciągnikiem z maszyną, kombajnem lub innym pojazdem, równolegle do przejazdu poprzedniego, z precyzją zależną od dokładności, którą oferuje dany system. W użyciu funkcjonuje też określenie „nawigacja” zamiast „system prowadzenia równoległego”, gdyż każdy taki system prowadzi pojazd przy użyciu systemu nawigacji satelitarnej. Do funkcjonowania nawigacji niezbędne jest wykorzystanie globalnych systemów pozycjonowania satelitarnego (ang. Global Navigation Satellite Systems – GNSS) [Januszewski 2009], gdyż swoim zasięgiem pokrywają całą Ziemię. System prowadzenia równoległego umożliwia m.in. precyzyjne prowadzenie ciągnika po zadanej trajektorii, nawet przy braku założonych ścieżek technologicznych, w prawie każdych warunkach, także w ciemności, mgle i kurzu. Korzystanie z takiego systemu redukuje nakładanie się przejazdów, co obniża zużycie paliwa oraz pozostałych środków produkcji. Mniejsze zużycie paliwa ogranicza emisję spalin, zaś mniejsze zużycie środków produkcji redukuje emisję gazów cieplarnianych. System prowadzenia równoległego pozwala także lepiej zorganizować pracę oraz wykonywać zabiegi agrotechniczne w mniej sprzyjających warunkach, co poprawia ich terminowość. Rozwiązania takie umożliwiają również wprowadzanie nowych technologii uprawy. Przykładem jest uprawa pasowa (ang. strip-till), która polega na spulchnianiu pasów gleby tylko w pobliżu rzędów roślin, przy równoczesnym stosowaniu nawozów, co tworzy optymalne warunki do kiełkowania roślin [Laskowska 2017]. System prowadzenia równoległego pozwala także na wykonanie siewu w tym samym rzędzie co poprzednim razem (ang. on-row), czyli tak aby nowo wysiane rośliny wykorzystywały naturalne kanały powietrzno-kapilarne powstałe po starych korzeniach poprzedniej rośliny, co poprawia podsiąkanie wody przy jej niedoborach. Alternatywnie, wykorzystując ten sam system, można wykonać siew między poprzednimi rzędami roślin (ang. inter-row) [Hollaway 2024]. W literaturze dostępne są przykłady wyników badań, które potwierdzają korzyści wynikające z wdrażania systemów prowadzenia równoległego. Topçueri i Keskin [2019] wykazali istotne zwiększenie dokładności oprysków dzięki zastosowaniu GNSS. Uśredniony dla kilku upraw błąd średniokwadratowy (ang. root mean square error – RMSE) przy wykorzystaniu prowadzenia równoległego z korekcją RTK (ang. real time kinematic) w trakcie uprawy gleby, siewu i oprysku w uprawach kukurydzy, bawełny i orzeszków ziemnych wyniósł $7,5 \pm 1,7$ cm, podczas gdy w przypadku ręcznego prowadzenia przez operatora – $100,5 \pm 27,8$ cm. Z kolei Vellidis i in. [2014] stwierdzili wzrost plonu orzeszków ziemnych o $451\text{--}579 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, co wynikało z ograniczenia strat w trakcie zbioru, gdy maszyna do pierwszego etapu zbioru (tzw. odwracania roślin) była wyposażona w system prowadzenia z równoległego z korekcją RTK. Jak podają Scarfone i in. [2021], wdrożenie systemu GNSS umożliwiło zwiększenie dziennego areału obsianego pola pszenicą ozimą o 1,2 ha oraz obniżenie kosztów siewu o 2,4%. Shinnars i in. [2012] wykazali, że użycie systemu prowadzenia równoległego pozwoliło na redukcję nakładania przejazdów wykonywanych kosiarką z 5,03% do 2,34%. System GNSS był nawet pięciokrotnie dokładniejszy niż doświadczony operator w trudnych warunkach terenowych Baio i Moratelli [2011].

Zalety systemów prowadzenia równoległego, które widoczne są tuż po ich wdrożeniu, sprawiają, że rozwiązania te są coraz częściej wykorzystywane w polskich gospodarstwach.

Celem opracowania było porównanie aktualnie dostępnych na polskim rynku rozwiązań wykorzystywanych do pozycjonowania (prowadzenia równoległego) pojazdów rolniczych, uwzględniając ich zastosowania, dostępne funkcje, dokładność i łatwość obsługi.

Wykorzystywane systemy radionawigacyjne

Każdy GNSS składa się z trzech segmentów. Pierwszy to segment kosmiczny, który tworzą konstelacje satelitów. Drugi to segment kontroli naziemnej, w skład którego wchodzi stacja centralna i stacje monitorujące. Ostatnim elementem GNSS jest segment użytkownika, który obejmuje odbiorniki nawigacyjne, zazwyczaj zamontowane na pojazdach, ale również w przedmiotach codziennego użytku,

np. zegarkach, smartfonach, oraz w urządzeniach pomiarowych używanych przez geodetów i urządzeniach do synchronizacji czasu.

Najstarszym i najbardziej znanym systemem nawigacji satelitarnej jest GPS-NAVSTAR (ang. Global Positioning System – Navigation Signal Timing and Ranging) [United States Department of Transportation 2008], w skrócie nazywany GPS. Trzydzieści jeden satelitów tego systemu umieszczonych jest na sześciu stałych orbitach kołowych typu MEO (ang. Medium Earth Orbit), na wysokości 20 162 km. System ten wykorzystuje dwa podstawowe kanały transmisji sygnału radiowego, tj. L1 oraz L2 [Kaniewski 2006, Januszewski 2009], między satelitami, które wysyłają sygnał, a odbiornikami GNSS zamontowanymi, w przypadku produkcji roślinnej, na ciągnikach, kombajnach i maszynach. Dostęp do kanału L1 daje możliwość określania pozycji odbiornika GPS z dokładnością do 30 m [Kaniewski 2006]. Do komunikacji między odbiornikiem GPS a satelitą wykorzystywane jest kodowanie C/A (ang. coarse acquisition) dostępne tylko na kanale L1 oraz P (ang. precise) dostępne na obu kanałach L1 oraz L2. Użytkownik z dostępem jedynie do kodowania C/A nie odbierze sygnału z kanału L2. Zatem do precyzyjnego określania położenia np. ciągnika wykorzystuje się jednocześnie kanały L1 oraz L2, co zapewnia dziesięciokrotnie większą dokładność pozycjonowania niż przy wykorzystaniu tylko kanału L1 [Kaniewski 2006]. W systemie GPS-NAVSTAR Block III dostępny jest nowy sposób modulacji (zmiany parametrów sygnału), przeznaczony do użytku cywilnego, określany jako RC (ang. replacement code). W przypadku kanału L1 kodowanie to oznaczane jest jako L1C i ma zastąpić dotychczasowy kod C/A. Na kanale L2 wprowadzono dwa nowe sposoby modulacji: CM (ang. civil moderate) i CL (ang. civil long), służące do generowania sygnału znanego jako L2C [Flores 2020, Lopez 2021a]. Nowe wersje modulacji zapewniają większą interoperacyjność systemu GPS-NAVSTAR z innymi systemami GNSS, w tym głównie z systemem Galileo. Ponadto kanał L2C jest bardziej odporny na zakłócenia w porównaniu z kanałem L2 oraz charakteryzuje się większą stabilnością sygnału na obszarach leśnych i silnie zurbanizowanych. Dodatkowo GPS emituje trzy sygnały: L3 używany w systemie NUDET (ang. nuclear detonation detection system) [Holmes 2016] – do wykrywania detonacji jądrowych, L4 służący do badania jonosfery i korekcji sygnałów oraz L5 przeznaczony dla cywilnego lotnictwa [<https://www.gps.gov/new-civil-signals>].

Rosyjskim odpowiednikiem GPS-NAVSTAR jest GLONASS – Globalny System Nawigacji Satelitarnej (ros. *Глобальная навигационная спутниковая система* – ГЛОНАСС). System ten jest dostępny globalnie, również do użytku cywilnego. Satelity GLONASS zapewniają większą precyzję działania systemu na większych szerokościach geograficznych (bliżej biegunów Ziemi) niż GPS-NAVSTAR [Russian Institute of Space Device Engineering 2008]. Wszystkie 24 satelity systemu GLONASS umieszczone są na orbitach MEO na wysokości 19 100 km. Charakterystyczne dla systemu GLONASS jest zastosowanie wielu częstotliwości sygnału (m.in. L1 oraz L2), dla poszczególnych satelitów. Dokładność systemu GLONASS w określaniu pozycji wynosi od 5 do 10 m [Russian Institute of Space Device Engineering 2008].

