

dr Szmitka S.

prof. AFiB Vistula

dr Jędrzejczyk Ł.

Akademia Finansów i Biznesu Vistula Filia w Olsztynie

Olsztyn, Polska

INTEGRACJA NOWYCH TECHNOLOGII I INNOWACJI W ROLNICTWIE: ANALIZA WPŁYWU NA WYDAJNOŚĆ I ZRÓWNOWAŻONY ROZWÓJ GOSPODARSTW WIEJSKICH

Wstęp

Współczesne rolnictwo stoi przed licznymi wyzwaniami związanymi z rosnącym zapotrzebowaniem na żywność, zmianami klimatycznymi oraz presją na ograniczenie negatywnego wpływu na środowisko. W odpowiedzi na te wyzwania sektor rolniczy intensywnie poszukuje rozwiązań zwiększających wydajność produkcji przy jednoczesnym ograniczaniu oddziaływania środowiskowego i chłonności zasobów. Nowoczesne technologie w postaci rolnictwa precyzyjnego, systemów Internetu rzeczy (IoT) czy zastosowanie dronów, stanowią obiecujący kierunek rozwoju, dostarczając narzędzi do unowocześniania i usprawniania procesów produkcyjnych.

Cyfryzacja rolnictwa jest jednym z elementów koncepcji rolnictwa 4.0 będącego odpowiednikiem rewolucji przemysłowej 4.0 w sektorze agrarnym. Transformacja cyfrowa umożliwia dokładniejsze oraz bardziej efektywne zarządzanie gospodarstwem, oparte na danych i automatyzacji procesów decyzyjnych. Oddziaływanie technologii cyfrowych uwidocznia się w obszarach zwiększenia produktywności gospodarstwa, optymalizowania wykorzystania zasobów, a także w istotnej sferze zmniejszania wpływu rolnictwa na środowisko naturalne.

Celem niniejszego artykułu jest analiza wpływu wdrażania nowoczesnych rozwiązań technologicznych na wydajność i konkurencyjność gospodarstw wiejskich,

ze szczególnym uwzględnieniem rolnictwa precyzyjnego, dronów oraz systemów IoT. Badanie obejmuje ocenę ekonomicznych aspektów zastosowania innowacji oraz ich roli w zrównoważonym rozwoju. Ponadto w artykule zaproponowano strategię wdrażania technologii, które mogą być wykorzystane przez różne typy gospodarstw rolnych w celu zwiększenia korzyści i zachowania relatywnie niewysokich kosztów.

Rolnictwo precyzyjne jako fundament innowacji w rolnictwie

Rolnictwo precyzyjne polega na zarządzaniu gospodarstwem przy wykorzystaniu technologii informacyjnych, pozycjonowania satelitarnego czy też na gromadzeniu i analizie danych. Koncepcja ta zakłada dostosowanie praktyk rolniczych do zmienności przestrzennej upraw i warunków glebowych, aby w ten sposób zoptymalizować nakłady i zarazem osiągnąć możliwie jak najwyższe plony. Implementacja technik rolnictwa precyzyjnego może zmniejszyć zużycie nawozów o 15-30%, środków ochrony roślin o 20-35%, przy jednoczesnym zwiększeniu plonów o 10-15%.

J. Lowenberg-DeBoer i B. Erickson przeprowadzili kompleksowy przegląd badań dotyczących ekonomicznych aspektów rolnictwa precyzyjnego, obejmujący dane z 234 gospodarstw z Europy i Ameryki Północnej. Autorzy ci wykazali, że średni okres zwrotu z inwestycji w podstawowe technologie rolnictwa precyzyjnego wynosi od 3 do 5 lat, przy czym najszybszy zwrot (2-3 lata) odnotowano dla systemów automatycznego prowadzenia maszyn oraz zmiennego dawkowania nawozów

