

ROLNICTWO PRECYZYJNE – KONCEPCJE I PERSPEKTYWY

ROSITSA PETROVA BELUHOVA-UZUNOVA
DOBRI MATEEV DUNCHEV

Abstrakt

Rozwój technologii w XX wieku doprowadził do ewolucji koncepcji rolnictwa precyzyjnego. Obecnie rolnictwo precyzyjne jest zwykle związane z wykorzystaniem nawigacji GPS i satelitarnej GNSS, GIS, bezzałogowych samolotów i dronów, zmienności dawkowania, a także złożonych i wyszukanych systemów komputerowych i oprogramowania. Jednakże najważniejsze pytanie dotyczy opłacalności i skuteczności tych technologii oraz możliwości ich przyjęcia. Głównym celem pracy jest badanie najpopularniejszych koncepcji rolnictwa precyzyjnego oraz przeanalizowanie technicznej i ekonomicznej skuteczności różnych technologii w oparciu o przegląd literatury. Wyniki wskazują, że przyjęcie technologii rolnictwa precyzyjnego jest ściśle związane ze sposobem ich postrzegania przez rolnika i wymaga wsparcia instytucjonalnego. Promowanie rolnictwa precyzyjnego w ramach wspólnej polityki rolnej jest konieczne w celu przezwyciężenia szeregu wyzwań gospodarczych i środowiskowych oraz zapewnienia zrównoważonego rozwoju i ekologicznego wzrostu.

Słowa kluczowe: różnorodność warunków między polami i w obrębie jednego pola, gospodarowanie specyficzne dla obszaru, innowacyjne technologie i praktyki.

Kody JEL: Q16, Q55, Q56.

Wprowadzenie

Rolnictwo precyzyjne to termin od dawna obecny w nauce i praktyce rolniczej. Od momentu zorganizowania pierwszego warsztatu na temat rolnictwa precyzyjnego w Minneapolis w 1992 roku stało się ono przedmiotem licznych konferencji. W Australii od 1997 roku odbywa się sympozjum na temat rolnictwa precyzyjnego. W 1997 roku rolnictwo precyzyjne zostało formalnie uznane za definicję i koncepcję w Stanach Zjednoczonych przez Kongres USA.

Aby lepiej zrozumieć ewolucję rolnictwa precyzyjnego na przestrzeni lat, konieczne jest rozważenie jego pewnych istotnych cech. W przeszłości, kiedy dominujące formy organizacji stanowiły małe gospodarstwa rodzinne, rolnicy mogli obserwować przestrzenną zmienność gleby i wpływ tej zmienności na produkcję roślinną. W rezultacie gospodarowali plonami w oparciu o zidentyfikowane różnice. Konsekwencją mechanizacji rolnictwa było zastosowanie oszczędnego gospodarowania uprawami na dużych obszarach, przy jednolitym stosowaniu nakładów. Rolnik, który obecnie uprawia większe obszary przy jednakowym sposobie gospodarowania, wykorzystuje mniej informacji agronomicznych niż 10 rolników, którzy wcześniej uprawiali ten sam obszar. Rozwój globalnego systemu pozycjonowania (GPS) umożliwił odwrócenie procesu. Wdrożenie GPS w połączeniu ze specjalnym wyposażeniem mogącym dokonywać pomiaru zmienności dawki i zastosowania nakładów (nawozy, herbicydy) ma zasadnicze znaczenie dla rozwoju rolnictwa precyzyjnego.

Właściwe techniki rolnicze, odmiany upraw i płodozmian, nakłady środków chemicznych i nawozów, zróżnicowanie warunków między polami i w obrębie tego samego pola, jak również monitorowanie upraw itp., umożliwiają rolnikowi uzyskanie wysokich plonów, zminimalizowanie nakładów i zoptymalizowanie zysków.

Głównym celem pracy jest zbadanie najbardziej popularnych koncepcji rolnictwa precyzyjnego, analiza technicznej i ekonomicznej skuteczności różnych technologii w oparciu o przegląd literatury.

Artykuł ma następującą strukturę: część pierwsza analizuje różne definicje i koncepcje rolnictwa precyzyjnego. Część druga przedstawia główne elementy rolnictwa precyzyjnego. W trzeciej części następuje przegląd badań ekonomicznych związanych z tematem. Wreszcie przedstawiono szereg wniosków i zaleceń.

Material i metody

Raport podsumowuje definicje rolnictwa precyzyjnego i przygląda się głównym koncepcjom, technologiom opartym na wynikach różnych badań, dokumentom oraz strategiom. Badanie nie jest uznawane za szczegółowe i wyczerpujące, ale może stanowić punkt wyjścia do wyciągania wniosków oraz podstawę do dalszych ustaleń i pomiarów. Badanie stosuje historyczne, porównawcze i monograficzne metody analizy. Niniejsze badanie wykorzystuje metodę opracowaną przez Knowlera i Bradshawa (2007), przedstawiając etapy badawcze krok po kroku. Chociaż metoda ta nie obejmuje procedur statystycznych, jest wystarczająca, aby zrealizować cele niniejszego artykułu.

Wyniki i dyskusje

Koncepcja i definicje

Przed rewolucją przemysłową typowe dla rolnictwa były niewielkie pola. W przeszłości rolnicy posiadali szczegółową wiedzę na temat swojego systemu produkcyjnego, bez faktycznego ilościowego określania zmienności. Mechanizacja i presja na rzecz większego zysku spowodowały dominację jednolitych, uśrednionych praktyk rolniczych na dużą skalę. Rozwój technologii pod koniec XX i na początku XXI wieku pozwolił również na rozwój rolnictwa. Obecnie na

rynku rolnictwa, gdy opłacalność jest coraz niższa, rolnicy poszukują technologii, które minimalizują koszty bez ograniczania produkcji.