Obecnie najdokładniejszym systemem nawigacji satelitarnej jest uruchomiony w 2016 r. przez Europejską Agencję Kosmiczną (ang. European Space Agency – ESA) system Galileo. Trzydzieści satelitów (w tym 6 zapasowych) wchodzących w skład tego systemu porusza się po trzech orbitach MEO, na wysokości 23 222 km. Sygnały nawigacyjne generowane przez satelity nadawane są na trzech kanałach: E1, E5 oraz E6. Ponadto kanał E5 ma dwa warianty: E5a oraz E5b. Dodatkowo dostępny jest wariant E6b wykorzystywany do transmisji korekt satelitarnych PPP (opisanych w dalszej części artykułu). System Galileo oferuje następujące usługi:

- OS (ang. Open Service) – ogólnodostępną zapewniającą synchronizację czasu oraz ustalanie lokalizacji z dokładnością do 2 m. Jest to usługa interoperacyjna z innymi systemami, m.in. z GPS-NAVSTAR, i wykorzystuje do nadawania sygnału parami kanały: E1 i E5a lub E1 i E5b [Kouwenhoven 2025a];
- HAS (ang. High Accuracy Service) – o dużej dokładności lokalizacji do 0,2 m, która wykorzystuje kanały E1, E5a, E5b oraz E6 i E6b [Kouwenhoven 2025b];
- PRS (ang. Public Regulated Service) – przeznaczoną dla infrastruktury krytycznej, zatem w pełni zaszyfowaną i niedostępną publicznie, o dokładności do 6,5 m [<https://www.euspa.europa.eu/eu-space-programme/galileo/services>]. W przypadku tej usługi ważna jest odporność na zakłócenia, dostępność sygnału, szyfrowanie oraz niezależność funkcjonowania;
- SAR (ang. Search and Rescue Service) – przeznaczoną tylko dla służb ratowniczych MEOSAR (ang. Medium-Altitude Earth Orbiting Search and Rescue). Nie jest dostępna na obszarze całej Ziemi, lecz tylko na terenie Europy [<https://www.euspa.europa.eu/eu-space-programme/galileo/services>].

Usługa ta pozwala na lokalizację sygnałów alarmowych z dokładnością do 5 km, z prawdopodobieństwem >99%. Wartością mierzoną jest skuteczność wykrywania sygnału ratunkowego, a nie precyzyjne pozycjonowanie.

Kolejnym globalnym systemem pozycjonowania jest chiński BeiDou (znany również jako COMPASS lub BDS). BeiDou spośród pozostałych GNSS wyróżnia umieszczenie satelitów na trzech orbitach o różnych wysokościach: obecnie 27 satelitów znajduje się na orbicie MEO na wysokości 21 500 km, 5 satelitów umieszczonych jest na orbicie geostacjonarnej GEO (ang. Geosynchronous Equatorial Orbit) [Lea 2015] z nachyleniem 0° , na wysokości 35 768 km i 3 satelity umieszczone są na orbicie IGSO (ang. Inclined Geosynchronous Orbit), na wysokości 35 768 km [Lea 2015]. Na tej wysokości okres obiegu satelity po orbicie jest równy okresowi obrotu Ziemi wokół własnej osi względem gwiazd. Sygnały są nadawane na kanałach: B1/B1l, B1c (kompatybilnych z systemami GPS L1 i Galileo E1), B2/B2l, B2a i B2b oraz B3/B3l, z czego tylko kanał B3/B3l jest szyfrowany i przeznaczony dla służb wojskowych [China Satellite Navigation Office 2016]. Ten ostatni kanał przesyłania umożliwia określanie pozycji odbiornika z dokładnością do 10 cm [China Satellite Navigation Office 2016]. BeiDou w ogólnodostępnej wersji dwuzakresowej, przy wykorzystaniu kanałów B1/B1l oraz B2/B2l, oferuje dokładność pozycjonowania do 10 m. Satelity systemu BeiDou umieszczone na orbicie GEO nadają poprawki korekcyjne SBAS (opisane w dalszej części artykułu) na kanałach B1c i B2a, co pozwala uzyskać większą dokładność pozycjonowania, sięgającą nawet do 20–30 cm.

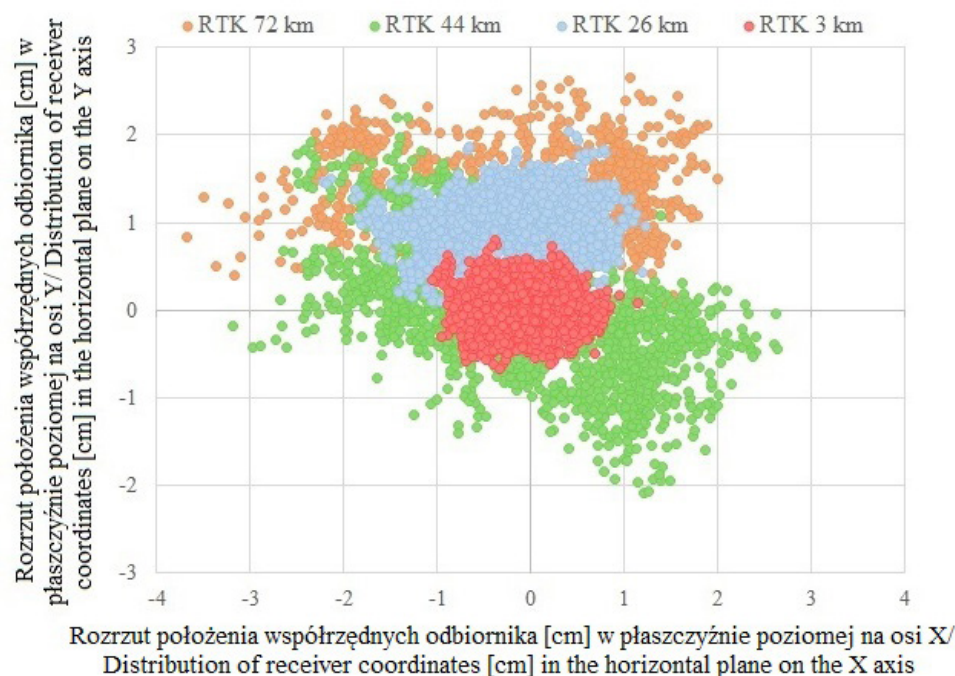
Ostatnim opisywanym systemem GNSS jest japoński regionalny system nawigacji satelitarnej o nazwie QZSS (ang. Quasi-Zenith Satellite System) [Choy i in. 2013], który został stworzony w celu poprawy dokładności i niezawodności nawigowania w Azji Wschodniej i Oceanii. Konstelacja QZSS składa się z czterech satelitów: trzy poruszają się na orbitach typu IGSO, z nachyleniem 43° , na wysokości 35 768 km, natomiast czwarty znajduje się na orbicie GEO, na wysokości 35 768 km. Taka konfiguracja sprawia, że przynajmniej jeden satelita jest zawsze widoczny blisko zenitu nad Japonią. System QZSS nadaje na kanałach: L1-C/A, L1C, L2C, L5 i wykorzystywany razem z sygnałem z satelitów konstelacji GPS-NAVSTAR zapewnia dokładność na poziomie 1 m, zaś przy użyciu kanału L1-SAIF zapewnia dokładność do 0,3 m. Natomiast najdokładniejszy jest eksperymentalny sygnał nadawany na kanale L6-LEX, który pozwala uzyskać dokładność pozycjonowania do 3 cm [Lopez 2021b]. Dzięki globalnej charakterystyce systemów GNSS odbiorniki w Europie mogą również odbierać sygnały z satelitów QZSS, ale nie będą one tak mocne ani precyzyjne, jak na obszarze Azji i Pacyfiku. W związku z tym w Europie QZSS jest wykorzystywany do wspomagania innych GNSS w ograniczonym zakresie [Choy i in. 2013].

Wspomaganie systemów GNSS

Dokładność pozycjonowania pojazdów, w tym np. ciągników i maszyn wyposażonych w odbiorniki GNSS, obarczona jest błędami. Dlatego wyznaczone odległości między odbiornikami GNSS umieszczonymi na pojazdach a satelitami (nadajnikami) nazywa się pseudoodległościami [Lamparski i in. 1994]. Do dokładniejszego określania położenia odbiornika GNSS w czasie rzeczywistym wykorzystuje się metodę RTK. Przy użyciu klasycznych systemów GNSS pozycja odbiornika ustalana jest na podstawie obliczeń wykonanych po pomiarze (ang. post-processing) czasu, jaki potrzebuje sygnał, aby dotrzeć z satelity do odbiornika. W przypadku metody RTK odbiornik GNSS mierzy różnicę fazową fali nośnej sygnału satelitarnego, czyli przesunięcie fazowe między sygnałem odebrany z satelity a sygnałem generowanym lokalnie w odbiorniku. Pomiaru te są bardziej precyzyjne niż pomiary samego kodu (ang. code phase), ale wymagają wyznaczenia nieoznaczoności fazowej (ang. integer ambiguity), czyli określenia, ile pełnych cykli fali miało miejsce między satelitą a odbiornikiem GNSS [Wang i in. 2021]. Porównanie wyników pomiarów z odbiornika GNSS oraz ze stacji referencyjnej (bazowej) pozwala na obliczenie błędu i wyznaczenie korekty różnicowej, która umożliwia uzyskanie dokładności pozycjonowania ciągnika lub maszyny w zakresie 1–3 cm [Oszczak i in. 2009]. Obecnie stacje referencyjne dystrybuują sygnał RTK poprzez nadajniki radiowe UHF (ang. ultra high frequency) lub przy użyciu telefonii GSM (ang. Global System for Mobile Communications). Wadą metody RTK jest konieczność zapewnienia ciągłej łączności między stacją referencyjną a odbiornikiem GNSS. Duże znaczenie ma również odległość odbiornika od stacji. Wraz ze wzrostem tej odległości zwiększa się wpływ błędów geometrycznych i jonosferycznych na określanie położenia odbiornika GNSS względem stacji referencyjnej, co przedstawiono na rycinie 1 [<https://www.asgeupos.pl/serwisy-rtk>].