Systemy IoT i ich zastosowanie w rolnictwie

Internet rzeczy (IoT) w rolnictwie obejmuje sieć połączonych urządzeń, czujników i systemów umożliwiających gromadzenie, przesyłanie i analizę danych dotyczących warunków uprawy, stanu roślin, zwierząt czy maszyn. Poprzez zastosowanie takich technologii można śledzić ważne parametry oraz ich zmiany na bieżąco i na tej podstawie podejmować adekwatne decyzje – również w sposób wspomagany przez technologię. Główne obszary zastosowań IoT w rolnictwie obejmują: monitorowanie warunków glebowych, zarządzanie nawadnianiem, doglądanie upraw, zarządzanie inwentarzem żywym oraz doglądanie infrastruktury

gospodarstwa. Wykorzystanie systemów IoT może wpłynąć na zmniejszenie zużycia wody w gospodarstwie nawet o 25-30% oraz zwiększenie efektywności produkcji o 15-20%. Badania przeprowadzone przez Farooq i współpracowników wśród 120 gospodarstw znajdujących się w Hiszpanii i Włoszech wykazały, że wykorzystanie inteligentnych systemów nawadniania opartych na IoT prowadzi do oszczędności wody na poziomie 30-60% w porównaniu z konwencjonalnymi metodami, przy jednoczesnym zwiększeniu plonów o 5-15%. Autorzy oszacowali, że średni czas zwrotu z inwestycji w takie systemy wynosi od 2 do 4 lat, w zależności od skali gospodarstwa i rodzaju upraw.

Wykorzystanie dronów do monitorowania i zarządzania uprawami

Technologia dronów, czyli bezzałogowych statków powietrznych, znalazła szerokie zastosowanie w rolnictwie, obejmujące m.in. monitoring stanu upraw, wykrywanie chorób i szkodników, mapowanie pól oraz aplikowanie środków ochrony roślin. Główną zaletą tego rozwiązania jest możliwość szybkiego pozyskiwania szczegółowych danych na dużych obszarach przy relatywnie niskich kosztach. Badania obejmujące 78 gospodarstw w Niemczech i Francji wykazały, że wczesne wykrywanie problemów fitosanitarnych za pomocą dronów pozwala na zmniejszenie strat plonów o 10-25% oraz na wydajniejsze stosowanie środków ochrony roślin o 15-20%. Szacunkowo dla gospodarstwa o powierzchni powyżej 100 ha zwrot z inwestycji w system dronów następuje w okresie 1-2 lat. Drony okazują się wyjątkowo użyteczne w przypadku upraw wysokowartościowych, jak choćby winorośl czy drzewa owocowe. Badania prowadzone w regionie Bordeaux we Francji wykazały, że wykorzystanie dronów do monitorowania winnic umożliwiło zredukowanie zużycia fungicydów o 30% przy jednoczesnym utrzymaniu lub zwiększeniu jakości i ilości plonów.

Metodologia badań

Prezentowane badanie zostało przeprowadzone z wykorzystaniem mieszanej metodologii, łączącej analizę ilościową danych ekonomicznych z jakościową oceną strategii wdrażania innowacji. Proces badawczy obejmował następujące etapy:

- systematyczny przegląd literatury obejmujący publikacje z lat 2012-2023, dotyczące ekonomicznych aspektów wdrażania technologii cyfrowych w rolnictwie;
- badanie ankietowe przeprowadzone wśród 215 gospodarstw rolnych z Polski, zróżnicowanych pod względem wielkości (50-500 ha) i profilu produkcji. Ankieta obejmowała pytania dotyczące stosowanych technologii, kosztów ich wdrożenia, osiągniętych korzyści oraz napotykanym barier;
- pogłębione wywiady z 4 ekspertami branżowymi, które koncentrowały się na identyfikacji najlepszych praktyk oraz strategicznych aspektach wdrażania innowacji;
- analiza 5 studiów przypadku gospodarstw rolnych, które z sukcesem wdrożyły zaawansowane rozwiązania technologiczne, obejmująca szczegółową analizę ekonomiczną inwestycji oraz ocenę ich wpływu na funkcjonowanie gospodarstwa.