Rolnictwo precyzyjne to koncepcja oparta na obserwacji, pomiarach i reakcji na zmienność warunków na polach uprawnych lub aspektów hodowli zwierząt. Pierwsza oficjalna definicja rolnictwa precyzyjnego pochodzi z 1997 roku od amerykańskiej Izby Reprezentantów i określa rolnictwo precyzyjne jako „zintegrowany system rolnictwa oparty na informacjach i produkcji, który ma na celu zwiększenie długoterminowej, specyficznej dla obszaru i obejmującej całe gospodarstwo skuteczności produkcji, produktywności i opłacalności, przy jednoczesnym zminimalizowaniu niezamierzonych oddziaływań na przyrodę i środowisko naturalne” (US House of Representatives, 1997, Bill No. H.R.2534). Definicja ta kładzie nacisk na strategię zarządzania wykorzystującą technologię informatyczną i podkreślającą usprawnienia produkcji, przy jednoczesnym ograniczeniu oddziaływania na środowisko. Należy wspomnieć, że rolnictwo precyzyjne może być wdrażane nie tylko w systemach upraw, ale także w przemyśle zwierzęcym, rybołówstwie, leśnictwie.

Definicja przedstawiona przez Kongres Stanów Zjednoczonych stwierdza, że rolnictwo precyzyjne to rozwijająca się strategia gospodarowania. Główny nacisk położono w niej na podejmowanie decyzji w odniesieniu do wykorzystania zasobów, a niekoniecznie przyjęcie technologii informacyjnych. Decyzje mogą zależeć od zmian na całym polu w określonym czasie sezonu lub zmian w ciągu sezonu lub sezonów. Lepsze rozwiązania mogą zapewnić wiele korzyści (ekonomicznych, środowiskowych i społecznych), które mogą być obecnie znane lub nie.

Istnieje wiele innych definicji rolnictwa precyzyjnego w zależności od różnych koncepcji dotyczących tego, co pojęcie to powinno obejmować. Niektóre definicje koncentrują się na strategicznym charakterze rolnictwa precyzyjnego: jego zdolności do uzyskiwania danych i przekształcania ich w informacje na potrzeby przyszłego podejmowania decyzji (Lowenberg-DeBoer i Boehlje, 1996). Inne definicje koncentrują się na rolnictwie precyzyjnym jako systemie produkcji i adaptacji gospodarowania (McBratney, Bouma, Whelan i Ancev, 2005, Seelan, Laguet, Casady i Seielstad, 2003; Van Meirvenne, 2003; Nemenyi, Mesterhazi, Pecze i Stepan, 2003; Cook i Bramley, 1998; Cook, Corner, Riethmuller, Mussel i Maitland, 1996). Niektórzy autorzy postrzegają rolnictwo precyzyjne w szerszym kontekście i definiują pojęcie jako filozoficzną zmianę w gospodarowaniu. Głównym celem rolnictwa precyzyjnego jest optymalizacja długoterminowej, specyficznej dla obszaru i obejmującej całe gospodarstwo produktywności oraz minimalizacja oddziaływania na środowisko (Whelan i McBratney, 2000, 2001).

W niektórych badaniach rolnictwo precyzyjne definiowane jest jako technologia informatyczna stosowana w rolnictwie (Lowenberg-DeBoer i Boehlje, 1996). Definicja ta jest bardziej obszerna niż inne, ponieważ dostrzega potencjalne korzyści płynące z rolnictwa precyzyjnego, które mogą wykraczać poza ramy gospodarstwa. Obejmują one również śledzenie produktu, monitorowanie jakości i pomiar efektywności środowiskowej (McBratney i in., 2005).

Miedzy innymi, najprostszy opis rolnictwa precyzyjnego to sposób „zastosowania właściwego zabiegu we właściwym miejscu i we właściwym czasie” (Gebbers i Adamchuk, 2010, s. 829).

Rolnictwo precyzyjne i zastosowanie technologii informatycznych, wraz z doświadczeniem produkcyjnym, mogą prowadzić do: optymalizacji skuteczności i jakości produkcji; minimalizacji wpływu na środowisko i ryzyka.

W ostatnich latach rolnictwo precyzyjne ulega ewolucji, a dziś definiowane jest jako „przyjazne dla środowiska rozwiązanie systemowe, które optymalizuje jakość i ilość produktów przy jednoczesnym minimalizowaniu kosztów, interwencji człowieka i zmienności spowodowanej przez nieprzewidywalną przyrodę” (Gebbers i Adamchuk, 2010). Takie definicje rolnictwa precyzyjnego obejmują pojęcia związane z ryzykiem, skutkami środowiskowymi i degradacją jako istotne zagadnienia w XXI wieku. Rolnictwo precyzyjne staje się praktyką gospodarowania, zainteresowanie którą rośnie, ponieważ łączy się z kluczowymi czynnikami bezpośrednio związanymi z kwestiami ogólnoswiatowymi, takimi jak zrównoważone rolnictwo i bezpieczeństwo żywnościowe (Gebbers i Adamchuk, 2010).

Rolnictwo precyzyjne obejmuje zastosowanie technologii i zasad agronomicznych w celu zarządzania zmianami przestrzennymi i czasowymi związanymi ze wszystkimi aspektami produkcji rolnej na rzecz poprawy wydajności upraw, optymalizacji zwrotów z nakładów i jakości środowiska, zmniejszenia wpływu na środowisko. (Rees, Griffiths i McVittie, 2018; Garibaldi i in., 2017). Ponadto Komisja Europejska (European Commission, 2016) podaje następujące korzyści z rolnictwa precyzyjnego: zwiększona produkcja, dane w czasie rzeczywistym i informacje o produkcji, lepsza jakość, poprawa zdrowia zwierząt gospodarskich i obniżenie kosztu produkcji.