Rycina 1. Rozkład współrzędnych odbiornika w płaszczyźnie poziomej dla stacji referencyjnych RTK (obsługiwanych przez system Aktywnej Sieci Geodezyjnej) znajdujących się w różnych odległościach od odbiornika GNSS przy użyciu sygnałów GPS i GLONASS [https://www.asgeupos.pl/serwisy-rtk/]

Figure. 1. Coordinate distribution in the horizontal plane for reference RTK stations (served by the ASG-EUPOS system) located at different distances from a GNSS receiver using GPS and GLONASS signals [https://www.asgeupos.pl/serwisy-rtk/]



W Polsce funkcjonuje państwowy system Aktywnej Sieci Geodezyjnej (ASG-EUPOS) składający się z 120 równomiernie rozmieszczonych na terenie całego kraju stacji referencyjnych, które zwiększają dokładność pozycjonowania wszelkich pojazdów i urządzeń wyposażonych w odbiorniki GNSS [https://www.asgeupos.pl/serwisy-rtk]. Komunikacja między odbiornikami GNSS a stacjami referencyjnymi odbywa się z użyciem telefonii GSM oraz internetu przy wykorzystaniu protokołu NTRIP (ang. Networked Transport of RTCM via Internet Protocol), który pozwala na przesyłanie korekty w czasie rzeczywistym [Oszczak i in. 2009]. Na rynku dostępne są zarówno płatne, jak i bezpłatne korekty sygnału. Należy jednak pamiętać, że w okresie intensywnego wykorzystywania systemu prowadzenia równoległego, np. wiosennych prac polowych, rozwiązania darmowe mogą tracić sygnał i wobec tego nie zapewniać deklarowanej precyzji nawigowania ze względu na obciążenie dużą liczbą użytkowników, zwłaszcza w trudnym terenie i przy złych warunkach atmosferycznych.

Drugą techniką, która umożliwia uzyskanie dokładności pozycjonowania obiektów na poziomie centymetrowym, jest precyzyjne pozycjonowanie punktowe (ang. precise point positioning – PPP). Zaletą stosowania PPP w porównaniu z RTK jest to, że zapewnia globalną dostępność bez potrzeby korzystania z pobliskich stacji referencyjnych. PPP opiera się na wykorzystaniu precyzyjnych danych o położeniu orbit satelitów GNSS oraz korekt zegarowych dodawanych do komunikatu nawigacyjnego. Kanał E6b systemu Galileo, kanał B2b systemu BeiDou i eksperymentalny kanał L6-LEX systemu QZSS pozwalają na wykorzystanie techniki PPP [Choy i in. 2013, Wei i in. 2024]. W przypadku systemów GPS oraz GLONASS możliwe jest zastosowanie techniki PPP tylko wtedy, gdy odbiornik GNSS jest statyczny. Wówczas można uzyskać dokładność pozycjonowania nawet rzędu milimetrów przy 24-godzinnych sesjach obserwacyjnych [Wei i in. 2024]. Jednak dla rolnictwa precyzyjnego ta technika pozycjonowania jest nieprzydatna, gdyż systemy GPS-NAVSTAR i GLONASS nie mają wystarczającej wydajności kanału transmisji, by rozwiązanie to wykorzystywać, gdy pojazdy są w ruchu.

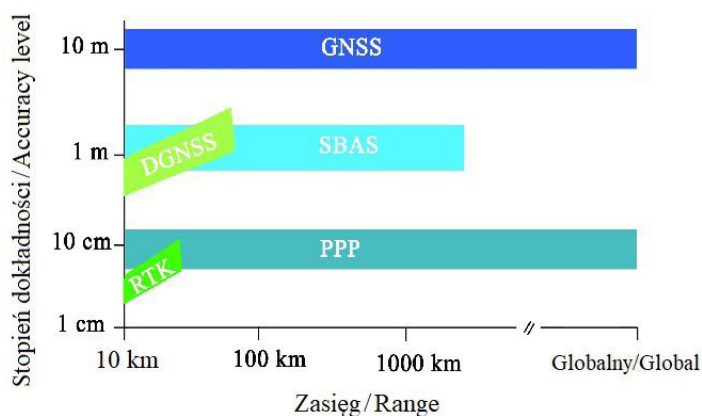
Pozycjonowanie różnicowe, znane jako DGPS (ang. differential GPS) lub DGNSS (ang. differential GNSS) [Pereira 2018], jest stosowane w celu poprawy dokładności przez takie systemy, jak: GPS-NAVSTAR, GLONASS, BeiDou i Galileo. Technika ta opiera się na wykorzystaniu dodatkowej stacji bazowej (referencyjnej) jako odbiornika o znanych współrzędnych geograficznych do wykonania

korekcji położenia w czasie rzeczywistym właściwego odbiornika GNSS zamontowanego na pojeździe. Korekta jest następnie przesyłana do tego odbiornika GNSS znajdującego się w ruchu, w odległości od kilku do kilkudziesięciu kilometrów od stacji bazowej [Pereira 2018]. Pomiar różnicowy opiera się na założeniu, że jego błędy w obszarze wokół punktu odniesienia (stacji referencyjnej) i odbiornika są zbliżone, a w idealnym przypadku identyczne. Jeśli dwa odbiorniki (stacja bazowa i odbiornik, np. na ciągniku) znajdują się blisko siebie, sygnały satelitarne docierające do nich przechodzą przez ten sam obszar atmosfery i teren, zatem są obarczone podobnymi błędami propagacji. Na tej podstawie jeden z odbiorników może posłużyć do pomiaru wartości błędu, a następnie przekazać uzyskane wyniki tego pomiaru do drugiego odbiornika, który jest w ruchu [Pereira 2018]. Znając położenie satelitów na orbicie oraz współrzędne stacji bazowej, oblicza się teoretyczną odległość między anteną stacji a satelitą. Wymaga to idealnej synchronizacji zegarów nadajnika (satelity) i odbiornika GNSS zamontowanego na pojeździe. Odległość między odbiornikiem GNSS umieszczonym w stacji bazowej a satelitą oblicza się, mnożąc czas propagacji sygnału przez prędkość światła. Po porównaniu tej odległości z pseudo-odległością zmierzoną z wykorzystaniem odbiornika GNSS znajdującego się na pojeździe uzyskuje się korektę różnicową. Pomimo że DGPS działa na podobnej zasadzie jak RTK, to wykorzystanie DGPS pozwala na uzyskanie dokładności pozycjonowania tylko w zakresie od 20 do 30 cm. Jednak DGPS stanowi znaczną poprawę dokładności pozycjonowania w porównaniu ze standardowymi pomiarami GNSS i charakteryzuje się również dużą powtarzalnością pomiarów, co jest bardzo ważne w przypadku systemów prowadzenia równoległego. System DGPS jest łatwiejszy do wdrożenia niż RTK i ma mniejsze wymagania sprzętowe. Dlatego też często ta metoda korekcji pozycjonowania jest wykorzystywana jako podstawowa w systemach prowadzenia równoległego. Najbardziej popularnym rodzajem pozycjonowania różnicowego DGPS, o zasięgu regionalnym lub nawet kontynentalnym, jest SBAS (ang. Satellite-Based Augmentation System) [Caro 2021]. System ten wykorzystuje dodatkowo satelity geostacjonarne, jak również sieci naziemnych stacji referencyjnych. Jednak do przesyłania wartości poprawek służą satelity, a nie bezpośrednie połączenia ze stacjami. SBAS ma regionalne odmiany wykorzystywane w różnych częściach świata. Do najczęściej używanych w systemach prowadzenia równoległego należą: WASS (ang. Wide Area Augmentation System), EGNOS (ang. European Geostationary Navigation Overlay Service), MSAS (ang. Multi-functional Satellite Augmentation System), GAGAN (ang. GPS Aided Geo Augmented Navigation) [Caro 2021].

Porównanie dokładności pozycjonowania zapewnionej przez opisane powyżej systemy GNSS przedstawiono na rycinie 2.

Rycina 2. Porównanie dokładności pozycjonowania zapewnianej przez RTK, PPP, SBAS, DGNSS i standardowy GNSS [Hussain i in. 2020]

Figure 2. Comparison of positioning accuracy provided by RTK, PPP, SBAS, DGNSS, and Standard GNSS [Hussain et al. 2020]



Dostępne na rynku systemy prowadzenia równoległego

W niniejszym rozdziale opisano rozwiązania prowadzenia równoległego dostępne na rynku polskim w pierwszej połowie 2025 r., uwzględniając ich funkcje, dokładność pozycjonowania, łatwość

obsługi i koszt. Wybór odpowiedniego rozwiązania jest ważny dla rolnika, który dąży do usprawnienia i optymalizacji wykonywania prac w gospodarstwie przy użyciu systemów prowadzenia równoległego, którego zastosowania są ograniczone coraz częściej tylko wyobraźnią ich użytkowników. Zestawienie szczegółów technicznych ww. systemów ze względu na ich obszerność przedstawiono w tabelach 1–3.

Pierwszym oferowanym rozwiązaniem jest system CHCNAV NX510 SE RTK produkowany przez chińską firmę CHC Navigation – CHCNAV (tabela 1). Rozwiązanie to wykorzystuje kontroler naprowadzania wspierany przez systemy pozycjonowania: GPS-NAVSTAR, GLONASS, Galileo, BeiDou i QZSS [<https://www.chcpolska.pl/nx510se>]. Do uzyskania łączności między odbiornikiem GNSS a stacjami referencyjnymi wykorzystywany jest modem 4G oraz modem radiowy UHF. Takie rozwiązanie umożliwia uzyskanie dokładności pozycjonowania RTK, które korzysta z lokalnych sieci LTE (ang. long term evolution) lub bezpośredniego połączenia radiowego ze stacją bazową GNSS. Zestaw prowadzenia równoległego zawiera antenę, panel sterowania (wyświetlacz) oraz kierownicę wraz z okablowaniem. Budowa systemu umożliwia jego przenoszenie między pojazdami zarówno nowymi, jak i starszymi. System CHCNAV NX510 SE RTK pozwala na jazdę równoległą ciągnika, który współpracuje z maszynami przy użyciu standardu komunikacji ISOBUS stosowanego w rolnictwie i leśnictwie pozwalającego na współpracę ciągników i innych pojazdów z maszynami różnych producentów.