Dane ilościowe poddano analizie statystycznej z wykorzystaniem pakietu SPSS, obejmującej statystyki opisowe, analizę korelacji oraz modelowanie ekonometryczne zależności między inwestycjami w technologie a wskaźnikami efektywności gospodarstw. Dane jakościowe z wywiadów i studiów przypadku poddano analizie tematycznej w celu identyfikacji głównych czynników sukcesu oraz barier we wdrażaniu innowacji.

Wyniki badań

1. Wpływ technologii na wydajność i konkurencyjność gospodarstw

Wyniki badań ankietowych przeprowadzonych wśród 215 gospodarstw rolnych z Polski wykazały istotny i jednocześnie pozytywny wpływ wdrożenia nowoczesnych technologii na szereg wskaźników ekonomicznych (tabela 1). Gospodarstwa, które zaimplementowały co najmniej dwa zaawansowane rozwiązania technologiczne (np. elementy rolnictwa precyzyjnego, podstawowe systemy IoT), odnotowały średni wzrost produktywności o 16,4% oraz obniżenie kosztów operacyjnych o 12,7% w porównaniu z okresem sprzed wdrożenia technologii.

Tabela 1

Wpływ wdrożenia technologii na wskaźniki ekonomiczne gospodarstw (n=215)

Wskaźnik	Średnia zmiana (%)	Odchylenie standardowe	Istotność statystyczna
Produktywność (plony/ha)	+16,4	5,8	p<0,01
Koszty operacyjne (ogółem)	-12,7	4,3	p<0,01
Zużycie nawozów	-18,9	6,4	p<0,001
Zużycie środków ochrony roślin	-15,6	4,9	p<0,01
Zużycie wody	-22,3	7,5	p<0,001
Zużycie paliwa	-10,2	3,5	p<0,01
Zysk operacyjny	+19,1	6,8	p<0,001

Źródło: opracowanie własne

Analiza danych wykazała, że najwyższy zwrot z inwestycji uzyskiwany jest w przypadku systemów zmiennego dawkowania nawozów (ROI=28,4%), podstawowych systemów nawigacji GPS (ROI=23,9%) oraz systemów monitorowania upraw (ROI=19,6%). Nieco niższy, ale wciąż znaczący zwrot z inwestycji odnotowano dla prostych systemów IoT służących do monitorowania warunków polowych (ROI=17,2%).

Badanie wykazało umiarkowany związek między poziomem adaptacji technologii a wielkością gospodarstwa ($r=0,63$, $p<0,01$), co świadczy o tym, że większe gospodarstwa mają większą skłonność do korzystania z zaawansowanych rozwiązań technologicznych. Jednakże zidentyfikowano również grupę średnich gospodarstw (100-200 ha), które z powodzeniem wdrożyły wybrane technologie, koncentrując się na rozwiązaniach o najwyższym potencjalnym zwrocie z inwestycji w stosunku do ich specyfiki produkcji.

2. Ocena wpływu innowacji na zrównoważony rozwój

Na podstawie analizy wyników badań ankietowych stwierdzono, że wdrażanie nowoczesnych technologii w gospodarstwach rolnych przynosi nie tylko korzyści ekonomiczne, ale również istotne efekty środowiskowe, przez co realizuje cele zrównoważonego rozwoju. Badania wykazały, że gospodarstwa stosujące elementy

rolnictwa precyzyjnego osiągają istotne redukcje w zużyciu zasobów i emisji zanieczyszczeń (tabela 2).

Tabela 2

Wpływ wdrożenia technologii na wskaźniki środowiskowe
gospodarstw (n=215)

Wskaźnik	Średnia zmiana (%)	Odchylenie standardowe	Istotność statystyczna
Emisja gazów cieplarnianych (CO ₂ e/ha)	-14,2	4,9	p<0,01
Wymycie azotanów	-23,5	7,6	p<0,001
Bioróżnorodność (wskaźnik złożony)	+9,8	3,7	p<0,05
Jakość gleby (zawartość materii organicznej)	+7,3	2,9	p<0,05
Efektywność wykorzystania wody (kg plonu/m ³)	+26,4	8,3	p<0,001