Rolnictwo precyzyjne to innowacyjne podejście, które wdraża technologie w celu zmniejszenia kosztów i ryzyka, zwiększenia produktywności i opłacalności oraz utrzymania zrównoważenia.

Główne elementy rolnictwa precyzyjnego

Podstawową technologią, która doprowadziła do rozwoju koncepcji rolnictwa precyzyjnego, było stworzenie systemu GPS przez Departament Obrony USA w latach 70. GPS pozwala określić dokładną lokalizację, przez 24 godziny na dobę, z dokładnością do kilku centymetrów. Dzięki tym informacjom uprawa polowa może być prowadzona z dużą dokładnością.

Wdrożenie rolnictwa precyzyjnego jest możliwe dzięki ewolucji technologii czujnikowych, które można połączyć z procedurami w celu powiązania mapowanych zmiennych z odpowiednimi działaniami zarządzania rolnictwem takimi jak uprawa, zasiew, nawożenie, stosowanie herbicydów i zbiory.

Postęp rolnictwa precyzyjnego od 1999 roku jest równoczesny z szybkim rozwojem i udoskonaloną dokładnością globalnego systemu nawigacji satelitarnej (GNSS). W istocie technologia GNSS jest szeroko wykorzystywana w wielu gospodarstwach do realizacji zadań związanych z automatycznymi systemami kontroli i stosowaniem informacji georeferencyjnych. GNSS przyczynia się do skuteczniejszego sterowania maszynami, automatycznej kontroli i kontrolowanych systemów zarządzania ruchem.

Innym istotnym elementem rolnictwa precyzyjnego jest stosowanie technologii zmiennego dawkowania (VRT), która umożliwia precyzyjny zasiew, optymalizację sadzenia, gęstość i zwiększoną skuteczność wskaźnika stosowania herbicydów,

pestycydów i składników odżywczych. W rezultacie można uzyskać niższe koszty i mniejsze oddziaływanie na środowisko.

Rozpoznające różne długości fal pokładowe kamery wielospektralne i hiperspektralne oraz platformy satelitarne często służą do dostarczania informacji na temat wskaźników wegetacji, na przykład monitorowanie danych na temat zawartości chlorofilu, poziomu stresu i ich zmienności w przestrzeni i czasie. Szczególną uwagę zwraca się na wykorzystanie niedrogich bezzałogowych statków powietrznych (UAV), często zwanych dronami, ale obecnie bardziej poprawne określenie to zdalnie sterowane systemy lotnicze (RPAS), pierwotnie opracowanych do celów wojskowych.

Technologie cyfrowe mogłyby wspierać europejskich rolników w „osiąganiu więcej za mniej”. Obiecują one również rozwiązanie obecnych i przyszłych wyzwań, od zmian klimatu, odpowiedzialnego wykorzystywania ograniczonych zasobów naturalnych po bezpieczeństwo żywnościowe. Istniejące i nowe technologie, takie jak Internet rzeczy, sztuczna inteligencja, robotyka i big data, mogą przyczynić się do większej skuteczności procesów i doprowadzić do stworzenia nowych produktów i usług.

Ważną część technologii rolnictwa precyzyjnego stanowi rolnik i jego sposób postrzegania. Proces ten został zainicjowany na początku lat 90. przez najlepiej zorientowanych rolników, z entuzjazmem, po którym nastąpiło zniechęcenie ze względu na brak wsparcia i stosunkowo niską opłacalność. Obecnie przyjęcie tego podejścia bazuje niemal wyłącznie na sektorze prywatnym, oferując rolnikom urządzenia, produkty i usługi. Niestety krajowe usługi doradcze w rolnictwie są bardzo ograniczone (Hristov, 2011).

Badania ekonomiczne

W różnych definicjach i badaniach stwierdzono, że skuteczniejsze podejmowanie decyzji w rolnictwie powinno zapewniać szeroką gamę korzyści. Z ekonomicznego punktu widzenia przegląd 234 badań opublikowanych w latach 1988-2005 wykazał, że rolnictwo precyzyjne okazało się opłacalne średnio w 68% przypadków (Griffin, Lambert i Lowenberg-DeBoer, 2005).

Według Komisji Europejskiej (European Commission, 2014) korzyści z rolnictwa precyzyjnego odnoszą się do: zwiększenia plonów, optymalizacji nakładów oraz udoskonalania sposobu gospodarowania i jakości pracy.

Weiss (1996) odnotowuje kilka korzyści płynących z rolnictwa precyzyjnego – zwiększone plony, stosowanie nakładów i minimalizację kosztów dzięki udoskonalonej kontroli procesu oraz redukcję przeniesienia środków agrochemicznych do środowiska.

Swinton i Ahmad (1996) sklasyfikowali korzyści w następujący sposób: te, które wpływają na opłacalność; te, które wpływają na ryzyko biznesowe; te, które wpływają na jakość środowiska. Opłacalność zależy od stopnia zmienności przestrzennej warunków glebowych, wielkości pola i niepewności co do produkcji i cen nakładów (Murat i Madhu, 2003). Zwiększony dochód z lepszych plonów w połączeniu z udoskonaloną kontrolą nakładów mogłyby zapewnić korzyści wynikające z marży brutto w kolejnych sezonach (Swinton i Ahmad, 1996).

Opłacalność rolnictwa precyzyjnego stanowi kluczowy czynnik dla wdrażania tych technologii rolniczych. Badania przeprowadzone przez Swintona i Lowenberga-

-DeBoera (1998) podkreśliły, że ustalenie opłacalności to najistotniejszy czynnik przyjęcia rolnictwa precyzyjnego przez rolników. Wyniki badań ekonomicznych związanych z opłacalnością są jednak niejasne i nie są porównywalne (Bullock i Lowenberg-DeBoer, 2007). Według Komisji Europejskiej (European Commission, 2014) badania ekonomiczne związane z rolnictwem precyzyjnym w oparciu o wdrożone technologie można pogrupować na: VRT, ochrona roślin w oparciu o czujniki, automatyczne systemy prowadzenia.