Kolejnym dostępnym na rynku rozwiązaniem jest zestaw Trimble CAN Autopilot amerykańskiej firmy Trimble, w skład którego wchodzi wyświetlacz XCN-1050 oraz antena NAV-900 współpracująca z systemami: GPS-NAVSTAR, GLONASS, Galileo oraz BeiDou [<https://pl.agriculture.trimble.com/product/sterownik-prowadzenia-nav-900/>]. Antena NAV-900 wykorzystująca metodę RTK (po wykupieniu subskrypcji) do korekcji sygnału, umożliwia uzyskanie dokładności pozycjonowania większej niż 2,5 cm. Bezpłatny system firmy Trimble oferuje dokładność pozycjonowania przy wykorzystaniu sieci EGNOS (SBAS) na poziomie ± 15 cm. Dodatkowo w ramach odrębnego pakietu dostępny jest zaawansowany system EZ-Pilot Pro do precyzyjnej nawigacji i automatycznego sterowania maszyn rolniczych. System ten po włączeniu przejmuje kontrolę nad pojazdem, automatycznie dostosowując jego prowadzenie do warunków terenowych, topografii terenu czy kierunku jazdy. Takie prowadzenie pojazdu jest możliwe przy użyciu zintegrowanego IMU (ang. inertial measurement unit), czyli jednostki łączącej w sobie funkcje akcelerometru, żyroskopu i magnetometru, która pozwala na pomiar przyspieszenia, prędkości kątowej oraz ocenę położenia w trzech wymiarach. System prowadzenia równoległego firmy Trimble może komunikować się większością maszyn rolniczych dostępnych na rynku przy użyciu standardu ISOBUS [<https://pl.agriculture.trimble.com/product/sterownik-prowadzenia-nav-900/>].

Polska firma Hydra System oferuje system prowadzenia równoległego – HYDRA DRIVE PRO [https://hydrasystem.pl/system.pl_PL.html]. W skład zestawu wchodzi odbiornik GNSS o nazwie Hydra Box o dokładności pozycjonowania w zakresie od 20 do 30 cm lub odbiornik GNSS o nazwie Hydra Box RTK o precyzji w zakresie do 2–3 cm. System HYDRA DRIVE PRO zawiera także stację bazową Hydra Base i moduł Hydra Auto Wheel do automatycznego prowadzenia pojazdów oraz aplikację HYDRA NAV. System ten umożliwia komunikację z maszynami przy użyciu standardu ISOBUS i pozwala na automatyczną lub manualną kontrolę sekcji oraz stosowanie zmiennej dawki środków produkcji. Stacja bazowa zawarta w zestawie eliminuje potrzebę wykupowania osobnych abonamentów RTK dla odbiorników GNSS, ponieważ umożliwia ona jednocześnie przesyłanie korekt do wielu odbiorników GNSS, transmitując sygnał przy użyciu łącza LTE z użyciem telefonu komórkowego lub przez moduł GSM. Ograniczeniem systemu HYDRA DRIVE PRO jest wykorzystanie sygnału tylko z konstelacji satelitów: GPS-NAVSTAR oraz GLONASS [https://hydrasystem.pl/system.pl_PL.html].

Kolejnym systemem prowadzenia równoległego dostępnym na rynku jest FJDynamics AT2 RTK chińskiej firmy FJDynamics. System ten może komunikować się z dużą liczbą maszyn rolniczych przy użyciu standardu ISOBUS. Korekcja pozycjonowania jest dostępna przy użyciu metody SBAS, metodą RTK w ramach opcjonalnej, płatnej subskrypcji, a także poprzez bezpłatne korzystanie z poprawek RTK (np. z ASG-EUPOS) [<https://agriculture.fjdynamics.com/pl/products/fjd-at2-auto-steer-system>]. W porównaniu z innymi rozwiązaniami system FJDynamics AT2 RTK umożliwia precyzyjne pozycjonowanie pojazdów przy użyciu techniki PPP, bez wykorzystania stacji bazowej. Rozwiązanie to jest możliwe, gdyż system ten wykorzystuje wybrane kanały systemów Galileo, QZSS i BeiDou, które pozwalają na dużą wydajność transmisji sygnału. Dodatkowo możliwa jest integracja FJDynamics AT2 RTK z systemem zarządzania gospodarstwem FMS (ang. Farm Management System), który gromadzi i analizuje dane dotyczące upraw oraz pracy ciągników i maszyn.

Tabela 1. Zestawienie danych technicznych systemów prowadzenia równoległego, część I
Table 1. Summary of technical data of the guidance systems, part I

Nazwa/Name	Konstellacje satelitów/ Satellite constellations	Dokładność pozycjonowania/ Positioning accuracy	Cechy szczególne/ Key features
CHCNAV NX510 SE RTK	– GPS – BeiDou – Galileo – GLONASS – QZSS	– RTK $\pm 2\text{--}3$ cm – DGPS $\pm 20\text{--}30$ cm	– ekran dotykowy/ touchscreen 10.1" – wielojęzyczne oprogram. AgNav/ multilingual software: AgNav – brak dodatkowych opłat za RTK/ no RTK fees – ISOBUS – 4G/LTE – wi-fi – Bluetooth
Trimble CAN Autopilot	– GPS – GLONASS – Galileo – BeiDou	– RTK $\pm 2,5$ cm – EGNOS ± 15 cm	– ekran/ screen 10" – EZ-Pilot Pro – ISOBUS – wi-fi – Bluetooth
HYDRA DRIVE PRO	– GPS – GLONASS	– RTK $\pm 2\text{--}3$ cm – DGPS $\pm 20\text{--}30$ cm	– ekran/ screen 10" – stacje bazowe zasięg do 20 km/ base stations range up to 20 km – brak abonamentu, RTK w cenie/ no subscription, RTK included in the price – obsługa RTK ASG-EUPOS/ supports RTK ASG-EUPOS – ISOBUS – 4G/LTE – wi-fi – Bluetooth
FJDynamics AT2 RTK	– GPS – GLONASS – BeiDou – Galileo – QZSS	– RTK $\pm 2,5$ cm – SBAS $\pm 10\text{--}20$ cm	– ekran/ screen 10" – stacje bazowe zasięg do 30 km/ base stations range up to 30 km – żyroskop/ gyroscope IMU – obsługa RTK ASG-EUPOS / support RTK ASG-EUPOS – 4G/LTE – wi-fi – Bluetooth
Sveaverken F100 Auto Steer System	– GPS – GLONASS – BeiDou – Galileo	– RTK $\pm 2,5$ cm – SBAS $\pm 10\text{--}20$ cm – PPP $\pm 2\text{--}10$ cm	– ekran /screen 10,1" – żyroskop IMU/ gyroscope IMU – ISOBUS – obsługa RTK ASG-EUPOS/ support RTK ASG-EUPOS – 4G/LTE – wi-fi – bluetooth
Ag Leader InCommand 1200	Antena/ Antenna Ag Leader 6500: – GPS – GLONASS Antena / Antenna Ag Leader 7500: – GPS – GLONASS – Galileo – BeiDou	– RTK $\pm 2,5$ cm – WAAS $\pm 15\text{--}30$ cm	– ekran/ screen 12,1" – ISOBUS – multiple product control 1, większa ilość dodatkowo płatna/ additional products at extra cost – korekty RTK rok w cenie, następnie odpłatnie lub darmowe RTK ASG-EUPOS/ 1-yr RTK included in the price, then paid or free ASG-EUPOS – współpraca z InCab/ with compatible InCab – 4G/LTE – wi-fi – Bluetooth (z Ag Leader 7500) (with a Ag Leader 7500 receiver)

Tabela 2. Zestawienie danych technicznych systemów prowadzenia równoległego, część II
Table 2. Summary of technical data of the guidance systems part II

Nazwa Name	Konstelacje satelitów Satellite constellations	Dokładność pozycjono- wania Positioning accuracy	Cechy szczególne/ Key features
JohnDeere AutoTrac	– GPS – Galileo – GLONASS – BeiDou	– SF1 ±15–20 cm – RTK ±2,5 cm	– oprogramowanie do synchronizacji danych/ data sync software JDLink – ISOBUS – integracja z GreenStar 3 2630 lub CommandCenter™ G5™ z AutoTrac/ integration with GreenStar 3 2630 or CommandCenter™ G5™ with AutoTrac – integracja z with InCommand 1200 Ag Leader/ integration with InCommand 1200 Ag Leader – możliwość doposażenia w kierownicę ATU 300/ optional steering wheel ATU 300 – płatna licencja roczna SF-RTK/ annual paid SF-RTK – płatna licencja roczna Guidance/ annual paid Guidance – płatna licencja roczna Essentials/ annual paid Essentials – obsługa RTK ASG-EUPOS jako alternatywa SF-RTK/ support RTK ASG-EUPOS as an alternative SF-RTK – 4G/LTE przez moduł JDLink/ 4G/LTE via JDLink – wi-fi przez moduł JDLink/ wi-fi via JDLink – Bluetooth
Topcon Value Line Steering	antena/antenna XR1: – GPS – GLONASS – GALILEO – BeiDou	– RTK ±2,5 cm – WAAS ±15–30 cm	– rok RTK w cenie, następnie odpłatnie/ 1-yr RTK included in the price, then paid – obsługa RTK ASG-EUPOS/ support RTK ASG-EUPOS – manualny ISOBUS/ manual ISOBUS – wi-fi – Bluetooth
Topcon Premium	antena/antenna AGS-2: – GPS – GLONASS – GALILEO – BeiDou	– RTK ±2,5 cm – WAAS ±15–30 cm – PPP ±2–10 cm	– ISOBUS – integracja z TAP – ang. Topcon Agriculture Platform na 1 rok w cenie, następnie odpłatnie/ TAP integration included in the price 1-yr, then paid – 1 rok RTK w cenie, następnie odpłatnie/ 1-yr RTK included in the price; then paid – obsługa RTK ASG-EUPOS/ support RTK ASG-EUPOS – automatyczna kontrola sekcji, stosowanie zmiennej dawki, automatyczne pobieranie map z platformy TAP/ auto section control, variable rate application, auto map download from platform TAP – 4G/LTE poprzez modem CL-55 lub CL-20/ 4G/LTE via CL-55 or CL-20 – wi-fi – Bluetooth