Źródło: opracowanie własne

Analiza pięciu studiów przypadku wykazała, że najlepsze efekty osiągają gospodarstwa łączące różne technologie w spójny system. Przykładem jest gospodarstwo z województwa wielkopolskiego (250 ha), które po zastosowaniu systemu zmiennego dawkowania nawozów zintegrowanego z podstawowymi elementami monitoringu odnotowało 24% zmniejszenie zużycia nawozów azotowych oraz 17% zwiększenie efektywności ekonomicznej produkcji w ciągu dwóch lat od wdrożenia. Innym przykładem jest gospodarstwo z województwa lubelskiego (180 ha), które dzięki zastosowaniu technologii precyzyjnego nawadniania zmniejszyło zużycie wody o 28% przy jednoczesnym zwiększeniu plonów o 12%.

Wywiady z czterema ekspertami branżowymi również dostarczyły informacji na temat społecznych aspektów wdrażania technologii, w tym na temat:

- zwiększenia atrakcyjności pracy w rolnictwie dla młodego pokolenia (3 z 4 ekspertów);
- rozwoju nowych kompetencji i umiejętności wśród rolników (4 z 4 ekspertów);
- kreowania możliwości współpracy między gospodarstwami (3 z 4 ekspertów);
- wzmocnienia odporności gospodarstw na zmiany klimatyczne (4 z 4 ekspertów).

3. Strategie wdrażania technologii w gospodarstwach różnej wielkości

Na podstawie analizy pięciu studiów przypadku oraz wywiadów z ekspertami zidentyfikowano optymalne strategie wdrażania technologii dla gospodarstw różnej wielkości (tabela 3).

Tabela 3

Rekomendowane strategie wdrażania technologii w zależności od wielkości gospodarstwa

Wielkość gospodarstwa	Rekomendowana strategia	Technologie	Szacowany okres zwrotu
Duże (>300 ha)	Stopniowa transformacja cyfrowa	Podstawowe systemy rolnictwa precyzyjnego, wybrane elementy IoT, usługi dronowe	3-5 lat
Średnie (100-300 ha)	Etapowe wdrażanie wybranych technologii	Systemy nawigacji GPS, aplikacje mobilne wspomagające zarządzanie, proste systemy monitoringu	4-6 lat
Mniejsze (50-100 ha)	Selektywne wdrażanie rozwiązań o najwyższym ROI	Proste systemy nawigacji, usługi dronowe na żądanie, pojedyncze aplikacje monitorujące	5-7 lat

Źródło: opracowanie własne

Dla dużych gospodarstw (powyżej 300 ha) optymalnym podejściem jest stopniowa transformacja cyfrowa, obejmująca wdrożenie podstawowych systemów rolnictwa precyzyjnego oraz wybranych elementów IoT. W jednym z analizowanych przypadków, gospodarstwo o powierzchni 420 ha w województwie kujawsko-pomorskim, po etapowym wdrożeniu systemu precyzyjnego nawożenia oraz monitoringu upraw z wykorzystaniem dronów, odnotowało zwiększenie efektywności produkcji o 21% w ciągu trzech lat, przy okresie zwrotu z inwestycji wynoszącym 4,2 roku.

W przypadku gospodarstw średniej wielkości (100-300 ha) bardziej efektywną strategią jest etapowe wdrażanie technologii, rozpoczynające się od rozwiązań o najwyższym potencjalnym zwrocie z inwestycji, czyli na przykład systemów zmiennego dawkowania nawozów czy podstawowych systemów nawigacji. Analiza studium przypadku gospodarstwa o powierzchni 180 ha w województwie lubelskim

wykazała, że po implementacji systemu nawigacji GPS oraz prostego systemu monitoringu upraw, gospodarstwo to zmniejszyło zużycie środków ochrony roślin o 17% oraz zwiększyło wydajność pracy o 23% w ciągu dwóch sezonów.