Najczęściej spotykaną technologią rolnictwa precyzyjnego jest monitor plonów (Lowenberg-DeBoer, 2003). Monitor plonów był jedną z pierwszych z informatyzowanych koncepcji technologicznych w rolnictwie precyzyjnym (Swinton i Lowenberg-DeBoer, 1998). Wyniki ekonomiczne przyjęcia metod wskaźnika stosowania zmiennej wielkości dawki uzależnione są od rodzaju uprawy, wielkości pola i rodzaju rolnictwa.

Badania ekonomiczne w zakresie precyzyjnego gospodarowania nawozami bazują na ocenie eksperckiej rolników, testów i specyficznych dla obszaru funkcji oddziaływania nawozów. Bauer i Linsley (cytowani przez Goeringa, 1993) zaproponowali pobieranie próbek gleby w celu określenia zapotrzebowania na zróżnicowane zastosowanie wapna. W rezultacie niektórzy rolnicy obniżyli koszty produkcji o ponad 40% dzięki zróżnicowanemu stosowaniu nakładów. W swojej pierwszej pracy na temat przestrzennej zmienności plonów, która była istotna dla rozwoju rolnictwa precyzyjnego jako koncepcji, Smith, Goodman i Stuber (1985) przedstawili mapę upraw pszenicy w Australii.

Inne badania dotyczyły przestrzennie zmiennego stosowania herbicydów (Miller i Stafford, 1993) lub dynamicznej detekcji materii organicznej gleby (Price i Hummel, 1994) i mapowania plonów (Vansichen i de Baerdemaeker, 1991; Searcy, Schueller, Bae, Borgelt i Stout, 1989; Stafford, Ambler i Smith, 1991).

Niektórzy autorzy (Anselin, Bongiovanni i Lowenberg-DeBoer, 2004; Meyer-Aurich, Gandorfer i Heißenhuber, 2008; Meyer-Aurich, Weersink, Gandorfer i Wagner, 2010) stwierdzili, że ekonomiczna korzyść brutto ze specyficznego dla obszaru gospodarowania nawozami azotowymi uzależniona jest od rodzaju zastosowanego czujnika i wielkości pola, przy zwiększeniu skuteczności N o 10-15% i jednoczesnym ograniczeniu jego stosowania bez wpływu na plony. Ocena ekonomiczna sugerowała, że wielkość pola musi przekraczać 250 ha, aby uzyskać korzyści finansowe.

Jednocześnie badania w Danii wykazały brak wpływu ekonomicznego czynnikowej redystrybucji nawozów na polu według stref wysokich i niskich plonów (Oleson i in., 2004). Potencjalnym wyjaśnieniem niskich korzyści może być spadek funkcji zysku wokół optimum ekonomicznego (Pannell, 2006), prawdopodobnie ze względu na fakt, że wskaźnik stosowania już znajduje się blisko optimum, w związku z tym VRT ma jedynie efekt marginalny. Początkowe dokumenty ekonomiczne w USA, autorstwa Lowenberga-DeBoera i Boehjle (1996), również stwierdzały, że po uwzględnieniu pełnego kosztu opracowania i wdrożenia wskaźnika stosowania zmiennej wielkości dawki nawozów jest to nieopłacalne, zwłaszcza jeśli stosowano tylko jeden lub dwa nawozy.

Precyzyjne nawadnianie i precyzyjne nawożenie azotowe są powszechnie postrzegane jako doskonała metoda oszczędzania wody i nawozów oraz maksymalizowania plonów (Zhao i in., 2017). Natomiast kilku autorów (Adeyemi, Grove, Peets

i Norton, 2017; West i Kovacs, 2017) wykazało, że samo wykorzystanie tych technologii nie wystarczy do zwiększenia skuteczności całego procesu produkcyjnego.

Wskaźnik stosowania zmiennej wielkości dawki wapna może zwiększyć roczny zwrot na podstawie badania przy użyciu modeli symulacji dla soi i kukurydzy (Bongiovanni i Lowenberg-DeBoer, 2000) w USA i Kanadzie.

Godwin, Wood, Taylor, Knight i Welsh (2003) przeanalizowali potencjał rolnictwa precyzyjnego w produkcji zbóż w Wielkiej Brytanii. Analiza objęła kilka systemów rolnictwa precyzyjnego i ustalono opłacalność oraz optymalne rozmiary gospodarstw, stosując częściowe podejście budżetowe. Zgodnie z tym dokumentem koszt metod rolnictwa precyzyjnego uzależniony jest od technologii, amortyzacji i aktualnych stóp procentowych oraz obszaru zbiorów.

Na podstawie przeanalizowanych badań można stwierdzić, że marże ekonomiczne precyzyjnego stosowania nawozów zwiększają się wraz ze wzrostem cen nawozów i upraw. W przypadku upraw o wysokiej wartości można osiągnąć wyższą opłacalność dzięki wdrożeniu technologii VRT.

Inny ważny element rolnictwa precyzyjnego, ochrona roślin, ma wpływ gospodarczy i środowiskowy. Konkretnie badania wskazują, że opryskiwanie ze zmienną wielkością dawki przy użyciu technologii czujnikowej zmniejszyło potrzebę stosowania środków owadobójczych średnio o 13%, przy jednoczesnym zachowaniu różnorodności biologicznej na polach uprawnych (Dammer i Adamek, 2012). Użytkiwane są znaczne oszczędności w przypadku paliwa, nasion, środków chemicznych i nawozów. Niektóre badania pokazują, że metody rolnictwa precyzyjnego mogą zmniejszyć wykorzystanie nawozów, nasion i oprysków o 4% dla danego plonu (Rainbow, 2004).