Szwedzka firma Sveaverken oferuje system automatycznego prowadzenia maszyn rolniczych pod nazwą F100 Auto Steer System. Rozwiązanie to wykorzystuje trzy metody korekcji: RTK, SBAS oraz PPP z użyciem systemów GPS, GLONASS, BeiDou i Galileo [Sveaverken 2022, <https://www.sveaverken.com/pl/products/f100-auto-steer-system>]. F100 Auto Steer System jest dostępny w dwóch wariantach: podstawowym i zaawansowanym, które różnią się oprogramowaniem sterującym. Zaawansowana wersja systemu ma modułową budowę, dzięki czemu można go łatwo dopasować do różnych ciągników i maszyn. Dodatkową funkcjonalnością jest biblioteka maszyn i narzędzi, która pozwala szybko zmieniać ustawienia między różnymi konfiguracjami bez potrzeby ponownej kalibracji. Ponadto zaawansowana wersja umożliwia wznawianie przerwanej pracy od zapamiętanego miejsca na polu [<https://www.sveaverken.com/pl/products/f100-auto-steer-system>]. Wersja podstawowa nie obsługuje zaawansowanych funkcji wykorzystujących protokołów ISOBUS, takich jak: automatyczne zawracanie, które ułatwia manewry na uwrociach, tworzenie cyfrowych granic pól oraz zapisywanie ścieżek przejazdu.

Tabela 3. Zestawienie danych technicznych systemów prowadzenia równoległego, część III
Table 3. Summary of technical data of the guidance systems, part III

Nazwa/Name	Konstelacje satelitów/ Satellite constellations	Dokładność pozycjonowania/ Positioning accuracy	Cechy szczególne/ Key features
AgroOSA	– GPS – GLONASS	– RTK $\pm 2,5$ cm – WAAS $\pm 15\text{--}30$ cm	BASIC: – pojedyncza antena/ single antenna – oprogramowanie/ software easyAgro – WAAS – ISOBUS pełny zestaw/ full kit: – dual RTK – stacja bazowa RTK w zestawie/ RTK base station included – obsługa RTK ASG-EUPOS/ support RTK ASG-EUPOS – karta LTE z Internetem oraz gwarancja na 24 miesiące/ LTE SIM with data + 24-month warranty – integracja z FarmPortal – wi-fi – Bluetooth
RAVEN CR12	– GPS – Galileo – GLONASS – BeiDou	– RTK $\pm 2\text{--}3$ cm – SBAS $\pm 20\text{--}30$ cm	– ekran /screen 12,1” – Slingshot – zdalny zapis danych/ Slingshot – remote data logging – 4G/LTE – modem 4G Slingshot – wi-fi – Bluetooth – PLM RTK odpłatnie/ PLM RTK additional cost – obsługa RTK ASG-EUPOS/ support RTK ASG-EUPOS
RAVEN CR7	– GPS – Galileo – GLONASS – BeiDou	– SBAS $\pm 20\text{--}30$ cm	– ekran/ screen 7” – wi-fi – Bluetooth
Farmnavigator G	– GPS – Galileo – GLONASS – BeiDou	– RTK $\pm 2\text{--}3$ cm – SBAS $\pm 20\text{--}30$ cm	– kompensacja terenu/ terrain compensation – integracja z maszynami/ machine integration – zapisywanie danych na serwerze/ server data logging – własna stacja RTK, cena zależna od wersji/ own RTK station, price depends on version – dopłata do wyświetlacza G12/ G12 display extra cost – platforma Globtrack na rok w cenie, następnie odpłatnie/ Globtrack platform 1-yr included in the price, then paid – 4G/LTE z All in One RTK – wi-fi – Bluetooth

Amerykańska firma Ag Leader jest producentem systemu prowadzenia równoległego – Ag Leader InCommand 1200 z oprogramowaniem SteerCommand Z2 i odbiornikami GNSS – Ag Leader 6500 lub 7500. System Ag Leader InCommand 1200 wykorzystuje metody korekcji WAAS (odpowiednik systemu SBAS działający na terenie głównie Ameryki Północnej) oraz RTK <https://portal.agleader.com/community/s/topic/0TOF400000099NWGAY/guidance-steering>. Moduł GSM wbudowany we wspomnianych antenach umożliwia pobieranie poprawek, które zapewniają dokładność RTK, bez konieczności zakupu własnej stacji referencyjnej. Pierwszy rok abonamentu RTK zawarty jest w cenie zestawu,

zaś roczne przedłużenie licencji jest płatne. Alternatywę stanowią darmowe korekty sygnału bazujące na RTK. Podstawowa wersja systemu firmy Ag Leader umożliwia kontrolowanie stosowania tylko jednego produktu (np. nawozu) za pomocą ISOBUS. Natomiast jednorazowe, płatne rozszerzenie licencji o tzw. Multi-Product Unlock daje możliwość stosowania więcej niż jednego produktu jednocześnie (np. dwóch różnych nawozów, nawozu i środka ochrony roślin, nasion i nawozu itp.) w ramach jednego zabiegu uprawowego. System InCommand 1200 pozwala także na gromadzenie danych i ich przesyłanie na platformę AgFiniti, która umożliwia zdalne dwukierunkowe monitorowanie pracy i wydajności kombajnów, ciągników oraz maszyn.

Firma John Deere oferuje system prowadzenia równoległego AutoTrac z anteną (odbiornikiem GNSS) StarFire 7500, który umożliwia korzystanie z systemów: GPS, GLONASS, Galileo i BeiDou [<https://www.deere.pl/pl/rolnictwo-precyzyjne/podstawowe-informacje/starfire-7500>] (tabela 2). Wbudowany firmowy system korekcji SF1 eliminuje konieczność zakupu osobnej stacji referencyjnej. SF1 działa w ramach technologii StarFire (globalna sieć stacji referencyjnych i satelitów INMARSAT oraz dostępnych GNSS) i gwarantuje globalną, dobrą dokładność pozycjonowania, porównywalną z SBAS (± 15 cm). System AutoTrac umożliwia integrację z rozwiązaniami firmy John Deere, takimi jak GreenStar 3 2630 i CommandCenter G5 oraz z systemem InCommand 1200 firmy Ag Leader [Ag Leader 2019]. Producent dostarcza również oprogramowanie JDLink wraz z modemem, które pozwala na darmowe, dwukierunkowe monitorowanie ciągników i maszyn w czasie rzeczywistym w celu optymalizacji pracy tych pojazdów. Możliwe jest również udostępnianie zebranych danych innym systemom zarządzania gospodarstwem [<https://www.deere.com/en/technology-products/precision-ag-technology/operations-center/connected-partners>]. Dodatkowo istnieje możliwość bezpłatnego korzystania z platformy John Deere Operations Center lub alternatywnie z aplikacji internetowej OneSoil [<https://onesoil.ai/pl>]. Tym, co wyróżnia ofertę marki John Deere spośród innych, jest model oparty na licencjach. Podstawowy zestaw sprzętowy składa się z anteny StarFire 7500, wyświetlacza G5Plus, okablowania i uchwytu [<https://www.deere.pl/pl/rolnictwo-precyzyjne/podstawowe-informacje/starfire-7500>]. W przypadku potrzeby rozszerzenia zestawu o system ISOBUS wraz z gniazdem InCab należy doliczyć dodatkowy koszt, który obejmuje zarówno sprzęt, jak i jego montaż. W cenie jest też zawarta roczna gwarancja. Aby korzystać z zamontowanego wyposażenia, konieczne jest wykupienie rocznych licencji. Podstawowa płatna licencja Guidance pozwala na wykorzystanie systemu AutoTrac. W przypadku potrzeby korzystania z funkcji ISOBUS do kontroli sekcji, np. opryskiwacza czy stosowania zmiennej dawki nawozów, wymagane jest wykupienie licencji Essential [<https://www.deere.pl/pl-pl/produkty-rozwiazania/rozwiazania-technologiczne/pakiet-essentials>]. Obejmuje ona wszystkie funkcje licencji podstawowej oraz dodatkowo funkcję AutoPath – rozwiązanie, które automatycznie tworzy zalecane ścieżki prowadzenia maszyn na podstawie wprowadzonych wcześniej granic pola i szerokości roboczej maszyny. Odbiornik StarFire 7500 współpracuje z darmowymi korektami RTK (ze stacji ASG-EUPOS) i nie wymaga ich dodatkowego odblokowywania. Istnieje także możliwość skorzystania z płatnego sygnału korekcyjnego SF-RTK, dostarczanego przez firmę John Deere, bez konieczności dokupowania dodatkowego sprzętu.