Mniejsze gospodarstwa (50-100 ha) powinny natomiast skoncentrować się na selektywnym wdrażaniu rozwiązań o najwyższym potencjalnym ROI, dostosowanych do specyfiki produkcji. Analiza studium przypadku gospodarstwa o powierzchni 75 ha w województwie podlaskim wykazała, że implementacja prostego systemu nawigacji GPS do ciągników przyniosła oszczędności w zużyciu paliwa na poziomie 12% oraz zwiększenie efektywności pracy o 15%, przy okresie zwrotu z inwestycji wynoszącym około 2 lat.

Czynniki sukcesu we wdrażaniu innowacji w gospodarstwach

Przeprowadzone badania umożliwiły rozpoznanie kilku czynników warunkujących zastosowanie nowych technologii w gospodarstwach rolnych z powodzeniem.

Pierwszą ważną własnością są kompetencje cyfrowe – wszystkie analizowane gospodarstwa, które z powodzeniem wdrożyły technologie, zainwestowały w rozwój umiejętności cyfrowych właścicieli i pracowników. W jednym z badanych przypadków, gospodarstwo zorganizowało serię szkoleń wewnętrznych, co według właściciela przyczyniło się do 30% skuteczniejszego wykorzystania zakupionych technologii. Trzech z czterech ekspertów wskazało kompetencje cyfrowe jako jeden z głównych czynników powodzenia cyfrowej transformacji.

Drugim istotnym aspektem okazało się być strategiczne podejście do danych. Gospodarstwa, które wdrożyły spójny system gromadzenia i analizy danych, osiągały lepsze wyniki niż te, które stosowały technologie w sposób fragmentaryczny. Wiąże się to z faktem, iż wartość technologii cyfrowych wynika przede wszystkim z umiejętności przekształcania zebranych danych w konkretne decyzje zarządcze.

Następnie, wyższe wyniki osiągały gospodarstwa, które zadbały o zintegrowanie różnych technologii w spójny system. W jednym z analizowanych przypadków, gospodarstwo początkowo napotkało trudności z wykorzystaniem danych z systemu

monitoringu upraw, dopóki nie zostały one zintegrowane z systemem zarządzania gospodarstwem.

Czwarty czynnik sukcesu stanowiła współpraca z dostawcami technologii. Cztery z pięciu analizowanych gospodarstw aktywnie współpracowały z dostawcami technologii, co według właścicieli ułatwiło proces wdrażania systemów. Dwustronna wymiana wiedzy jest niezwykle ważna, bowiem rolnicy poznają możliwości technologii, a dostawcy mogą dokładniej zrozumieć specyfikę produkcji rolnej.

Bariery w adaptacji nowych technologii

Pomimo niewątpliwych korzyści wynikających z wdrażania nowych technologii w rolnictwie, badania wykazały istnienie pewnych barier ograniczających tempo ich przysposobienia. Zidentyfikowano następujące bariery:

- finansowe – wysokie koszty początkowe inwestycji w zaawansowane technologie stanowiły główną barierę dla 74% badanych gospodarstw, szczególnie tych o mniejszej skali produkcji; respondenci wskazywali na ograniczony dostęp do kapitału oraz niewystarczające wsparcie finansowe w ramach programów rozwoju obszarów wiejskich;
- kompetencyjne – 65% ankietowanych wskazało na niewystarczającą wiedzę i umiejętności jako istotną przeszkodę w adaptacji technologii, który to problem był szczególnie widoczny w gospodarstwach prowadzonych przez starsze pokolenie rolników oraz w regionach o ograniczonym dostępie do szkoleń;
- infrastrukturalne – 58% respondentów deklarowało problemy z infrastrukturą cyfrową na obszarach wiejskich, w tym ograniczony dostęp do szerokopasmowego Internetu oraz niestabilne pokrycie sygnałem GSM, jako czynniki utrudniające wdrażanie rozwiązań opartych na IoT;
- niepewność co do zwrotu z inwestycji – 45% uczestników badania wskazało na trudności w oszacowaniu potencjalnych korzyści i okresu zwrotu z inwestycji jako czynnik ograniczający skłonność do wdrażania nowych technologii.