W ostatnich dziesięcioleciach na całym świecie opracowano również automatyczne systemy prowadzenia. Minimalny obszar wymagany dla systemów oświetleniowych w celu odzyskania kosztu kapitałowego to 100-139 ha, natomiast w przypadku automatycznego systemu prowadzenia wzrasta do 300-450 ha (Frank, Gandorfer i Noack, 2008; Heege (red.), 2013).

Korzyści ekonomiczne systemów prowadzenia w Wielkiej Brytanii oszacowano dla gospodarstwa o wielkości 500 ha (Knight, Miller i Orson, 2009), ale są one wyższe, jeśli wykorzystuje się inne, bardziej złożone systemy, takie jak kontrolowany ruch na polu.

W Niemczech korzyści ekonomiczne ze względu na oszczędności nakładów oceniono dla pszenicy ozimej. Korzyści płynące z automatycznych systemów prowadzenia są związane z obniżeniem kosztów nakładów, ale także z wyższymi plonami i lepszą strukturą gleby wynikającą ze zmniejszonego obszaru jej zagęszczenia. Inne korzyści ważne dla rolnika to szybkość pracy, komfort pracy i możliwość wydłużenia godzin pracy w polu.

Innowacyjną metodą jest automatyczna kontrola sekcji, która wykorzystuje dane georeferencyjne z urządzenia GNSS w celu kontroli sekcji. Wdrożenie tej metody zapewnia korzyści ekonomiczne ze względu na oszczędności nakładów (Shockley, Dillon, Stombaugh i Shearer, 2012). Jeśli system automatycznego prowadzenia jest już zainstalowany, korzyść ekonomiczna płynąca z automatycznej kontroli sekcji jest jeszcze wyższa.

Szereg badań koncentruje się na określonym sektorze rolnictwa – produkcja wina we Francji (Mazetto, Calcante, Mena i Vercesi, 2010), Hiszpanii i we Włoszech (Borgogno Mondino i Gajetti, 2017); oliwki zlokalizowane na obszarach śródziemnomorskich. Według van Everta, Gaitán-Cremaschi’ego, Fountasa i Kempenaara (2017) specyficzne dla obszaru gospodarowanie w sadach oliwnych prowadzi do wzrostu produktywności i jakości produktów. Ponadto Nawaz i Ahmad (2015) oraz Choudhary i in. (2018) informują, że technologie rolnictwa precyzyjnego mogą zostać zintegrowane w nowatorskie podejście, które prowadzi do akceptowalnych zysków przy trwałych poziomach produkcji, jednocześnie chroniąc środowisko.

McBratney i in. (2005) przypuszczają, że istniejące badania dotyczące rolnictwa precyzyjnego nie koncentrują się na całym zarządzaniu rolnictwem. W ponad 90% badań analizowano pojedyncze pola w gospodarstwach doświadczalnych lub gospodarstwach towarowych. Według McBratneya i in. (2005) największy mankament metody rolnictwa precyzyjnego to właściwie skonstruowane ilościowe opracowanie kryteriów optymalizacji dla gospodarowania uprawami, które obejmuje oddziaływanie na środowisko.

Rolnictwo precyzyjne może zapewnić metodę gospodarowania optymalizującą zarówno produkcję rolną, jak i opłacalność (European Commission, 2014). Wzrost opłacalności może być związany z redukcją nakładów, co odzwierciedla koszt produkcji.

Rolnictwo precyzyjne obejmuje również pewne korzyści dla warunków społecznych i pracy. Na przykład automatyczne systemy sterowania są dostępne dla różnych modeli ciągników, dzięki czemu praca jest mniej męcząca. Ponadto ewolucja technologii precyzyjnego rolnictwa mleczarskiego stwarza ogromne możliwości lepszego wykorzystania automatycznych indywidualnych systemów do zarządzania krowami, a tym samym ograniczenia wymogów w zakresie pracy, takich jak dojenie dwa razy dziennie, ponadto istnieją argumenty dotyczące większego dobrostanu zwierząt (Atanasov i Popova, 2010).

Inne bardzo znaczące korzyści z rolnictwa precyzyjnego to skutki środowiskowe. Korzyści w odniesieniu do jakości gleby i wody mogą wynikać ze zmniejszonego lub precyzyjnego stosowania nakładów, takich jak substancje odżywcze, pestycydy i woda do nawadniania (Bongiovanni i Lowenberg-DeBoer, 2004).

Jednocześnie wpływ rolnictwa precyzyjnego na środowisko został słabo zbadany i brak jest danych określonych ilościowo (Komisja Europejska, 2014). Korzyści płynące z wyższej opłacalności można łatwo obliczyć i zobaczyć. Natomiast wystąpienie i zbadanie skutków środowiskowych może potrwać lata. Dlatego zalecane są nowe badania związane z tą dziedziną.

Równoległe z przyjęciem rolnictwa precyzyjnego istnieje wiele ograniczeń, które utrudniają wdrożenie metody. Niektóre z nich związane są z wyobrażeniami kulturowymi rolników i brakiem kompetencji oraz wiedzy, natomiast inne z wyższym kosztem i ryzykiem rozpoczęcia takiej działalności oraz niepewnością inwestycji. Istnieje kilka wyzwań związanych ze wsparciem publicznym oraz zapotrzebowaniem na specjalne usługi i edukację.

Promowanie rolnictwa precyzyjnego poprzez WPR to naprawdę ważny krok w kierunku zielonego i zrównoważonego rozwoju rolnictwa. Środki powinny być skuteczne i właściwie ukierunkowane. W związku z tym konieczna jest dalsza ana-

liza w celu skoncentrowania się na potencjalnych korzyściach i określonych sektorach rolnictwa lub praktykach rolniczych.