Dział Topcon Agriculture japońskiej firmy Topcon oferuje dwa systemy prowadzenia równoległego o nazwie Topcon VLS (ang. Value Line Steering) z anteną XR-1 oraz Topcon Premium wyposażony w antenę AGS-2 [<https://precyzyjnerolnictwo.pl/rozwiiazania/systemy-prowadzenia-rownoleglego>]. Oba systemy wykorzystują korekcję RTK. Antena AGS-2, oprócz łączności wi-fi, obsługuje transmisję danych za pośrednictwem protokołu internetowego NTRIP lub radia RTK przy użyciu modemu Topcon CL-55. Roczny abonament RTK jest wliczony w cenę zestawu. Po jego zakończeniu użytkownik ma możliwość: przedłużenia subskrypcji w firmie Topcon, wykupienia abonamentu u innego dostawcy lub skorzystania z bezpłatnych poprawek z ASG-EUPOS. System Topcon Premium w ramach dodatkowego abonamentu obsługuje również korekcję PPP. System Premium umożliwia także stosowanie zmiennej dawki nawozów, kontrolę sekcji, np. opryskiwacza, oraz synchronizację z usługami chmurowymi. W przypadku systemu Topcon VLS dostępny jest jedynie manualny ISOBUS, czyli bez możliwości automatycznej kontroli sekcji, stosowania zmiennej dawki środków produkcji i jego integracji z zewnętrznymi systemami wspierającymi pracę. W przypadku terminala (wyświetlacza) ISOBUS obsługiwanego ręcznie, operator np. wyłącza sekcje opryskiwacza czy zmienia dawkę oprysku, a precyzja tych działań jest zależna od operatora. Firma Topcon dla użytkowników jej systemów prowadzenia równoległego dostarcza odpłatnie dostęp do platformy TAP (ang. Topcon Agriculture Platform), która wspomaga zarządzanie gospodarstwem rolnym.

Polski system prowadzenia równoległego o nazwie AgroOSA oferuje precyzję pozycjonowania RTK, którą można uzyskać, wykorzystując stację referencyjną producenta, na obszarze do 30–40 km od ww. stacji [<https://www.agroosa.pl>] (tabela 3). Takie rozwiązanie może być ograniczeniem, jeśli gospodarstwo ma rozłóg wyspowy, czyli pola położone w dużych odległościach od stacji referencyjnej. System AgroOSA oferuje pełną integrację ze standardem ISOBUS, który umożliwia sterowanie wieloma sekcjami maszyn, a także stosowanie zmiennej dawki środków produkcji. Możliwa jest obsługa maszyn, które pozwalają na rozłączanie i załączanie do 16 sekcji analogowych lub do 128 sekcji cyfrowych. Dodatkowo system pozwala na wykonywanie automatycznego zawracania, co zwiększa wydajność pracy. Odbiornik GNSS montowany z systemem AgroOSA współpracuje tylko z konstelacjami satelitów GPS-NAVSTAR oraz GLONASS, ale jest możliwość integracji tego systemu z platformą FarmPortal, oprogramowaniem, które umożliwia kompleksowe zarządzanie gospodarstwem oraz monitorowanie upraw [<https://farmportal.eu/en/navigation-automatic-control>].

Amerykańska firma Raven Industries oferuje dwa systemy prowadzenia równoległego. System ten korzysta z sygnałów satelitarnych GPS-NAVSTAR, GLONASS, Galileo oraz BeiDou. Pierwszy, bardziej zaawansowany, to Raven CR12 wyposażony w odbiornik RS1 i systemem DirecSteer, który umożliwia automatyczne sterowanie maszynami [<https://www.ravenind.com/products/displays/cr12-plus>]. Odbiornik RS1 współpracuje z systemem korekcji RTK przy użyciu modemu 4G Slingshot który łączy się ze stacją referencyjną za pomocą protokołu NTRIP przez sieć LTE. Dzięki temu kanałowi łączności możliwe jest przesyłanie poprawek różnicowych w czasie rzeczywistym. Dodatkowo modem umożliwia zapisywanie danych w chmurze, co ułatwia ich przechowywanie i dostęp z dowolnego miejsca. Producent oferuje własny płatny sygnał korekt PLM RTK, który zapewnia dużą dokładność prowadzenia pojazdów z wykorzystaniem metody RTK. System Raven CR12 jest kompatybilny także z innymi systemami korekcji, w tym z darmowym sygnałem ASG-EUPOS. Drugi, mniej zaawansowany system prowadzenia równoległego ww. firmy, to Raven CR7 z anteną 500S. System zamiast metody korekcji RTK wykorzystuje korekcję SBAS. Pakiet nie zawiera licencji, która pozwala na transfer danych z użyciem protokołu ISOBUS, przez co jego integracja z maszynami nie jest możliwa [<https://www.ravenind.com/products/displays/cr7-plus>]. Wówczas operator musi korzystać z oddzielnych paneli sterujących dla każdej maszyny, co utrudnia automatyzację pracy oraz uniemożliwia łatwe zbieranie danych.

Kolejnym systemem prowadzenia równoległego aktualnie dostępnym na rynku jest Farmnavigator G7 włoskiego producenta AVMAP [<https://farm.avmap.it/en/IntelligentAgriculture>]. Dystrybutorem tego systemu na terenie naszego kraju jest firma Globtrak [<http://www.globtrak.com/oferta/branze/rolnictwo-precyzyjne>]. Urządzenia z serii G7 są kompatybilne z każdym ciągnikiem, maszyną samobieżną oraz kombajnem. Pełny zestaw obejmuje wyświetlacz G7 z funkcją automatycznego sterowania AvMap Pilot, antenę GNSS o nazwie All In One RTK, a także opcję doposażenia (Retrofit ISOBUS) w gniazdo InCab montowane wewnątrz kabiny pojazdu, do którego podłączony jest joystick umożliwiający wygodne sterowanie ciągnikiem lub maszynami innych producentów przy użyciu protokołu ISOBUS. Antena All in One RTK obsługuje zarówno RTK, jak i standardowe korekty SBAS, zapewniając centymetrową precyzję. Firma Globtrak nie oferuje płatnych korekt RTK, jednak użytkownik może je kupić u zewnętrznych dostawców lub skorzystać z darmowych korekt systemu ASG-EUPOS. Istnieje możliwość zakupu własnej stacji referencyjnej RTK, której koszt zależy od mocy nadajnika. Na koszt systemu ma wpływ rodzaj zamontowanej anteny. W przypadku anteny All in One RTK opłata obejmuje aktywność wbudowanej karty SIM, czyli możliwość pobierania korekty RTK bez pośrednictwa zewnętrznego źródła wi-fi. Koszt pierwszego roku użytkowania tej anteny lub 1000 godzin pracy jest zawarty w cenie zakupu tej anteny. Alternatywnie użytkownik może zakupić tańszą antenę Turtle RTK, która nie posiada wbudowanej karty SIM, lecz umożliwia odbieranie korekcji RTK przez wi-fi, np. z telefonu komórkowego. Połączenie internetowe umożliwia synchronizację w czasie rzeczywistym danych pozyskiwanych z ciągników i maszyn. Do przetwarzania tych informacji oferowane są dwie platformy: MyFarmnavigator [<https://farm.avmap.it/en/IntelligentAgriculture/myfarmnavigator>] firmy AVMAP oraz Globtrak firmy o tej samej nazwie [<http://www.globtrak.com/oferta/branze/rolnictwo-precyzyjne>]. Bezterminowy dostęp do platformy MyFarmnavigator zawarty jest w cenie urządzenia z wyświetlaczami G7 lub G12. Koszt platformy Globtrak jest uzależniony od zamówienia. W przypadku gdy platforma nie jest częścią wcześniej zakupionego zestawu do prowadzenia równoległego, użytkownik ponosi dodatkowy koszt za montaż lokalizatora satelitarnego i zdalne połączenie z platformą Globtrak. Jeżeli system prowadzenia równoległego na maszynie został już zamontowany, to nie ma potrzeby

montażu urządzenia lokalizującego. Opłacamy tylko miesięczny dostęp do platformy. Użytkownik ponosi również koszt doposażenia systemu prowadzenia równoległego w interfejs ISOBUS, tzw. Retrofit ISOBUS. Płatne są także jednorazowe, wieczyste licencje na oprogramowanie ISOBUS WT (wirtualny terminal) i TC (kontroler zadań). Retrofit ISOBUS to fizyczne doposażenie maszyny w niezbędny sprzęt umożliwiający komunikację ISOBUS, natomiast licencje oprogramowania WT i TC pozwalają na obsługę i zarządzanie maszynami.

Perspektywa rozwoju systemów prowadzenia pojazdów w rolnictwie

Prognozy wykorzystania systemów prowadzenia równoległego w rolnictwie wskazują na ich dalszą dynamiczną ewolucję i upowszechnienie. Zastosowanie tych rozwiązań pozwala na zwiększenie efektywności wykorzystania środków produkcji, a tym samym lepsze dopasowanie ich dawek do zapotrzebowania roślin i zasobności gleby w składniki pokarmowe. Dzięki wykorzystaniu tej technologii rolnicy mogą precyzyjniej wykonywać zbiegi agrotechniczne, co pozwala na lepsze wykorzystanie zasobów, obniżenie kosztów, jak również usprawnienie zarządzania i poprawę warunków pracy w gospodarstwie. Dostępne systemy prowadzenia pojazdów będą dalej zwiększać swoją dokładność pozycjonowania przez integrację z różnymi technologiami korekcji sygnału. Rozbudowa konstelacji satelitów, w tym europejskiego systemu Galileo, zapewni lepszą dostępność i niezawodność sygnału, co pozwoli na bardziej efektywne pozycjonowanie ciągników i maszyn w trudnych warunkach terenowych czy pogodowych.