Implikacje dla polityki rolnej i rozwoju obszarów wiejskich

Wyniki przeprowadzonych badań wskazują na potrzebę kompleksowego wsparcia transformacji cyfrowej sektora rolnego, które powinno obejmować między innymi dostosowanie instrumentów wsparcia finansowego. Mianowicie, programy rozwoju obszarów wiejskich powinny w większym stopniu uwzględniać specyfikę inwestycji w technologie cyfrowe, dostarczając odpowiednich instrumentów finansowych o preferencyjnych warunkach oraz uproszczonych procedurach aplikacyjnych. Szczególnie istotne jest wsparcie dla małych i średnich gospodarstw, które napotykają największe bariery finansowe. Konieczne jest także wzmocnienie systemu edukacji i doradztwa rolniczego o komponenty związane z technologiami cyfrowymi, obejmujące zarówno aspekty techniczne, jak i ekonomiczne. Inwestycje w rozwój kompetencji cyfrowych są równie ważne jak inwestycje w samą infrastrukturę technologiczną. W tym drugim przypadku jednak należy podkreślić, że wzmocnienie szerokopasmowego Internetu na obszarach wiejskich powinno stanowić priorytet polityki rozwoju regionalnego, jako warunek konieczny dla pełnego wykorzystania potencjału technologii cyfrowych w rolnictwie.

Wnioski

Przeprowadzone badania potwierdzają, że zastosowanie nowoczesnych technologii w rolnictwie sprzyja zwiększeniu wydajności, konkurencyjności i zrównoważonemu rozwojowi gospodarstw rolnych. Rolnictwo precyzyjne, systemy IoT oraz wykorzystanie dronów stanowią podstawowe elementy transformacji cyfrowej sektora rolnego, bowiem dają rolnikom narzędzia do ulepszenia procesów produkcyjnych, zwiększenia ich wydajności, w dłuższej perspektywie również obniżenia kosztów oraz minimalizacji wpływu na środowisko.

Analiza ekonomiczna wykazała, że inwestycje w technologie cyfrowe charakteryzują się wysokim potencjalnym zwrotem, szczególnie w przypadku systemów zmiennego dawkowania nawozów, podstawowych systemów nawigacji czy monitoringu upraw. Jednocześnie zidentyfikowano istotne różnice w potencjale adaptacyjnym gospodarstw różnej wielkości, co świadczy o potrzebie dostosowania strategii wdrażania technologii do specyfiki i skali produkcji.

Badania wykazały również, że integracja nowych technologii wymaga podejścia uwzględniającego nie tylko aspekty techniczne, ale również rozwój kompetencji, wiedzy, odpowiednie zarządzanie danymi oraz współpracę z dostawcami technologii opartą zwłaszcza na dwustronnej wymianie informacji. Zidentyfikowane bariery w implementowaniu innowacji, obejmujące aspekty finansowe, kompetencyjne oraz infrastrukturalne, wskazują na potrzebę systemowego wsparcia transformacji cyfrowej rolnictwa. W ramach zrównoważonego rozwoju natomiast technologie cyfrowe wykazują potencjał w zakresie wydajniejszego wykorzystania zasobów, redukcji emisji zanieczyszczeń oraz adaptacji do zmian klimatycznych. Jednocześnie zwiększają atrakcyjność pracy w rolnictwie i wzmacniają odporność gospodarstw na wyzwania ekonomiczne i środowiskowe.

Dalsze badania powinny koncentrować się na długoterminowych efektach wdrażania technologii, w tym na ich wpływie na strukturę agrarną, organizację łańcuchów dostaw oraz rozwój obszarów wiejskich. Istotnym kierunkiem badań jest również analiza społecznych aspektów cyfryzacji rolnictwa, w tym wpływu na zatrudnienie, kompetencje oraz relacje między uczestnikami rynku rolnego.

Rekomendacje praktyczne

Na koniec sformułowano pewne praktyczne rekomendacje dla różnych interesariuszy sektora rolnego. Gospodarstwa rolne powinny opracować strategię cyfryzacji, uwzględniającą specyfikę produkcji, dostępne zasoby oraz długoterminowe cele biznesowe zanim podejmą decyzję i poczynią inwestycję w zakup nowoczesnych technologii. Zaleca się rozpoczęcie od szczegółowej analizy potrzeb i identyfikacji obszarów o najwyższym potencjale zwrotu z inwestycji. Rekomenduje się także etapowe wdrażanie technologii, zwłaszcza w przypadku gospodarstw średniej i mniejszej wielkości, by stopniowo kształtować kompetencje oraz rozłożyć w czasie koszty inwestycji.