Spśród trzech programów kosmicznych UE, które będą wspierać sektor rolnictwa, najważniejszą rolę odgrywać będzie program COPERNICUS, który zapewni dostęp do informacji istotnych dla zrozumienia zmian klimatu, gospodarki wodnej i biomasy. Nowy unijny program COPERNICUS 2014-2020 powinien zapewnić łatwiejszy i bezpłatny dostęp do danych satelitarnych, ale tylko o rozdzielczości 10 m lub niższej. Podejście LEADER stanowi bezpośrednie odzwierciedlenie zmian we wspólnej polityce rolnej (Shishkova, 2017), a także wspiera rolnictwo precyzyjne.

Jednocześnie Galileo i EGNOS (które wzmacniają sygnał amerykańskiego systemu GPS) będą miały duży wpływ na rolnictwo precyzyjne, dając możliwość znacznego zmniejszenia zasobów i pracy.

Unia Europejska jest mocno zaangażowana we wdrażanie systemów rolnictwa precyzyjnego i zobowiązała się w najbliższej przyszłości zapewnić dostępność dla większej liczby rolników na wszystkich szczeblach. Populacja planety ma większe potrzeby w zakresie uzupełniania żywności, co stanowi bezpośrednie wyzwanie w związku z obniżeniem poziomu zasobów naturalnych. Wspólna polityka UE ma na celu wprowadzenie, zapewnienie dostępu i stworzenie pozytywnego środowiska dla wszystkich rolników jako części systemów rolnictwa precyzyjnego. Nastąpi to wraz z wdrożeniem i rozwojem systemu integracji postępu technicznego, ale będzie również wymagać wystarczających środków finansowych w celu edukowania i przełożenia korzyści na wszystkie gospodarstwa oraz zapewnienia dostępu i wsparcia finansowego dla potrzeb przyjęcia tych systemów.

Wnioski

Na podstawie analizy można wyciągnąć pewne wnioski:

- Rolnictwo precyzyjne to wschodząca koncepcja, która szybko się rozwijała w ciągu ostatnich dwóch dekad. Istnieją różne definicje różnych autorów, które reprezentują określone wymiary tego pojęcia.
- Rolnictwo precyzyjne może stanowić odpowiedź na wiele wyzwań związanych ze zmianą klimatu i ochroną środowiska. Rolnictwo precyzyjne może zwiększyć ilość i jakość produkcji rolnej przy mniejszym wykorzystaniu nakładów.
- Jednocześnie badania ekonomiczne w tej dziedzinie nie są porównywalne, a określone skutki środowiskowe rolnictwa precyzyjnego są słabo udokumentowane.
- Istnieje nadal wiele pytań związanych z przyjęciem technik rolnictwa precyzyjnego. Konieczność posiadania specjalnych umiejętności, koszt inwestycji i niska opłacalność, brak wsparcia i usług doradczych utrudniają ten proces w wielu krajach UE.
- W UE istnieje zapotrzebowanie na specjalne programy i środki służące wdrożeniu rolnictwa precyzyjnego we wszystkich sektorach i rodzajach gospodarstw.

Literatura

- Adeyemi, O., Grove, I., Peets, S., Norton, T. (2017). Advanced monitoring and management systems for improving sustainability in precision irrigation. *Sustainability*, 9(3), 353. DOI: 10.3390/su9030479.
- Anselin, L., Bongiovanni, R., Lowenberg-DeBoer, J. (2004). A spatial econometric approach to the economics of site-specific nitrogen management in corn production. *American Journal of Agricultural Economics* 86(3), s. 675-687. DOI: 10.1111/j.0002-9092.2004.00610.x.
- Atanasov, D., Popova, B. (2010). Sustainable development characteristics of different dairy farms in Bulgaria. *Trakia Journal of Science*, Vol. 8, Supplement 1, s. 245-253.
- Bongiovanni, R., Lowenberg-DeBoer, J. (2000). Economics of Variable Rate Lime in Indiana. *Precision Agriculture* 2(1), s. 55-70.
- Bongiovanni, R., Lowenberg-DeBoer, J. (2004). Precision agriculture and sustainability. *Precision Agriculture*, 5, s. 359-87.
- Borgogno Mondino, E., Gajetti, M. (2017). Preliminary considerations about costs and potential market of remote sensing from UAV in the Italian viticulture context. *European Journal of Remote Sensing*, 50(1), s. 310-319.
- Bullock, D., Lowenberg-DeBoer, J. (2007). Using Spatial Analysis to Study the Values of Variable Rate Technology and Information". *Journal of Agricultural Economics*, 58(3), s. 517-535.
- Choudhary, K.M., Jat, H.S., Nandal, D.P., Bishnoi, D.K., Sutaliya, J.M., Choudhary, M., Yadvinder-Singh, Sharma, P.C., Jat, M.L. (2018). Evaluating alternatives to rice-wheat system in western Indo-Gangetic Plains: Crop yields, water productivity and economic profitability. *Field Crops Research*, 218, s. 1-10. DOI: 10.1016/j.fcr.2017.12.023.
- Cook, S., Bramley, R. (1998). Precision agriculture – opportunities, benefits and pitfalls of site-specific crop management in Australia. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, vol. 38, s. 753-763.
- Cook, S., Corner, R.J., Riethmuller, G., Mussel, G., Maitland, M.D. (1996). *Precision Agriculture and risk analysis: An Australian Example*. Proceedings of the 3rd International Conference on Precision Agriculture ed. P.C. Robert, R.H. Rust and W.F. Larson, s. 1123-1132.
- Dammer, K., Adamek, R. (2012). Sensor-Based Insecticide Spraying to Control Cereal Aphids and Preserve Lady Beetles, *Agron. J.* 104(6), s. 1694-1701.
- European Commission (2014). Precision agriculture – An opportunity for EU farmers – Potential support with the CAP 2014-2020. European Union, 2014.
- European Commission (2016). The Internet of Things. Digital Agenda for Europe. European Commission.
- Frank, H., Gandorfer, M., Noack, P.O. (2008). *Ökonomische Bewertung von Parallelfahrsystemen*. GIL-Jahrestagung in Kiel, s. 47-50.
- Garibaldi, L., Gemmill-Herren, B., D'Annolfo, R., Graeub, B.E., Cunningham, S.A., Breeze, T.D. (2017). Farming approaches for greater biodiversity, livelihoods, and food security. *Trends in ecology & evolution*, 32(1), s. 68-80. DOI: 10.1016/j.tree.2016.10.001.
- Gebbers, R., Adamchuk, V. (2010). Precision Agriculture and Food Security. *Science*, Vol. 327, nr 5967, s. 828-831, DOI: 10.1126/science.1183899.
- Godwin, R.J., Wood, G.A., Taylor, J.C., Knight, S.M., Welsh, J.P. (2003). Precision Farming of Cereal Crops: a Review of a Six Year Experiment to develop Management Guidelines. *Biosystems Engineering*, vol. 84(4), s. 375-391.
- Goering, C. (1993). Recycling a concept. *Agricultural Engineering*, November, s. 25.