Dostępne na rynku systemy prowadzenia równoległego, niezależnie od producenta, oferują porównywalną dokładność. Tym, co odróżnia poszczególne systemy, są ich funkcjonalności (tabele 1–3), które decydują o dodatkowych możliwościach lub ograniczeniach danego rozwiązania. Obecnie nie ma dostępnych wyników badań, które porównywałyby faktyczne, a nie tylko deklarowane, możliwości systemów prowadzenia równoległego oferowanych przez poszczególnych producentów. Dotyczy to takich aspektów jak dokładność prowadzenia w różnych warunkach terenowych i pogodowych, niezawodność, intuicyjność obsługi, wszechstronność użytkowania oraz solidność wykonania, długość gwarancji i obsługa po sprzedaży. W literaturze można znaleźć porównania różnych metod korekcji sygnału GNSS oraz wykorzystywanych kanałów transmisji sygnału przez poszczególne konstelacje satelitów, a także ich wpływ na dokładność pozycjonowania w określonych warunkach [Catania i in. 2020, Nijak i in. 2024, Kowalczyk i Hadas 2024]. Dostępne porównania zazwyczaj uwzględniają jedynie wybrane cechy, często skupiając się na drobnych różnicach w porównaniu z innymi systemami, co ma raczej skłonić potencjalnego użytkownika do wyboru oferowanego rozwiązania niż do jego obiektywnej oceny [<https://odoo15-se-website.fjdac.com/de/blog/industry-insights-65/auto-steer-system-332>, Farmonaut 2025, Karsten 2024].

W najbliższym czasie można spodziewać się dalszego ulepszania protokołów komunikacyjnych między ciągnikami a maszynami oraz oprogramowania sterującego pracą ww. pojazdów, co poprawia automatyzację ich obsługi. Natomiast większy udział w rynku systemów prowadzenia równoległego będą miały aplikacje mobilne wykorzystujące system Android oraz komunikację bezprzewodową. Może to prowadzić do stopniowej eliminacji protokołu ISOBUS na rzecz łączności radiowej, takiej jak WirelessHART, wi-fi, Bluetooth Low Energy (BLE), ZigBee czy nawet OpenThread, między ciągnikiem a maszyną. Szybszy rozwój systemów prowadzenia równoległego spowalnia ograniczona moc obliczeniowa układów, zwłaszcza w maszynach autonomicznych. Postęp w rozwoju niskonapięciowych układów mikroprocesorowych przyspieszy rozwój GNSS, nowych metod korekcji pozycji i upowszechnianie metody korekcji – PPP.

W przyszłości można spodziewać się coraz większej oferty w pełni autonomicznych pojazdów. Prototyp polskiego autonomicznego robota polowego [Polski Przemysł 2025] został stworzony przez konsorcjum złożone z trzech instytucji Sieci Badawczej Łukasiewicz – Poznańskiego Instytutu Technologicznego i Instytutu Lotnictwa oraz polskiej firmy Unia. Pojazd składa się z trzech modułów roboczych: precyzyjnego siewnika punktowego, opryskiwacza oraz pielniaka mechanicznego połączonych z precyzyjnym dozownikiem nawozów i środków ochrony roślin. Zanim robot ten rozpocznie pracę, należy określić skrajny obszar roboczy i wgrać plan pracy. Wszystkie prace wykonuje automatycznie, ale jest również możliwość zdalnego sterowania przez operatora. Innym przykładem, dostępnym już w sprzedaży, jest autonomiczny ciągnik AgBot 5.115T2 holenderskiej firmy AgXeed [<https://www.agxeed.com/our-solutions/agbot-5-115t2>], który pracuje z dokładnością 2,5 cm. Jednak

bez zastosowania systemów prowadzenia równoległego, które wykorzystują GNSS, nie byłoby takiej możliwości.

PODSUMOWANIE

Zastosowanie nawigacji satelitarnej w pozycjonowaniu maszyn rolniczych znacząco poprawia efektywność i precyzję wykonywania zabiegów agrotechnicznych, co redukuje koszty jednostkowe ich wykonywania. Ponadto systemy te w sposób pośredni, przez bardziej efektywne wykorzystanie środków produkcji, przyczyniają się do zwiększenia plonów i minimalizacji negatywnego wpływu rolnictwa na środowisko. Ponieważ systemy te ograniczają bądź zupełnie eliminują stosowanie podwójnych dawek środków produkcji, gdy mamy do czynienia z tzw. nakładkami. Eliminacja nakładek to także unikanie stosowania środków ochrony roślin w dawkach wyższych niż zalecane, co ma wpływ na ochronę owadów zapylających rośliny. Dzięki precyzyjnemu prowadzeniu ciągników, kombajnów i maszyn eliminowane są omijaki i nakładki, co przekłada się na lepsze wykorzystanie powierzchni pola. Ponadto takie prowadzenie pojazdów pozwala na zmniejszenie nakładów na paliwo, uprawę przedsięwną, materiał siewny, nawozy, pestycydy i siłę roboczą. Systemy prowadzenia równoległego pozwalają również na zoptymalizowanie tras przejazdu, co skraca czas pracy i zwiększa efektywność wykonywania zabiegów agrotechnicznych. System taki coraz częściej połączony jest z automatycznym wyłączaniem i włączaniem sekcji, czyli zmianą szerokości roboczej maszyny, która jest automatycznie dostosowywana do aktualnego kształtu obszaru pola, na którym wykonujemy zabieg co umożliwia bardziej precyzyjne siewy, jak również stosowanie nawozów i środków ochrony roślin. Systemy prowadzenia równoległego pozwalają także na automatyczne sterowanie pojazdami, co eliminuje błędy ludzkie i zwiększa wydajność pracy kombajnów, ciągników i maszyn [D'Antonio i in. 2023].

Chociaż zastosowanie systemów prowadzenia równoległego w rolnictwie przynosi wiele korzyści, wiąże się również z pewnymi trudnościami przy ich wdrażaniu. Jednym z głównych ograniczeń jest wysoki koszt zakupu i utrzymania tych systemów. Dlatego dla wielu małych i średnich gospodarstw rolnych inwestycja w takie nowoczesne technologie może być zbyt droga. Przy wyborze systemu prowadzenia równoległego warto zadbać o to, aby mógł on korzystać z jak największej liczby globalnych systemów pozycjonowania, w tym Galileo, który obecnie jest technicznie najlepszym i najdokładniejszym systemem nawigacji satelitarnej.

Współczesne rolnictwo to dynamicznie rozwijająca się dziedzina gospodarki, w której coraz powszechniej wykorzystuje się pojazdy wyposażone w systemy prowadzenia równoległego, aby sprostać wyzwaniom, takim jak zwiększanie plonów przy mniejszej powierzchni upraw, brak wykwalifikowanej siły roboczej oraz konieczność ochrony środowiska i zrównoważonego rozwoju. Dostępność takich technologii, w tym autonomicznych pojazdów, zwiększa efektywność prac w gospodarstwie, ale pozwala również na tworzenie nowych miejsc pracy w inżynierii czy przy analizie danych.

PIŚMIENNICTWO

- Ag Leader, 2019. ISOBUS from JD Display to an Ag Leader Display. <https://portal.agleader.com/community/s/article/1257> [dostęp: 2.03.2025].
- Baio, F.H.R.; Moratelli, R.F. Auto guidance accuracy evaluation and contrast of the operational field capacity on the mechanized plantation system of sugar cane. *Eng. Agrícola* 2011, 31, 367–375. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162011000200017>
- Caro J., 2021. SBAS Systems. https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/SBAS_Systems [dostęp: 14.07.2025].
- Catania P., Comparetti A., Febo P. i in., 2020. Positioning accuracy comparison of GNSS receivers used for mapping and guidance of agricultural machines. *Agronomy* 10(7), 924. <https://doi.org/10.3390/agronomy10070924>
- China Satellite Navigation Office, 2016. BeiDou navigation satellite system signal in space interface control document. China Satellite Navigation Office. <http://en.beidou.gov.cn/SYSTEMS/ICD/201806/P020180608523308843290.pdf> [dostęp: 29.07.2025].
- Choy S., Harima K., Li Y. i in., 2013. Real-time precise point positioning utilising the Japanese Quasi-Zenith Satellite System (QZSS) LEX corrections. International Global Navigation Satellite Systems Society, IGSS Symposium 2013. <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=856db4d8226152cf80280d8acf9a7ef4183d0e4b> [dostęp: 29.07.2025].