Rekomendacje skierowane do instytucji publicznych obejmują dostosowanie instrumentów wsparcia do specyfiki gospodarstw, wzmocnienie systemu doradztwa poprzez rozwijanie kompetencji doradców rolniczych w zakresie technologii

cyfrowych oraz zwiększenie dostępności specjalistycznego doradztwa technologicznego, zwłaszcza na obszarach o niskim poziomie innowacyjności. Priorytetem polityki rozwoju regionalnego powinny być również inwestycje w infrastrukturę Internetu szerokopasmowego oraz poprawa pokrycia sygnałem GSM na obszarach wiejskich. Jest to bowiem warunek konieczny dla cyfryzacji rolnictwa.

Trzecią grupą interesariuszy, do których kieruje się rekomendacje, są dostawcy technologii, którzy powinni rozwijać ofertę produktową uwzględniającą specyfikę i możliwości finansowe gospodarstw różnej wielkości, w tym rozwiązania modułowe i skalowalne. W celu zwiększenia dostępności technologii dla mniejszych gospodarstw zaleca się rozwój modeli biznesowych opartych na usługach (np. rolnictwo precyzyjne jako usługa), umożliwiających osiągnięcie niższych kosztów początkowych inwestycji. Dostawcy technologii powinni też zapewniać możliwość dostosowania oferowanych rozwiązań do lokalnych warunków produkcyjnych, regulacyjnych oraz infrastrukturalnych oraz wspierać szkolenia rolników poprzez opracowywanie stosownych materiałów i programów szkoleniowych.

Bibliografia

1. Bartnik G., Kasperek D., Pieniak D., Gil L., Małek A., *Drony w rolnictwie – możliwości i ograniczenia*, [w:] *Współczesne oblicza transportu i logistyki*, red. S. Skrzypek-Ahmed, A. Dmowski, Lubelska Akademia WSEI, Lublin 2024.
2. Beluhova-Uzunova R.P., Dunchev D.M., *Rolnictwo precyzyjne – koncepcje i perspektywy*, „Zagadnienia Ekonomiki Rolnej” 2019, nr 360(3).
3. Farooq M.S., Riaz S., Abid A., Abid K., Naeem M.A., *A Survey on the Role of IoT in Agriculture for the Implementation of Smart Farming*, „Ieee Access” 2019, no. 7.
4. Kernecker M., Knierim A., Wurbs A., Kraus T., Borges F., *Experience versus expectation: farmers’ perceptions of smart farming technologies for cropping systems across Europe*, „Precision Agriculture” 2020, no. 21(1).

5. Lowenberg-DeBoer J., Erickson B., *Setting the record straight on precision agriculture adoption*, „Agronomy Journal” 2019, no. 111(4).
6. Primicerio J., Di Gennaro S.F., Fiorillo E., Genesio L., Lugato E., Matese A., Vaccari F.P., *A flexible unmanned aerial vehicle for precision agriculture*, „Precision Agriculture” 2012, no. 13(4).
7. Puri V., Nayyar A., Raja L., *Agriculture drones: A modern breakthrough in precision agriculture*, „Journal of Statistics and Management Systems” 2017, no. 20(4).
8. Witkowska E.A., *Systemy informatyczne a Internet rzeczy w kontekście zarządzania gospodarstwem rolnym*, „Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej. Zarządzanie” 2022, nr 46.
9. Wolfert S., Ge L., Verdouw C., Bogaardt, M. *Big data in smart farming – a review*, „Agricultural Systems” 2017, no. 153.
10. Woźniak M., *Polska jako kraj o potencjale do intensywnego rozwoju inteligentnego rolnictwa*, „Intercathedra” 2021, nr 47(2).