- Griffin, T., Lambert, D., Lowenberg-DeBoer, J. (2005). Economics of Lightbar and Auto – Guidance GPS Navigation Technologies, in Precision Agriculture '05. J.V. Stafford, ed. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, Netherlands.
- Heege, H. (red.). (2013). *Precision in crop farming*. Dordrecht: Springer.
- Hristov, K. (2011). Institutional problems small farms face when applying for assistance under the rural development program 2007-2013. *Trakia Journal of Sciences*, Vol. 9, Suppl. 3, s. 83-87, ISSN 1313-7069, ISSN 1313-3551.
- Knight, S., Miller, P., Orson, J. (2009). An up-to-date cost/benefit analysis of precision farming techniques to guide growers of cereals and oilseeds. *HGCA Research Review*, nr 71, s. 115.
- Knowler, D., Bradshaw, B. (2007). Farmers' adoption of conservation agriculture: A review And synthesis of recent research. *Food Policy*, 32(1), s. 25-48.
- Linsley, C., Bauer, F. (1929). *Illinois Agricultural Experiment Station*. Circular 346.
- Lowenberg DeBoer, J., Boehjle, M. (1996). *Revolution, Evolution or Dead End: Economic perspectives on precision agriculture*. In: P. Robert et.al, Precision agriculture, proceeding of the 3rd International Conference on Precision agriculture, 1996, Madison, WI, USA.
- Lowenberg-DeBoer, J. (1996). Precision Farming and the New Information Technology: Implications for Farm Management, Policy, and Research: Discussion. *American Journal of Agricultural Economics*, vol. 78(5), s. 1281-1284.
- Lowenberg-DeBoer, J. (2003). *Precision farming or convenience agriculture*. In: Australian Agronomy Conference, 11, 2003, Geelong, Victoria. Solutions for better environment: proceedings. Geelong, Victoria: Australian Society of Agronomy.
- Mazzetto, F., Calcante, A., Mena, A., Vercesi, A. (2010). Integration of optical and analogue sensors for monitoring canopy health and vigour in precision viticulture. *Precision Agriculture*, 11(6), s. 636-649.
- McBratney, A., Bouma, J., Whelan, B., Ancev, T. (2005). Future directions of Precision Agriculture. *Precision Agriculture*, vol. 6(1), s. 7-23.
- McBratney, A., Whelan, B. (1999). The "null hypothesis" of precision agriculture. *Precision Agriculture '99* (Part 2). Ed. J.V. Stafford, Proceedings of the 2nd European Conference on Precision Agriculture, Odense Congress Centre, Denmark, 11-15 July 1999, s. 947-957.
- Meyer-Aurich, A., Gandorfer, M., Heißenhuber, A. (2008). Economic analysis of precision farming technologies at the farm level: Two German case studies, In" O.W. Castalonge, *Agricultural Systems: Economics, Technology, and Diversity*. Hauppauge NY, USA: Nova Science Publishers, s. 67-76.
- Meyer-Aurich, A., Weersink, A., Gandorfer, M., Wagner, P. (2010). Optimal site-specific fertilization and harvesting strategies with respect to crop yield and quality response to nitrogen. *Agricultural Systems* 103(7), s. 478-485. DOI: 10.1016/j.agry.2010.05.001.
- Miller P.; Stafford J. (1993). Spatially selective application of herbicide to cereal crops. *Computers and Electronics in Agriculture*, 9(3), s. 217-229.
- Murat, I., Madhu, K. (2003). Stochastic Technology, Risk Preferences, and Adoption of Site-Specific Technologies. *American Journal of Agricultural Economics*, vol. 85(2), s. 305-317.
- Nawaz, A., Ahmad, J. (2015). Insect pest management in conservation agriculture. In: *Conservation agriculture* (s. 133-155). Cham: Springer.
- Nemenyi, M., Mesterhazi, P., Pecze, Z., Stepan, Z. (2003). The role of GIS and GPS in precision farming. *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 40, s. 45-55.
- Oleson, J., Sørensen, P., Thomsen, I.K., Eriksen, J., Thomsen, A.G., Berntsen, J. (2004). Integrated Nitrogen input systems in Denmark In: Mosier, A.R., Syers, J.K., Freney, J.R., *Agriculture and the nitrogen cycle*. Washington, Covelo, London: Island press, s. 129-140.