- D'Antonio P., Mehmeti A., Toscano F. i in., 2023. Operating performance of manual, semi-automatic, and automatic tractor guidance systems for precision farming. *Res. Agric. Eng.* 69(4), 179–188. <https://doi.org/10.17221/5/2023-RAE>
- Farmonaut, 2025. Best GPS For Agriculture: 7 Ways GPS Transforms Farming. <https://farmonaut.com/precision-farming/best-gps-for-agriculture-7-ways-gps-transforms-farming> [dostęp: 28.07.2025].
- Flores A., 2020. NAVSTAR GPS Space Segment/ User Segment L1C Interfaces. GPS Enterprise Space & Missile Systems Center (SMC) – LAAFB, SAIC (GPS SE&I) 200 N. Pacific Coast Highway, Suite 1800 El Segundo, CA 90245. <https://www.gps.gov/technical/icwg/IS-GPS-800G.pdf> [dostęp: 17.03.2025].
- GeoPard Agriculture, 2025. Advantages and Role of Precision Agriculture Technology. 1. <https://geopard.tech/blog/what-is-precision-farming> [dostęp: 15.09.2025].
- Hollaway K., 2024. Sowing. W: A. Bryce, PA in Practice III. <https://grdc.com.au/resources-and-publications/all-publications/publications/2024/pa-in-practice-iii> [dostęp: 29.07.2025].
- Holmes S., 2016. Looking from space for nuclear detonations. <https://phys.org/news/2016-08-space-nuclear-detonations.html> [dostęp: 21.01.2025].
- <http://www.globtrak.com/oferta/branze/rolnictwo-precyzyjne> [dostęp: 13.04.2025].
- <https://agriculture.fjdynamics.com/pl/products/fjd-at2-auto-steer-system> [dostęp: 23.02.2026].
- <https://farm.avmap.it/en/IntelligentAgriculture> [dostęp: 18.03.2025].
- <https://farm.avmap.it/en/IntelligentAgriculture/myfarmnavigator> [dostęp: 29.07.2025].
- <https://farmportal.eu/en/navigation-automatic-control> [dostęp: 3.03.2025].
- https://hydrasystem.pl/system.pl_PL.html [dostęp: 3.03.2025].
- <https://odoo15-se-website.fjdac.com/de/blog/industry-insights-65/auto-steer-system-332> [dostęp: 23.02.2026].
- <https://onesoil.ai/pl> [dostęp: 14.04.2025].
- <https://pl.agriculture.trimble.com/product/sterownik-prowadzenia-nav-900> [dostęp: 23.02.2026].
- <https://portal.agleader.com/community/s/topic/0TOF400000099NWGAY/guidance-steering> [dostęp: 2.03.2025].
- <https://precyzyjnerolnictwo.pl/rozwiwania/systemy-prowadzenia-rownoleglego> [dostęp: 24.02.2026].
- <https://www.agroosa.pl> [dostęp: 3.03.2025].
- <https://www.agxeed.com/our-solutions/agbot-5-115t2> [dostęp: 12.03.2025].
- <https://www.asgeupos.pl/serwisy-rtk> [dostęp: 3.02.2025].
- <https://www.chcpolska.pl/nx510se> [dostęp: 1.03.2025].
- <https://www.deere.com/en/technology-products/precision-ag-technology/operations-center/connected-partners> [dostęp: 23.02.2026].
- <https://www.deere.pl/pl/campaigns/precision-ag/pakiet-essentials> [dostęp: 14.04.2025].
- <https://www.deere.pl/pl/rolnictwo-precyzyjne/podstawowe-informacje/starfire-7500> [dostęp: 2.03.2025].
- <https://www.euspa.europa.eu/eu-space-programme/galileo/services> [dostęp: 15.07.2025].
- <https://www.gao.gov/products/gao-24-105962> [dostęp: 11.07.2025].
- <https://www.gps.gov/new-civil-signals> [dostęp: 24.02.2026].
- <https://www.ravenind.com/products/displays/cr7-plus> [dostęp: 23.02.2026].
- <https://www.ravenind.com/products/displays/cr12-plus> [dostęp: 23.02.2026].
- <https://www.sveaverken.com/pl/products/f100-auto-steer-system> [dostęp: 23.02.2026].
- Hussain A., Ahmed A., Magsi H. i in., 2020. Adaptive GNSS receiver design for highly dynamic multipath environments. *IEEE Access* 8, 172481–172497. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3024890>
- Januszczyński J., 2009. Charakterystyka sygnałów systemów satelitarnych i radionawigacyjnych dziś oraz w przyszłości. *Techn. Transportu Szynowego* 15(1–2), 66–69.
- Kaniewski P., 2006. System nawigacji satelitarnej GPS, część 3. *Elektr. Prakt.* 4, 96–100.
- Karsten B., 2024. Seven GPS steering systems tested, part 2. *Future Farming*. <https://www.futurefarming.com/tech-in-focus/autonomous-semi-autosteering-systems/seven-gps-steering-systems-tested-valtra-leads-the-way-part-2> [dostęp: 28.07.2025].
- Kouwenhoven T., 2025b. Galileo High Accuracy Service (HAS). [https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Galileo_High_Accuracy_Service_\(HAS\)](https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Galileo_High_Accuracy_Service_(HAS)) [dostęp: 27.01.2025].
- Kouwenhoven T., 2025a. Galileo Open Service (OS). [https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Galileo_Open_Service_\(OS\)](https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Galileo_Open_Service_(OS)) [dostęp: 27.01.2025].
- Kowalczyk W., Hadas T., 2024. A comparative analysis of the performance of various GNSS positioning concepts dedicated to precision agriculture. *Rep. Geodesy Geoinform.* 117(1), 11–20. <https://doi.org/10.2478/rgg-2024-0002>
- Lamparski J., Świątek K., 1994. Wyznaczanie wysokości punktów z wykorzystaniem pomiarów GPS. *Zesz. Nauk. Akad. Rol. Wrocł., Geodezja Urz. Rol.* 12, 267–270.
- Laskowska P., 2017. Informatyka w rolnictwie, czyli rolnictwo precyzyjne. W: *Materiały pokonferencyjne III Ogólnopolskiej Konferencji Interdyscyplinarnej „Współczesne zastosowania informatyki”*. Instytut Informatyki Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego, Siedlce.
- Lea R., 2015. What is a geosynchronous orbit? *Space. Com.* <https://www.space.com/29222-geosynchronous-orbit.html> [dostęp: 31.01.2025].
- Lopez C., 2021a. GPS signal plan. https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/GPS_Signal_Plan [dostęp: 23.01.2025].
- Lopez C., 2021b. QZSS signal plan. https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/QZSS_Signal_Plan [dostęp: 27.07.2025].
- Nijak M., Skrzypczyński P., Ćwian K. i in., 2024. On the importance of precise positioning in robotised agriculture. *Remote Sensing* 16(6), 985. <https://doi.org/10.3390/rs16060985>

- Oszczak S., Specht C., Koc W., 2009. Próba oceny dokładności pomiarów satelitarnych toru kolejowego. *Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji w Krakowie. Seria: Materiały Konferencyjne*, 149(91), 341–361.
- Pereira R., 2018. GNSS augmentation. https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/GNSS_Augmentation [dostęp: 8.03.2025].
- Polski Przemysł, 2025. Automatyka w maszynach rolniczych na przykładzie autonomicznego robota polowego. <https://polskiprzemysl.com.pl/automatyzacja-i-robotyka/autonomiczny-robot-w-rolnictwie/> [dostęp: 12.03.2025].
- Russian Institute of Space Device Engineering, 2008. Global navigation satellite system GLONASS. Interface control document. Moscow, Russia. https://sentinels.pl/s/ICD_GLONASS_eng_v5.1.pdf [dostęp: 29.07.2025].
- Scarfone A., Picchio R., Del Giudice A. i in., 2021. Semi-automatic guidance vs. manual guidance in agriculture: a comparison of work performance in wheat sowing. *Electronics* 10(7), 825. <https://doi.org/10.3390/electronics10070825>
- Shinners, T.J.; Digman, M.F.; Panuska, J.C. Overlap Loss of Manually and Automatically Guided Mowers. *Appl. Eng. Agric.* 2012, 28, 5–8 doi:10.13031/2013.30085
- Sveaverken, 2022. Sveaverken F100 Auto Steer System. Software user manual. <https://agroassist.dk/wp-content/uploads/2023/04/SVEA-EN-3.1.5-Software-user-manual.pdf> [dostęp: 29.07.2025].
- Topçueri, M., Keskin, M., 2019. Effectiveness of GNSS-based tractor auto steering systems in crop spraying. *Tar. Bil. Derg.*, 24 (Özel Sayı), 78–90.
- United States Department of Transportation, 2008. Global positioning system Wide Area Augmentation System (WAAS) performance standard. <https://archive.gps.gov/technical/ps/2008-WAAS-performance-standard.pdf>. [dostęp: 24.02.2026].
- Vellidis G., Ortiz B., Beasley J. i in., 2014. Reducing digging losses by using automated steering to plant and invert peanuts. *Agronomy* 4(3), 337–348. <https://doi.org/10.3390/agronomy4030337>
- Wang S., You Z., Sun X., 2021. A partial carrier phase integer ambiguity fixing algorithm for combinatorial optimization between network rtk reference stations. *Sensors* 22(1), 165. <https://doi.org/10.3390/s22010165>
- Wei H., Xiao G., Zhou P. i in., 2024. Combining Galileo HAS and Beidou PPP-B2b with Helmert coordinate transformation method. *GPS Solutions* 29(1), 35. <https://doi.org/10.1007/s10291-024-01789-2>
- Zimny L., 2003. *Encyklopedia ekologiczno-rolnicza*. Wydawnictwo Akademii Rolniczej we Wrocławiu, Wrocław. <https://dbc.wroc.pl/dlibra/publication/4536/edition/4353> [dostęp: 29.03.2025].

Źródło finansowania: Do przygotowania artykułu nie wykorzystano żadnego źródła finansowania.

Abstract. Currently, the agricultural system offering the most technologically advanced solutions is precision agriculture. One of the most commonly used solutions are positioning systems of tractors, combine harvesters, and other machinery known as guidance and steering systems, also called parallel tracking systems. They enable precise vehicle guidance, even in difficult conditions such as night-time, fog or dust, and also when tramlines were not established before. The use of the guidance and steering systems reduces overlaps, which decreases the usage of fuel and other agricultural inputs, thus greenhouse gas emissions are decreased. The aim of this study was to compare the agricultural vehicle positioning systems currently available on the Polish market, taking into account their applications, available features, accuracy, and ease of operation.

Keywords: precision agriculture, guidance and steering systems, GNSS, RTK, DGNS, SBAS, PPP

Otrzymano/Received: 8.10.2025
Zaakceptowano/Accepted: 7.01.2026
Opublikowano/Published: 27.03.2026