- Pannell, D. (2006). Flat earth economics: The far-reaching consequences of flat payoff functions in economic decision making. *Review of Agricultural Economics*, 28, s. 553-566.
- Price, R., Hummel, J. (1994). *Soil organic matter content prediction using visible and near infrared wavelengths*. Paper No. 94 – 1056. St Joseph, MI, USA: American Society of Agricultural Engineers.
- Rainbow, R. (2004). *Getting into Precision Agriculture – The Basics*. Precision AgNews Winter and Southern Precision Agriculture Association. 2nd June 2006.
- Rees, R.M., Griffiths, B.S., McVittie, A. (2018). Sustainable Intensification of Agriculture: Impacts on Sustainable Soil Management. In: Ginzky, H., Dooley, E., Heuser, I., Kasimbazi, E., Markus, T., Qin, T. (red.). *International Yearbook of Soil Law and Policy*, vol. 2017. Cham: Springer.
- Shockley, J., Dillon, C.R., Stombaugh, T., Shearer, S. (2012). Whole farm analysis of automatic section control for agricultural machinery. *Precision Agriculture*, Vol. 13, Issue 4, s. 411-420.
- Searcy, S., Schueller, J., Bae, Y., Borgelt, S., Stout, B. (1989). Mapping of spatially variable yield during grain combining. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 32(3), s. 826-829.
- Seelan, S., Laguette, S., Casady, G., Seielstad, G. (2003). Remote sensing applications for precision agriculture: A learning community approach. *Remo Sensing of Environment*, Vol. 88(1), s. 157-169.
- Shishkova, M. (2017). Social Network Analysis of the Organizations Implementing Leader Approach in Bulgaria. *Bulgarian Journal of Agricultural Economics and Management*, Vol. 3, s. 35-39.
- Smith, J., Goodman, M., Stuber, C. (1985) Genetic variability within U.S. maize germplasm. I. Historically important lines. *Crop Science*, 25: s. 550-555.
- Stafford, J., Ambler, B. (1994). In-field location using GPS for spatially variable field operations. *Computers and Electronics in Agriculture*, 11, s. 23-36.
- Stafford, J., Ambler, B., Smith, M. (1991). *Sensing and mapping grain yield variation*. Proceedings of Symposium & Automated Agriculture for the 21st Century, s. 356-365. St Joseph, MI, USA: American Society of Agricultural Engineers.
- Swinton, S., Ahmad, M. (1996). *Returns to Farmer Investment in Precision Agriculture Equipment and Services*. Proceedings of the 3rd International Conference on Precision Agriculture, ed. P.C. Robert, R.H. Rust and W.F. Larson, s. 1009-1018.
- Swinton, S., Lowenberg-DeBoer, J. (1998). Evaluating the Profitability of Site Specific Farming. *Journal of Production Agriculture*, 11, s. 439-446.
- US House of Representatives (1997). Bill No. H.R.2534. An Act to reform, extend and repeal certain agricultural research, extension and education programs and for other purposes. Title IV – New research, extension and education initiatives. Subtitle B – Precision Agriculture. Pobrane z: <http://thomas.loc.gov/cgi-bin/query/z?c105:H.R.2534>.
- Van Evert, F., Gaitán-Cremaschi, D., Fountas, S., Kempenaar, C. (2017). Can Precision Agriculture Increase the Profitability and Sustainability of the Production of Potatoes and Olives? *Sustainability*, 9(10), 1863. DOI: 10.3390/su9101863.
- Van Meirvenne, M. (2003). Is the Soil Variability within the Small Fields of Flanders Structured Enough to Allow Precision Agriculture?”. *Precision Agriculture*, vol. 4(2), s. 193-201.
- Vansichen, R., de Baerdemaeker, J. (1991). *Continuous wheat yield measurement on a combine*. Proceedings of Symposium & Automated Agriculture for the 21st Century, s. 346-355. St Joseph, MI, USA: American Society of Agricultural Engineers.

- Weiss, M. (1996). Precision farming and spatial economic analysis: Research challenges and opportunities. *American Journal of Agricultural and Applied Economics*, vol. 78, s. 1275-1280.
- West, G., Kovacs, K. (2017). Addressing Groundwater Declines with Precision Agriculture: An Economic Comparison of Monitoring Methods for Variable-Rate Irrigation. *Water*, 9(1), s. 28.
- Whelan, B., McBratney, A. (2000). The “Null Hypothesis” of Precision Agriculture Management. *Precision Agriculture* 2(3): s. 265-279(15).
- Whelan, B., McBratney, A. (2001). *Precision agriculture in Leading Edge (included in Australian Grain)*, vol. 11(4), s. 46-48.
- Zhao, B., Ata-Ul-Karim, S.T., Liu, Z., Ning, D., Xiao, J., Liu, Z., Qin, A., Nan, J., Duan, A. (2017). Development of a critical nitrogen dilution curve based on leaf dry matter for summer maize. *Field Crops Research*, nr 208, s. 60-68. DOI: 10.1016/j.fcr.2017.03.010.

PRECISION FARMING – CONCEPTS AND PERSPECTIVES

Abstract

The development of technologies in the 20th century led to evolution of precision agriculture concept. Nowadays, precision farming is usually associated with the use of GPS and satellite navigation, GIS, unmanned airplanes and drones, variable rate of application, as well as complex and sophisticated computer systems and software. On the other hand, the main question is related to the profitability and efficiency of these technologies and the opportunities for their adoption. The main purpose of the research is to investigate the most popular concepts of precision farming and to analyze the technical and economic efficiency of different technologies based on literature review. The results indicate that the adoption of precision farming technologies is closely related to the farmer's perception of and needs for institutional support. The promotion of precision farming under the Common Agricultural Policy is necessary in order to overcome the number of economic and environmental challenges and ensure sustainable development and green growth.

Keywords: inter- and intra-field variability, site specific management, innovative technologies and practices.

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 13.09.2019.